

Prof. dr BRANISLAV RADONJIĆ*

MOGUĆNOSTI TEHNOLOŠKOG PRESTRUKTURIRANJA I RAZVOJA INDUSTRIJE ALUMINIJUMA CRNE GORE

U V O D

Prestrukturiranje aluminijumske industrije odvija se u okviru aktivnosti na sveobuhvatnom prestrukturiranju privrede Crne Gore. Sveobuhvatno prestrukturiranje, u organizaciji Agencije za prestrukturiranje privrede pri Vladi Crne Gore, počelo je izradom studija koje su rađene po metodologiji Svjetske banke. Odgovarajuća preliminarna studija sveobuhvatnog prestrukturiranja Kombinata aluminijuma Podgorica urađena je 1992. godine /1/. Ona polazi od analize stanja i kao glavne ciljeve postavlja i obrađuje:

(1) Organizaciono prestrukturiranje, (2) Tehničko-tehnološko prestrukturiranje, (3) Finansijsko prestrukturiranje i (4) Svojinsku i upravljačku transformaciju.

Ovom prilikom detaljnije ćemo se baviti mogućnostima tehničko-tehnološkog prestrukturiranja, i to u dva pravca i sa dva cilja: prvo, u cilju razrade i kvantifikacije glavnih kratkoročnih i nekih dugoročnih aktivnosti koje polaze od postojećih tehničko-tehnoloških cjelina i baznih materijala (boksita, glinice, aluminijuma i njegovih legura) i, drugo, u cilju ocjene i mogućnosti podizanja tehnološkog nivoa i kvaliteta proizvoda, i, posebno, razvoja novih materijala i procesa na bazi i iz postojeće industrije aluminijuma.

Ostvarenje navedenih ciljeva obrađuje se kroz tri poglavlja: (I) pregled, analiza i ocjena postojećeg tehničko-tehnološkog nivoa industrije aluminiju-

* Institut za istraživanje i razvoj aluminijuma, KAP, Podgorica

ma Crne Gore, (II) mogućnosti i efekti prestrukturiranja postojećih tehničko-tehnoških cjelina i (III) mogućnosti razvoja novih materijala i procesa. Kako su I i II oblasti klasičnog tipa i ranije dosta obrađivane, ovdje će biti dat njihov integralan analitičko-sintetički pristup u mjeri u kojoj to bude moguće. Više pažnje je posvećeno idejama koje predstavljaju mogućnosti razvoja novih materijala i procesa i njihovoj vezi sa drugim programima iz tehnologije novih materijala kao baznom tehnologijom, i vezom sa drugim baznim tehnologijama (informacione tehnologije, energetske tehnologije, fleksibilne proizvodne tehnologije i robotike, biotehnologije, laserske tehnologije, nuklearne tehnologije i kosmičke tehnologije) /2/. Pošto je naučna infrastruktura (oprema, kadrovi, programi) osnov naučno-tehnološkog razvoja, učinjen je izvjestan osvrt na ovu komponentu u okviru i tokom cjelokupnog istraživanja. Za više podataka po pitanjima strategije i projekcije razvoja aluminijumske industrije u Crnoj Gori mogu se naći podaci u odgovarajućim studijama /3,4/.

I PREGLED POSTOJEĆEG STANJA

1.1. Proizvodni program, organizacija i kadrovi

1.1.1. *Procesi i proizvodi*

Istorija aluminijumske industrije Crne Gore počinje od ljeta 1956, kada su prvi put vršene pripreme za izgradnju jednog aluminijumskog kompleksa, s obzirom na adekvatne rezerve kvalitetnog boksita i hidropotencijale za proizvodnju električne energije.

Između naše zemlje i Sovjetskog Saveza došlo je tada do potpisivanja međudržavnog ugovora o kreditiranju izgradnje aluminijumskog kompleksa. Realizacija ovog ugovora je odlagana i definitivno otkazana 1966. godine. U toku 1968. zaokružena je druga varijanta konstrukcije finansiranja objekata i zaključeni su ugovori o kreditiranju kao i ugovori o inženjeringu i tehničkoj pomoći sa firmom Pechiney iz Francuske.

Za nepune tri godine svi objekti prve faze bili su završeni. Decembra 1971. godine iz Elektrolize je potekao prvi tečni metal. Ostali pogoni s proizvodnjom su startovali sukcesivno do kraja 1973. godine.

Kombinat nastavlja sa izgradnjom. Marta 1974. otpočela je izgradnja Fabrike za preradu koja je završena i puštena u rad krajem 1977. godine. U toku 1975. izrađeni su investicioni programi za proširenje i modernizaciju proizvodnih kapaciteta. Izgradnja druge faze završena je 1981, a sukcesivno puštanje u proces elektrolitskih ćelija (najviše zbog nemanja dovoljnih količina električne energije) nastavljeno je do 1984. godine.

Krajem juna 1981. godine pristupilo se izgradnji Fabrike livačkih legura, poznatije pod nazivom "Silumini". Ova fabrika puštena je u rad 13. jula 1983. godine. Ne čekajući da se fabrika silumina završi, radnici Kombinata, udruživanjem sredstava sa većim radnim organizacijama iz zemlje, počeli su 19. decembra 1981. godine izgradnju Fabrike otkovaka od aluminijumskih legura, poznatiju kao "Kovačnica". Ova fabrika puštena je u probnu proizvodnju 22. decembra 1984. godine.

Razvoj kapaciteta i kadrova doveo je do saznanja o potrebi osnivanja Instituta za istraživanje i razvoj aluminijuma, čija bi osnovna uloga bila praćenje naučnih saznanja iz oblasti aluminijuma u svijetu i njihova primjena u radu i razvoju aluminijumske industrije u Crnoj Gori. Viši stepen rada i razvoja Instituta bila bi njegova uloga u transferu znanja i tehnologije. Sa takvim svojim konceptom Institut je finansiran od strane Ujedinjenih nacija (UNDP/UNIDO) sa 724.500 USD, o čemu je urađen i realizovan od 21. aprila 1983. godine projekat DP/YUG/75/022C - Establishment of an aluminium Institute for Research and Development in Titograd, Yugoslavia (Osnivanje Instituta za istraživanje i razvoj aluminijuma u Titogradu). Iako je trajanje Projekta predviđeno za 4 godine njegova realizacija do cjelovite fizionomije omogućila je zvanično otvaranje Instituta 12. februara 1986. godine.

Kombinat aluminijuma nije samo jedini proizvođač aluminijuma u Zemlji i kolektiv s najvećim prihodom i dohotkom u Republici, već spada i u red najuspješnijih jugoslovenskih preduzeća, zahvaljujući, prije svega, postignutom tehnološkom nivou, povoljnoj proizvodnoj strukturi i dobro usklađenim kapacitetima u sistemu kao cjelini.

Pregled glavnih sirovina, energenata, procesa i kapaciteta, tokova materijala između organizacionih i tehnoloških cjelina, i proizvoda aluminijumske industrije u Crnoj Gori, dat je na šemi sl. 1.

1.1.2. Organizacija

Ovakvu strukturu procesa i proizvoda prati organizaciona struktura koja je prikazana na šemi sl. 2. Šest organizacija i tri sektora obuhvataju trideset i tri cjeline (fabrike sa pripremama, centra, službe i odsjeka) u drugom organizacionom nivou. Uslovno se proizvodnja (koordinirana sa tehničkim direktorom u vertikalnoj integraciji prema generalnom direktoru), kontrola, istraživanje i razvoj, promet, ekonomika i finansije, kadrovski i pravni poslovi kao šest oblasti djelatnosti, direktno vezuju za generalnog direktora.

Funkcionalno je, svakako, obezbijedena horizontalna komunikacija ovih oblasti (organizacija i sektora) i/ili njihovih djelova.

Složenost organizacije se može dovesti u vezu sa obimom i složenošću proizvodnog programa. Svakako je opravdana tendencija uprošćavanja, ako je to moguće znatno učiniti. Ono što u ovakvim sistemima igra značajnu ulogu

gu, a u ovoj se šemi ne prepoznaje, je funkcija marketinga kojim se bavi Institut - kada su u pitanju razvojni programi i strateški marketing, i Promet - kada je u pitanju operativni marketing.

1.1.3. Kadrovi

Radnici čiji broj ukupno iznosi 4 540 raspoređeni su po organizacionim cjelinama kako je prikazano u tabeli 1. Iz tabele se vidi i broj radnika sa visokom stručnom spremom, od kojih su pet doktora nauka, (svi u Institutu), i pet magistara.

Postoji tendencija osipanja kvalitetnih kadrova, što uz prestanak, ili u najblažem rečeno drastično smanjenje komunikacije sa tehnološkim razvojem u svijetu, može predstavljati značajan ograničavajući faktor tehnološkog prestrukturiranja i razvoja ove industrije.

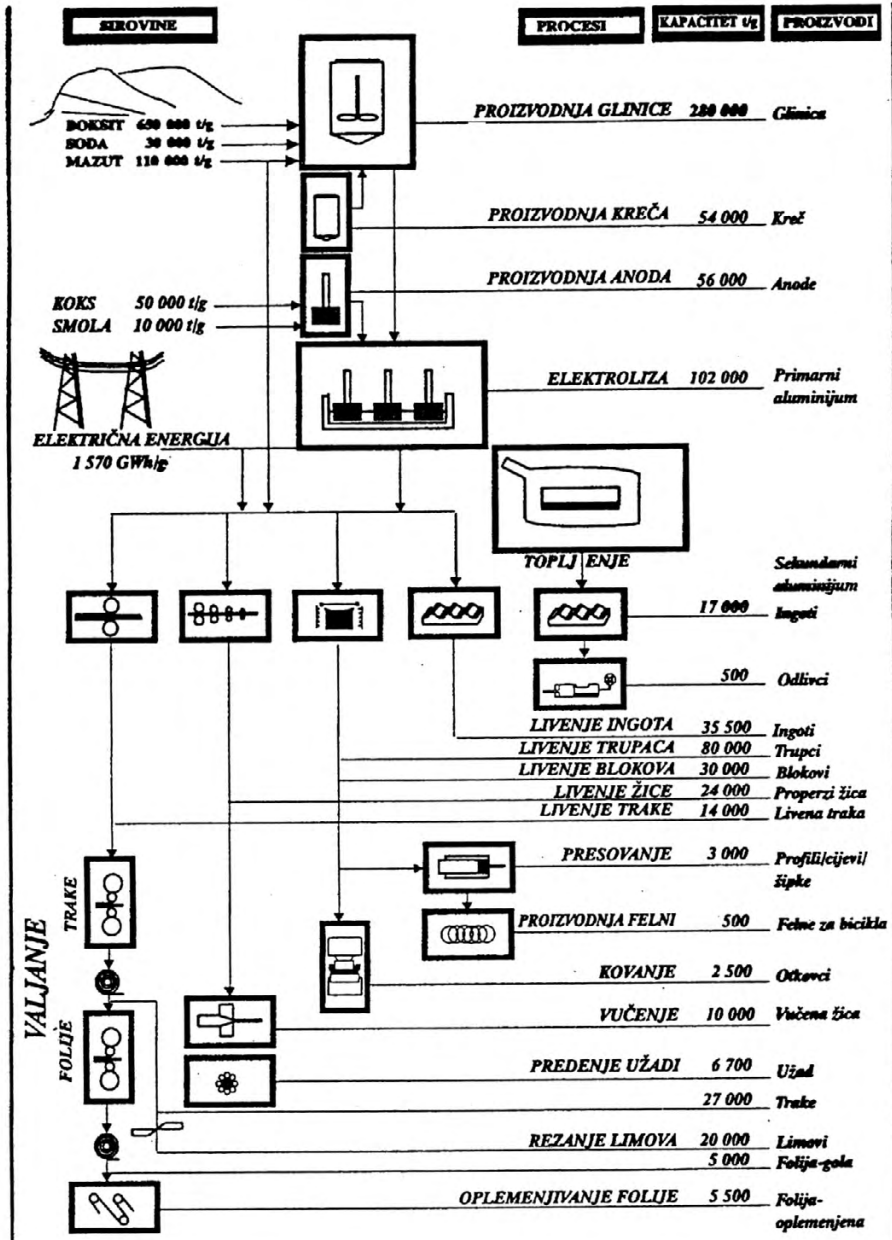
1.2. Tehničko-tehnološke performanse

Iz šeme na sl.1 vide se kapaciteti, kao i vertikalna i horizontalne linije tehnoloških procesa proizvodnje i prerade boksita, glinice i aluminijuma. Nešto više o tehničko-tehnološkim performansama djelova integralne industrije aluminijuma u Crnoj Gori, prema značaju, a u skladu sa ograničenim prostorom, može se prikazati na sljedeći način:

Rudnici boksita Nikšić su sada najveći proizvođač boksita u Evropi. Eksploatacija boksita je počela 1948. godine da bi 1989. godine dostigla nivo od 900.000 tona. Eksploatacioni radovi su vršeni na velikom broju lokaliteta uz primjenu površinskog i podzemnog načina otkopavanja kao i njihovog usavršavanja na evropskom nivou.

Fabrika glinice puštena je u rad 17. novembra 1972. godine. Proizvodnja se u njoj odvija po tipičnom evropskom Bajerovom postupku, postupku sa većim koncentracijama i proizvodnjom "Fluory" glinice, za razliku od američkog Bajerovog postupka sa nižim koncentracijama i proizvodnjom krupnozrne "Sandy" glinice.

Fabrika anoda rađena u I fazi proširena je u okviru izgradnje II faze. Rješenja zadovoljavaju širok izbor kvaliteta sirovina i tehnoloških parametara, te se postiže i adekvatan kvalitet anoda. Znači, moguće je ostvariti kvalitetan proizvod - pečene anode, koristeći koks i smolu različitih proizvođača i standardizovanog sastava. U okviru II faze ugrađena je vibraciona presa koja predstavlja savremeno rješenje sa aspekta kapaciteta, fleksibilnosti i kvaliteta proizvoda.



Sl.1. Pregled glavnih sirovina, energenata, procesa i kapaciteta industrije aluminijuma Crne Gore

SI. 2 ŠEMA ORGANIZACIJE KOMBINATA ALUMINIJUMA

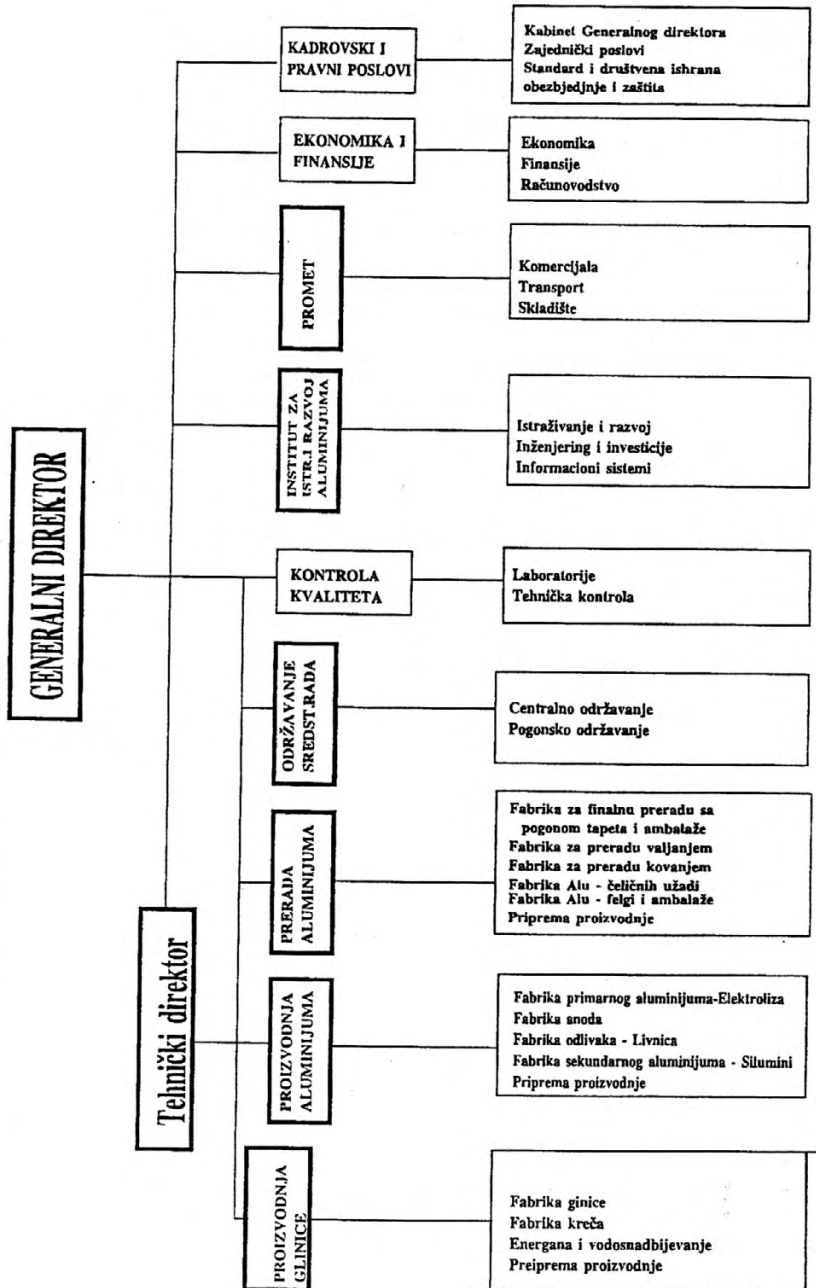


Tabela 1. Organizaciona struktura i broj radnika
 Kombinata aluminijuma Podgorica

Nivo	Naziv organizacione cjeline	Br.radnika	Br.radnika (VSS)
00	Organizacija: Proizvodnja glinice	2	1
01	Fabrika za proizvodnju glinice	197	4
02	Fabrika za proizvodnju kreča	70	2
03	Energana i vodosnabdijevanje	54	2
09	Priprema proiz.org.za proizv.glinice	23	7
U k u p n o:		346	
10	Organizacija: Proizvodnja aluminijuma	4	3
11	Fabrika za proizvodnju	508	4
12	Fabrika za proizvodnju anoda - Anode	199	4
13	Fabrika za proizvodnju odlivaka - Livnica	192	2
14	Fabrika za proizv.leg. i odliv. - Silumini	108	3
19	Priprema proizv.org.za proizv.aluminijuma	30	8
U k u p n o:		1041	
20	Organizacija: Prerada aluminijuma	6	5
21	Fabrika za preradu aluminijuma - Prerada	330	5
22	Fabrika za preradu valj.proiz. - Valjaonica	54	2
23	Fabrika otkovaka od Al-legura - Kovačnica	106	3
24	Fabrika alu-čeličnih užadi Kolašin	86	2
25	Pogon tapeta i ambalaže - Berane	11	-
26	Fabrika aluminijumskih felgi	16	-
29	Priprema proizv.org.za preradu aluminijuma	42	14
U k u p n o:		659	
30	Organizacija: Održavanje sredstava rada	2	1
31	Centalno održavanje sredstava rada	452	42
35	Pogonsko održavanje sredstava rada	793	49
U k u p n o:		1247	
50	Organizacija: Promet	3	2
51	Komercijala	58	24
54	Transport	149	5
55	Skladište	147	3
U k u p n o:		357	

Nivo	Naziv organizacione cjeline	Br.radnika	Br.radnika (VSS)
60	Organizacija: Institut za istraž. i razvoj	3	2
61	Centar za istraživanje i razvoj	7	2
62	Inženjering i investicije	25	14
63	Centar za informacione sisteme	25	13
U k u p n o:		60	
70	Sektor: Kontrola kvaliteta	5	4
71	Labolatorije 70	9	
72	Tehnička kontrola 90	5	
U k u p n o:		165	18
80	Sektor: Ekonomika i finasije	1	-
81	Služba finansija 37	14	
82	Služba računovodstva	64	12
83	Služba ekonomike 35	17	
U k u p n o:		137	44
90	Sektor: Kadrovski i pravni poslovi	2	1
91	Kabinet generalnog direktora	12	10
92	Odsjek zajedničkih poslova	142	25
93	Odsjek standarda i društvene ishrane	143	4
94	Odsjek obezbjeđenja i zaštite	218	11
U k u p n o:		531	51
SVE UKUPNO NA NIVOU KAP-a		4 540	301

Elektroliza ima ćelije koje koriste protok struje jačine 80 kA. Kako iz prethodnog stava proizilazi, u elektrolizi se za rad koriste pretpečene elektode. Karakteristike ćelija u I i II fazi su u osnovi iste, s tim što su u II fazi učinjena mnoga unapređenja koja omogućavaju bolju zaštitu životne i radne sredine i veći stepen mehanizacije i automatizacije procesa rada. Naime, u II fazi elektrolize je ugrađena kaptaža gasova i automatska kontrola procesa putem računara.

Livački kapaciteti su koncipirani za proizvodnju formata pogodnih za bilo koji oblik dalje prerade: valjanjem, presovanjem, vučenjem, kovanjem i livenjem formi. Instalacije su, uz to, tako izabrane da se pomoću njih mogu raditi svi materijali, sa vrlo malim izuzecima, o čemu potvrdno govore i već stečena iskustva sa legurama koje sadrže visoki sadržaj bakra, cinka i magnezijuma, a više ovih i drugih legiranata istovremeno.

Kapaciteti valjanja nemaju liniju toplog valjanja, što broj legura za preradu valjanjem značajno ograničava. No, istovremeno je kontinuirano livenje trake savremeno rješenje koje značajno smanjuje broj operacija i troškova proizvodne trake. Za pojedine namjene gdje se traži veća čvrstoća za isti hemijski sastav i veća termička stabilnost, koncept valjanja na bazi uloška od kontinuirano livene aluminijumske trake ima prednosti. Tehnologije dubokog izvlačenja i obezbjeđenje strukture trake "Anodal" kvaliteta (pogodnog za anodizaciju) nijesu dostigle rezultate koji se postižu na bazi klasične, toplo valjane trake. Oprema za valjanje koja se sada proizvodi, u odnosu na postojeću, obezbijedena je automatskom kontrolom i regulacijom debljine i ravnoće trake korišćenjem mikroprocesora, što kvalitet i kapacitete povećava.

Na liniji livenja i valjanja trake i folije postoji izvjesna neusklađenost kapaciteta i potreba njihove optimalizacije.

Kapaciteti presovanja koje čini jedna presa, iako mali, već više od deset godina uspješno ispunjavaju zahtjeve kvaliteta i količina. Uobičajeno je da postoji lepeza (tri i više) presa. Savremene prese koriste princip indirektnog presovanja, pogodne su za tvrde legure, cijevi i zatvorene profile od tvrdih legura.

Kapaciteti za izradu fleksibilnih ambalažnih materijala na bazi Al-folije, su kupljeni i pušteni u pogon u saradnji sa firmom TECMO - Torino (Italija). Karakteriše ih velika raznolikost mogućih asortimana po pojedinim linijama. Postignuti rezultati (kvalitet proizvoda, kapacitet) mogu se ocijeniti dobrim. Oprema je isporučena 1974-75. Proizvodnu opremu prati niz pripremnih odjeljenja, koja čine proizvodni ciklus zaokruženim i nezavisnim. Priroda proizvodnje i opremljenost omogućavaju brza presovanja u proizvodnom asortimanu, prema zahtjevima tržišta.

Kapaciteti žice i užadi savremeni su i dobro usklađeni, uz uvijek izvjesni višak ili rezervu kapaciteta prethodne faze (koja takođe može ići na tržište) na liniji livena/toplo valjana properzi žica - vučena žica-užad. Potrebna je modernizacija linije za livenje žice da bi se prešlo na proizvodnju legura za samonosivu užad (bez čeličnog jezgra).

Kapaciteti kovanja, odnosno kovačkog presovanja, prilagođeni su teškim otkovcima i tvrdim legurama. Kompletirani su livenjem i termičkom obradom za potrebe najšireg opsega konvencionalnih legura. Postignuti su izuzetni rezultati na osvajanju raznih vrsta legura i njihovoj preradi.

Fabrika livačkih legura na bazi sekundarnog aluminijuma sadrži sve procese, tretmane i operacije za rad sa šljakom, sekundarnim aluminijumom, tehnološkim otpadom i primarnim aluminijumom do praktično svih livačkih legura, degaziranih i modificiranih.

Ovako raznovrsne, složene i savremene tehnologije i proizvode prate i razvijaju Kontrola kvaliteta i Institut za istraživanje i razvoj aluminijuma,

opremljeni najsavremenijom tehnikom i metodama koje se u ovoj oblasti koriste u sličnim institucijama i razvijenim industrijama i kompanijama za proizvodnju i preradu glinice i aluminijuma.

Usklađenost kapaciteta može se komentarisati kako slijedi: (1) kapaciteti glinice su veći od potreba elektrolize; (2) kapaciteti livenja su dimenzionisani fleksibilno i mogu obraditi veću količinu tečnog metala; (3) kapaciteti valjanja veći su od kapaciteta livenja trake; (4) kapaciteti prerade su u uslovima njihovog usklađivanja sa kapacitetima livenja trake najviše 43.000 tona, što je 36% od ukupnog metala (sa siluminima), ili bez usklađivanja kapaciteta 25%; (5) za razvoj raspoloživi slobodni metal od 1900. je 62.400 tona, od čega 26.200 tona liveni uložak, a 36.100 preradevine, što bi dostiglo ukupno 53% prerade. Slobodni metal za preradu u većem iznosu bio bi raspoloživ od 1990.

1.3. Uticaj na životnu sredinu

Industrija aluminijuma, pa i industrija aluminijuma u Crnoj Gori, preko vazduha, vode i tla vrši emisiju ili prenos određenih materijala u okolinu, što svakako podleže analizama i ocjenama uticaja ovih na životnu sredinu. U Kombinatoru se ovim pitanjem ne tako davno bavila i Državna komisija, zahvaljujući čijem izvještaju smo ovdje u mogućnosti da damo mjerodavne i kompetentne ocjene o uticaju Kombinatora na životnu sredinu. Naime, ovo pitanje je radom Komisije apsolvirano, pa umjesto apstrakta ili ličnog stava u vezi sa tim, ukazujemo na tri materijala: (1) Zaključci Državne komisije o kvalitetu životne sredine i uticaju Kombinatora aluminijuma, (2) Predlog mjera rješavanja problema i (3) Operativni program realizacije mjera u cilju smanjenja uticaja Kombinatora na kvalitet životne sredine - po zaključcima Državne komisije.

Iz epiloga rada Komisije očigledno je da izvjesni problemi za rješavanje postoje, ali i ocjena uz to o realnosti dovođenja rada Kombinatora na nivo koji omogućava njegov ekološki održiv rad i razvoj.

1.4. Infrastruktura

1.4.1. Sirovine i transport

Glavne sirovine i repromaterijali dati su na šemi, sl.1, i njih čine boksit iz okoline Nikšića i soda, koks i smola iz uvoza. Ovome svakako treba dodati fluorne soli (kriolit i aluminijum florid), predlegure za dodavanje, modifikaciju, rafinaciju, drugi materijal, opremu i alate.

Značajno je, međutim, ovdje izdvojiti, kvantifikovati i vrednovati sirovine i repromaterijal iz uvoza. Njihove glavne stavke su mazut (110.000 tona

ili 11 miliona USD po svjetskim cijenama), kaustična soda (30.000 tona ili 4,5 miliona USD), petrol koks (50.000 tona ili 2,5 miliona USD) a zatim fluorne soli (4.000 tona ili 4,0 miliona USD), za što je potrebno oko 30 miliona USD godišnje. Ovome, za redovnu proizvodnju i obnavljanje ćelija, treba dodati za natrijum sulfid, predlegure, silicijum-metal, katodne blokove i dr., još oko pet miliona USD. To je značajno zbog planiranja asortimana i vrijednosti uvoza (i) radi izvoza.

Transport sirovina i proizvoda vrši se, zavisno od obima i karaktera roba, pomorskim, željezničkim, drumskim i vazдушnim saobraćajem, za što ima povoljnih uslova i mogućnosti.

1.4.2. Goriva i električna energija

Već smo komentarisali potrošnju od 110.000 tona mazuta za pune kapacitete Kombinata. Njegov najveći dio se troši za potrebe Fabrike glinice, ali i Fabrike aluminijuma (Fabrika anoda i Livnica). Posebnu pažnju, međutim, u proizvodnji primarnog aluminijuma zaslužuje električna energija, jer je aluminijum drugi po potrošnji iz grupe metala koji se proizvode u velikim količinama.

Učešće električne energije u troškovima proizvodnje aluminijuma 1978. godine iznosilo je 20-25%, a 1983. se kretalo 16-30% (6). Za duži period potrošnje energije, u kWh, po toni aluminijuma, kretala se na slijedeći način:

1889. godina	100.000 kWh/toni
1892. godina	40.000 "
1898. godina	25.000 "
1937. godina	21.000 "
1947. godina	20.380 "
1978. godina	14.000 "

Najnovija tehnološka rješenja u industrijskoj praksi postižu potrošnju od 13.000 kWh po toni aluminijuma /5/.

Iako je potrošnja energije u proizvodnji poluproizvoda i gotovih proizvoda manja i njen relativni uticaj na cijenu proizvoda slabiji, njena relativna potrošnja se savremenim tehnološkim rješenjima može smanjivati adekvatno ili ponegdje čak i više od relativnog smanjenja potrošnje energije u procesima proizvodnje glinice i aluminijuma.

Već smo komentarisali da je mazut uvozna komponenta, dajući podatke o količini i vrijednosti uvoza. Za razliku od njega električna energija se u potpunosti obezbjeđuje iz sopstvenih izvora.

1.5. Proizvodnja i prodaja

Ne postoji značajna, ili bolje reći da ne postoji u okviru Kombinata, tehnološka linija čiji projektovani kapaciteti nijesu provjereni i potvrđeni. U glavnim fabrikama primarne proizvodnje kapaciteti su duže vremena korišćeni u punom iznosu, što je potvrda dobrog izbora tehničko-tehnoloških rješenja i tržišta. O tome ima dosta podataka u dokumentaciji Kombinata i publikovanim materijalima.

Ovdje ćemo, radi paralele već komentarisanoj uveznoj zavisnosti, istaći izoznu orijentaciju Kombinata. Ona je ilustrovana u Tabeli 2.

Tabela 2. - Vrijednost prodaje proizvoda Kombinata u periodu 1986 - 1990. godine, u USD

Godina	Ukupna prodaja	%	Domaće tržište	%	Inostrano tržište	%
1986	151 096	100	68 391	44,9	83 705	55,1
1987	160 339	100	53 329	33,2	107 010	66,8
1988	185 963	100	63 929	34,2	122 034	65,7
1989	158 704	100	52 626	33,1	106 078	66,9
1990	162 501	100	38 055	23,4	124 446	76,6

Dakle, u strukturi ukupnog plasmana izvoz učestvuje sa 55,1 do 76,6 procenata, što je svakako povoljno. Međutim, struktura plasmana u izvozu je nepovoljna, jer znatno manje učestvuju prerađevine od proizvoda primarne proizvodnje.

Valja ovdje napomenuti da je tržište bilo ograničavajući faktor u korišćenju kapaciteta kovanja i proizvodnje aluminijumsko-čeličnih užadi i na domaćim i na inostanim prostorima.

1.6. Ocjena dostignutog tehnološkog nivoa

U Industriji primarnog aluminijuma se koristi Bajerov proces za proizvodnju glinice i Hall-Heroultov proces za proizvodnju aluminijuma - oba stara nešto više od sto godina. Ovi procesi su, međutim, stalno usavršavani i prate ih mnoga tehničko-tehnološka rješenja koja, zajedno sa prethodnim, industriju aluminijuma svrstavaju u srednji tehnološki nivo. To bi se moglo reći i za preradu aluminijuma, iako i tu postoji široka lepeza tehnološkog nivoa procesa i proizvoda, kako sa aspekta proizvodnje tako i sa aspekta funkcije materijala u proizvodima raznih pa i visokih nivoa tehnologije.

Kada gornju globalnu ocjenu prenesemo na industriju aluminijuma u Crnoj Gori i pokušamo je ilustrovati primjerima, onda to izgleda ovako: (1)

Iz crvenog boksita proizvodi se čisti bijeli prah, a iz ovoga dalje srebrnasto-bijeli još čistiji metal. Ipak, sve to na bazi procesa koji su stari preko sto godina i tehničko-tehnoloških rješenja starih oko trideset godina: (2) U Kombinat u postoji tako široka "gama" proizvoda, od teških otkovaka kao što je točak tenka iskovan na presi od 300 MN do folije od 0,009 mm ili aluminijumom u vakuumu metaliziranog poliesterskog filma; (3) Savremena tehnologija kontinuiranog livenja trake među valjcima instalirana je u Kombinat u početkom sedamdesetih, a danas je ona u svijetu unaprijedila do širina trake od 2.200 umjesto 1.600 i debljina od 4 umjesto 8 mm, i još sličnih primjera.

Kako sada sa globalne preći na konkretnu ocjenu dostignutog tehnološkog nivoa u sistemu u kome toliko tehnologija i tehničkih rješenja kao što je to u Kombinat u. Prije nego što to pokušamo da razmatramo priznaćemo da ne može biti govora o kvantitativnoj i detaljnoj kvalifikaciji, ni onda kada bi imali na raspolaganju mnogo više prostora. Ipak, da podsjetimo da je u prilog ocjeni tehnološkog nivoa dosta toga indirektno rečeno u okviru tehničkih karakteristika pojedinih tehnoloških cjelina. Dalja ocjena bi mogla biti preciznije data upoređenjem određenih tehnologija i tehnoloških cjelina u mnogo aspekata a prije svega u upravljanju procesom, kvalitetu i asortimanu proizvoda, troškovima proizvodnje, kapacitetima, fleksibilnošću, humanitarnim aspektima programa (interakcija sa radnicima i okolinom) i sl.

Kad ovome dodamo mnoštvo procesa postaje jasno da je sve što se ovdje može dati izvjesna ocjena glavnih tehnoloških cjelina, što činimo u pogledu nivoa procesa/tehnologija i proizvoda, tabela II, kroz četiri kriterijuma. Ovo je razumije se, uslovno i veoma globalno. U svakom se procesu i ocjeni može naci parametar za i protiv, dati više ili niže ocjene. Uz to bi ove ocjene zahtijevale za svaki slučaj obrazloženje uz neizbježnu potrebu za suprotstavljanjem mišljenja. Otuda i alternativne ocjene (u zagradaama).

Konačno, iz tabele 2. se može izreći ipak značajna ocjena: ne postoji od navedenih, dakle većih tehnološka cjelina nijedna koja nije bar održiva (sa ili bez modernizacijom i rekonstrukcijom) za dalju proizvodnju, odnosno ne postoji ni jedna koja bi po našoj ocjeni neminovno i sada trebala biti eliminisana i/ili zamijenjena.

Koja su konkretna zaostajanja od savremenih dostignuća u tehnološkom nivou i rješenjima pojedinih cjelina, biće prikazano kroz sljedeće poglavlje.

Tabela 3. Pregled i kategorizacija procesa i proizvoda industrije aluminijuma Crne Gore

Tehnološka cjelina	Nivo tehnologije	Nivo proizvoda
Proizvodnja boksita	A	A/B
Proizvodnja kreča	C/D	A/B
Proizvodnja glinice	A/B/C	A/B
Proizvodnja aluminijuma	B/C	A
Proizvodnja anoda	B/C	B
Livenje ingota, T-ingota	A	A
Livenje trupaca, blokova	B	A/B/C
Livenje žice	B/C	B/C
Livenje trake	B/C	B/C
Valjanje trake	B/C	A/B/C
Valjanje folije	B/C	A/B
Oplemenjivanje folije	B	A/B
Presovanje	A/B	A/B
Kovanje	A	A
Izvlačenje (žica i kablovi)	B	B/C

A - Postojeće stanje **na visokom tehnološkom nivou**

B - Postojeće stanje **održivo**, ali postoje novija konkurentna tehničko-tehnološka rješenja i šire mogućnosti i lepeze proizvoda.

C - **Potrebne modernizacije i rekonstrukcije** za obezbjeđenje "održivog" stanja.

D - Proces treba **zamijeniti novim**.

II MOGUĆNOSTI I PRIORITETI PRESTRUKTURIRANJA

2.1 Cilj prestrukturiranja

Tehnološko prestrukturiranje treba da obezbijedi nivo i fleksibilnost postojećih i razvoj novih programa kako bi se ostvarila ekonomičnost, kvalitet i time konkurentnost proizvoda koji će imati mogućnost plasmana na domaćem i svjetskom tržištu. Pritom treba voditi računa o vrijednostima postojećih kapaciteta, znanja, kadrova i tržišta, ali i ići u susret ili ukorak sa najnovijim tehnološkim rješenjima, karakteristikama, vrstom i primjenom proizvoda. Specijalizacija i fleksibilnost moraju se, s obzirom na kompleksnost sistema,

kompromisno realizovati, a prednosti visokog nivoa vertikalno integrisane primarne proizvodnje i horizontalno integrisane prerade treba sačuvati kroz usklađen razvoj i održavanje integriteta cjeline.

2.2 Proizvodi i tržište

Tri su moguća pravca i motiva tehničko-tehnološkog prestrukturiranja: (1) Postojeće i novo tržište za postojeće proizvode i za unapređenje njihovog kvaliteta i ekonomije kroz modernizaciju, rekonstrukciju i razvoj procesa (postojećih i alternativnih) za proizvodnju postojećih proizvoda; (2) Novi programi i proizvodi na bazi istraženog tržišta i sa osnovom u postojećem proizvodnom programu; (3) novi materijali i procesi koji polaze od globalnog trenda njihovog razvoja i primjene i za koje tržište treba tražiti, osvajati i razvijati. Ovaj posljednji (treći) pravac zahtijeva nova znanja i organizovane dugoročne istraživačko-razvojne aktivnosti.

2.3 Potrebe i mogućnosti unapređenja i razvoja postojećih procesa i proizvoda

U Kombinat aluminijuma u Podgorici su već utvrđene potrebe modernizacije i rekonstrukcije nekoliko tehnoloških i/ili organizacionih cjelina, od kojih najveći značaj imaju: Fabrika anoda, Properzi uređaj za livenje - toplo valjanje žice, Valjaonica folije i Presaonica. Za sve je u najvećem dijelu urađena potrebna dokumentacija.

Mogućnosti daljeg unapređenja i razvoja postojećih procesa i proizvoda, koje podliježu ocjeni potreba i prioriteta, dati su na osnovu studija /1,4/, knjiga /3/ i radova /6-8/ koji se detaljnije bave ovom problematikom i navedene su po osnovnim cjelinama kako slijedi:

2.3.1 Glinica

Naučni odbor simpozijuma ICSOBA, održanog u Tihany (Mađarska) 1981. godine, je utvrdio da će se najveći dio glinice do kraja ovog vijeka proizvoditi u Bayerovom procesu. Zahvaljujući tome u narednom periodu se ispoljava tendencija istraživanja na unapređenju ovog procesa. Mada se Bayerov proces duže vremena koristi za proizvodnju glinice, stalno se vrši njegov dalji razvoj. ICSOBA i AIME sastanci su diskutovali razvoj procesa proizvodnje glinice. Naučni odbor simpozijuma ICSOBA održan u Tihany 1981. godine utvrdio je sljedeće glavne trendove razvoja Bayerovog procesa:

- smanjenje potrošnje energije,
- visoko-temperaturno razlaganje boksita,
- uvođenje visoko-kapacitetne opreme,

- uvođenje potpune automatizacije procesa i sistema kontrole pomoću računara.

Glavni pravci istraživanja i razvoja usmjereni su na procese razlaganja boksita i dekompozicije rastvora.

2.3.2 *Aluminijum*

Bolja ekonomija i efikasna zaštita okoline su najvažniji ciljevi unapređenja Hall-Heroultovog procesa za proizvodnju aluminijuma elektrolizom glinice. Veličina ćelija je prethodno porasla ali prelaskom 200 kA (230-250 kA) ne postižu se impresivni rezultati.

Kumulativni rezultat različitih razvojnih aktivnosti su veće anode, unaprijeđen sastav elektrolita, snižena radna temperatura, kontrola emisije i kontrola magnetnih efekata koji rezultiraju u smanjenoj potrošnji energije, koja se ne očekuje mnogo ispod 12 100 kWh/t.

Istraživačko-razvojne aktivnosti za neke važnije modifikacije su:

- razvoj novog materijala i novih dizajn elektroda i
- dalje promjene u sastavu elektrolita.

U prvoj oblasti Kaiser razvija TiB₂ katodu dok Alcan traga za inertnom anodom. Rezultat oba rada bio bi smanjenje potrošnje energije. Prerano je suditi o perspektivama ovih napora.

U području sastava elektrolita aktuelni trend je primjena litijumovih soli u cilju smanjenja otpornosti. Rezultati su smanjenje potrošnje energije, povećanje iskorišćenja struje, smanjena emisija fluorida i smanjeni troškovi rada. Krajnja ocjena, međutim, još nije izvedena.

2.3.3 *Poluproizvodi i gotovi proizvodi*

Trendove i pojedinačna rješenja u razvoju pojedinih značajnijih klasičnih tehnologija proizvodnje i prerade aluminijuma i njegovih legura pomenućemo naprijed:

Kontinuirano livenje. Značajnija karakteristika tekućeg razvoja u ovoj oblasti je rast produktivnosti. Pored toga posebna pažnja se poklanja unapređenju kvaliteta u cilju omogućavanja što veće "game" proizvoda na bazi kontinuirano livenog uloška. Istražuje se mogućnost proširivanja opsega legura i naročito razvoj legura kojima ova tehnologija obezbjeđuje prednost nad klasičnom. Učestuje se lije traka širine 2 200 mm i debljine 4 mm.

Polukontinuirano livenje blokova i trupaca. Konvencionalno polikontinuirano livenje se počelo ponegdje voditi i kontrolisati uz pomoć računara (npr. Alcan); držanjem optimalnih parametara dobijaju se blokovi i trupci velikih dimenzija, homogenog i vrlo dobrog kvaliteta.

Što se tiče novih rješenja dominiraju: (1) Livenje u elektromagnetnoj kokili (SSSR i Swiss Aluminium Ltd); (2) New Hot Top postupak (Showa

Aluminium Industries); (3) Level Feed Reservoir Top (Kaiser Aluminium); (4) Maxi Cast (Wagstaff Co) i (5) Variable Chill Depth Mould (British Aluminium Company).

Savremene tehnologije livenja rezultiraju u izvatku od oko 90%, što rezultira uštedom energije, i uz to omogućavaju livenje visokočvrstih i na pucanje osjetljivih legura u finoj i homogenoj strukturi i sa vrlo kvalitetnom površinom.

Livenje u kokilama. U ovoj oblasti značajni napori se ulažu ka proizvodnji odlivaka što tanjih zidova. Livenje pod visokim i livenje pod niskim pritiskom razvijaju se u tom pravcu. Automatizacija procesa obezbjeđuje visok i ujednačen kvalitet uz uštedu energije, materijala i rada.

Procesi u razvoju su ekstruzija tečnog metala i očvršćavanje pod pritiskom (squeeze casting, rheocasting) i livenje kompozitnih materijala sa aluminijumskom matricom (compocasting). O njima će biti još govora u ovom materijalu.

Valjanje. Novija istraživanja prije svega imaju za cilj da povećaju iskorišćenje i proizvodnost, poboljšaju kvalitet i obezbijede ujednačenost osobina proizvoda. Sa tim ciljem povećava se prečnik kalema i širina trake i uvodi se elektronska kontrola i automatizacija procesa valjanja.

Postoji znatan napor da se smanji debljina folije i uvedu automatske metode za mjerenje i kontrolu parametara procesa i proizvoda. Povećavanje brzine valjanja folije kroz kombinaciju projektovanja opreme i modifikacije osobina materijala za valjanje takođe se razvija.

Ekstruzija. Razvoj presovanja teško presivih čvrstih legura, smanjenje debljine i poboljšanje uniformnosti osobina kvaliteta površine uvode zahtjeve sa snažnijom opremom, automatizacijom i elektronskom kontrolom procesa.

Direktno presovanje će držati svoju dominantnu ulogu kod srednjih snaga, mada prednosti indirektnog presovanja i pored složenosti procesa i opreme mogu još više istaći njegovu primjenu.

Za kratko vrijeme ekstruzija malih presjeka mekših legura Confrom postupkom može imati znatnog uspjeha. To je ekonomična tehnologija koja može da koristi uložak od žice, praha, a proizvodnja profila i žice razvija se direktno iz tečnog metala, polučvrstog stanja ili granula.

Proizvodnja kompozitnih materijala postupkom presovanja nalazi značajnu primjenu. Hidrostatičko presovanje i proizvodnja žice od aluminijuma od par desetina mikrometara već se u manjem obimu primjenjuju.

Površinski tretman aluminijuma. Aluminijum s debljinom prirodno formiranog oksidnog sloja od 0,001 do 0,1 μ m gubi metalni sjaj, posivi i nema potpunu i efikasnu dugotrajnu zaštitu.

Mogućnosti izvanredne i raznolike površinske zaštite i dekoracije aluminijuma, pored niza drugih prednosti, omogućili su mu sve veću primjenu naročito u građevinarstvu.

Danas se najčešće primjenjuju sledeći postupci površinske zaštite i dekoracije aluminijuma:

- anodna oksidacija i bojenje
- elektrostatsko lakiranje praškastim lakovima (pulver bojenje)
- kontinuirano bojenje i lakiranje traka Coil Coating postupkom.

Anodno oksidisan aluminijum je posljednjih godina bio potiskivan iz upotrebe velikim dijelom i zbog značajnih troškova energije koji su mu povećavali cijenu. Upravo zbog toga se u pomenutom periodu u svijetu puno radilo na iznalaženju mogućnosti uštede energije u postupku anodne oksidacije. Kao rezultat tog rada je nekoliko novina koje se danas masovno koriste u procesu anodizacije:

- upotreba impulsnih ispravljača smanjuje potrošnju električne energije u odnosu na klasične i do 50%;
- pojava aditiva za proces anodne oksidacije (dodaju se kupatilu za oksidaciju) koji omogućavaju rad na temperaturama i do 30 °C;
- zatvaranje pora oksidnog sloja hladnim siliranjem. Upotrebom sredstva za hladno siliranje omogućava se proces na sobnoj temperaturi, za razliku od klasičnog postupka na 100 °C.

Elektrostatsko lakiranje praškastim lakovima (pulver bojenje) je jedan od najnovijih postupaka površinske zaštite i dekoracije aluminijuma.

Za razliku od klasičnog mokrog, sistem elektrostatskog lakiranja ima niz ekonomskih i tehničkih prednosti. Ovim sistemom su postignute uštede energije:

- nanošenje praha je jednokratno,
- ušteda energije preko uštede vremena (skraćuje se vrijeme otvrdnjavanja i boravka u peći).

Kovanje. Imajući u vidu ograničeno tržište zbog cijene otkovaka u odnosu na odlivke čija se tehnologija intenzivno razvija, i pored kvaliteta otkovaka ova tehnologija ne doživljava spektakularan razvoj. Njena spečifinost i razvojna aktivnost vidi se u korišćenju opreme razvoju veoma tvrdih materijala, a u budućnosti posebno metalurgija praha. O tiskotropskom kovanju biće kasnije riječi.

Primjeni računara u projektovanju i automatizaciji i elektronskoj kontroli u proizvodnji poklanja se dužna pažnja u istraživanju i razvoju ove tehnologije.

Žica i kablovi. Tehnički aluminijum se sve više zamjenjuje legurama kada je u pitanju primjena za elektrotehničke namjene. Značajna pažnja posvećuje se legiranju ali i mikrolegiranju u cilju postizanja najoptimalnijeg kompromisa mehaničkih i električnih osobina. Već smo rekli da se proizvodi u manjem obimu na pilot postrojenjima žica od aluminijuma prečnika par desetina mikrometara.

Prahovi i paste. Suvi i mokri postupak za proizvodnju prahova u kombinaciji sa proizvodnjom pasti već spadaju u klasične tehnologije. Ovo se odnosi i na suvi postupak proizvodnje praha automatizacijom, iako se radi o brzini hlađenja do 10 na 4°C/sec.

Unapređenje procesa proizvodnje praha ide u pravcu zahtjeva dalje primjene, pa se teži radu u kontrolisanoj atmosferi, većim brzinama hlađenja i manjim česticama sa kontrolisanom raspodjelom.

2.4. Mogućnosti realizacije novih programa razvoja

Krajem 1989. godine u Institutu za istraživanje i razvoj aluminijuma urađena je studija "Projekcija razvoja KAT-a do 2000-te godine" /4/, koja je i u dijelu modernizacija i rekonstrukcija i udijelu unapređenja i razvoja postojećeg i novih programa proizvodnje ponudila plan razvoja za desetogodišnji period. U Studiji su prezentirani, pored ostalog, nalazi tržišnih provjera za 37 novih programa i nalazi od kojih su od tada tri realizovana. Ovi programi se protežu od manjih (npr. aluminijumske tende), preko srednjih (felge za bicikla) do investiciono kapitalnih i po kapacitetima velikih (livnica felgi za putnička vozila). Nema potrebe i mjesta da se ovdje ponavljaju detalji ove desetogodišnje projekcije. Umjesto toga dajemo neke sintetizovane pokazatelje, koji obuhvataju pored novih razvojnih programa, modernizacije, rekonstrukcije i proširenje kapaciteta (vidjeti tabele 4-7, i dijagrame sl. 3-6).

Tabela 4. Potrebe i rezultati pretpostavljenog razvoja KAT-a, po godinama

Godina	Broj proj.	Ukupna ulag. (USDx000)	Deviz. komp. (USDx000)	Poveć.ukup. prih. (USDx000)	Broj novih radnika
1.	5	20557	7529	35004	293
2.	10	62826	30144	39830	890
3.	7	21830	7291	37896	925
4.	5	66149	24955	41271	546
5.	1	15000	6000	6000	100
6.	4	60500	33500	16600	449
7.	2	16176	4774	40646	210
8.	4	67546	36772	24200	344
9.	1	30000	10000	(20000)	60
10.	1	150000	50000	100000	150

Tabela 5. Potrebe i rezultati pretpostavljenog razvoja KAT-a do 2000-te godine, kumulativno po godinama

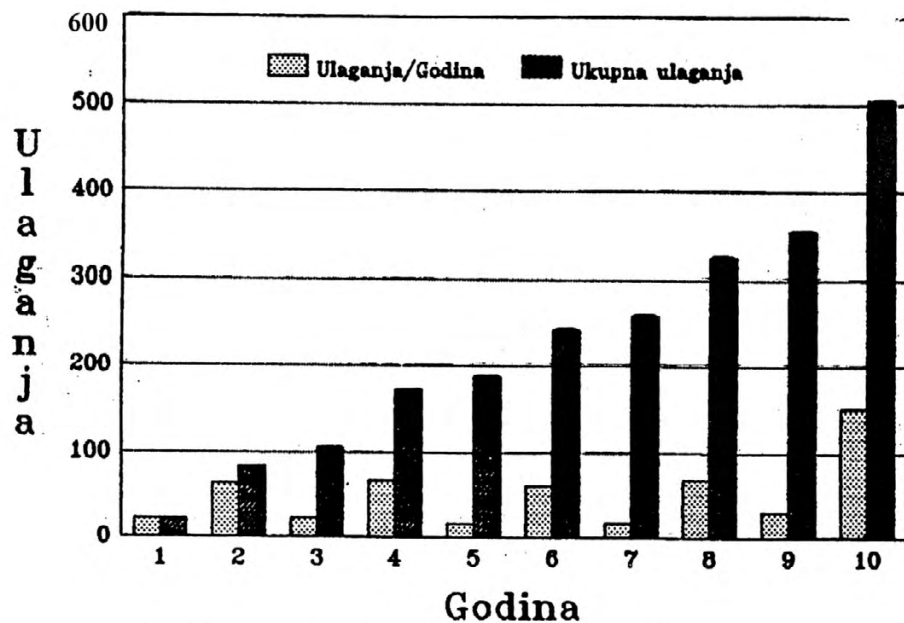
Godina	Broj proj. (kumul.)	Ukupna ulag. (USDx000)	Deviz. komp. (USDx000)	Poveć.ukup. prih. (USDx000)	Broj novih radnika
1.	5	20557	7529	35004	203
2.	15	83383	37673	74834	1183
3.	22	105213	44964	112730	1508
4.	26	171362	69919	154001	2054
5.	27	186362	75929	160001	2154
6.	31	240862	109419	176601	2603
7.	33	257038	224393	217247	2813
8.	37	324584	151165	241447	3157
9.	38	354584	161165	261447	3217
10.	39	504584	211165	361447	3367

Tabela 6. Struktura projekata prema obimu ulaganja

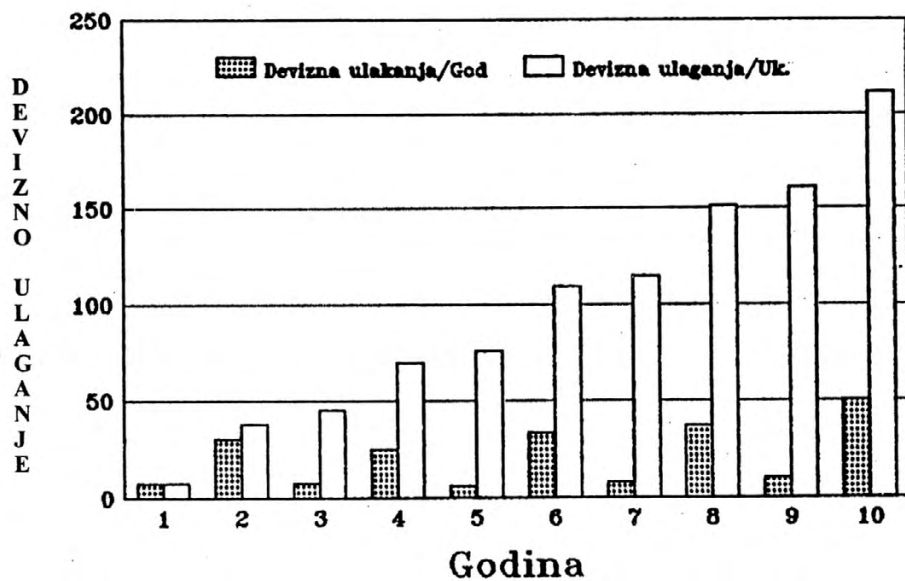
Obim ulaganja	Broj projekata
do 2 miliona USD	15 projekata
2 do 5 miliona USD	5 projekata
5 do 10 miliona USD	4 projekta
10 do 20 miliona USD	7 projekata
20 do 50 miliona USD	5 projekata
50 do 100 miliona USD	1 projekat
preko 100 miliona USD	1 projekat

Tabela 7. Potrebna ulaganja prema strukturi projekata

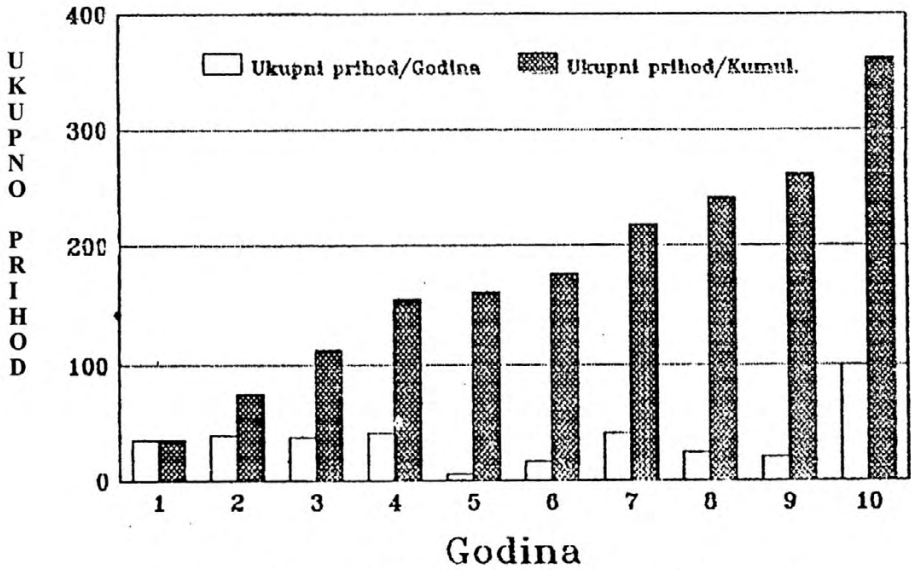
O b l a s t	Obim ulaganja,USD
1. ZNAČAJNIJE MODERNIZACIJE I REKONSTRUKCIJE (bez investicionog održavanja)	12 miliona
2. PROŠIRENJE PRIMARNE PROIZVODNJE	180 miliona
3. PRERADA ALUMINIJUMA - poluproizvodi -	208 miliona
4. PRERADA ALUMINIJUMA - više faze prerade	100 miliona



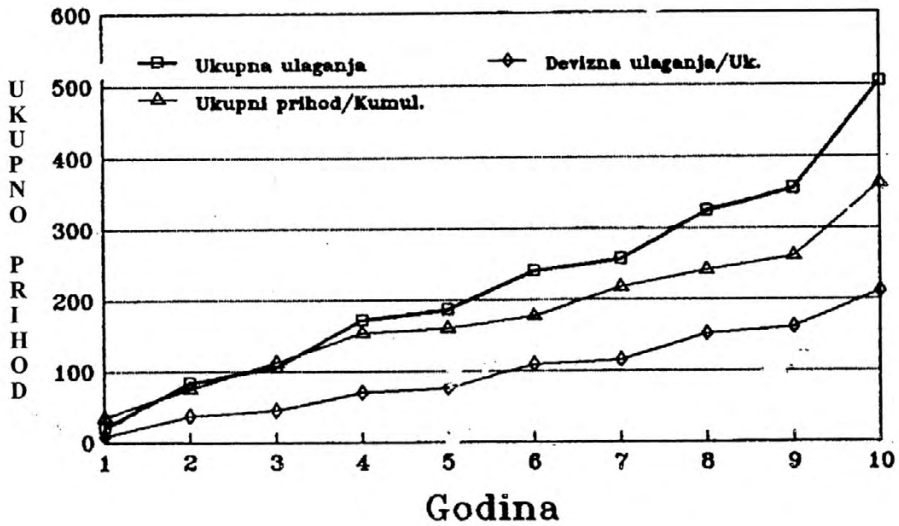
Sl.3. Dinamika ulaganja u okviru plana desetogodišnjeg razvoja



Sl.4. Potrebna devizna sredstva za ostvarenje desetogodišnje projekcije razvoja



Sl.5. Rast ukupnog prihoda kao rezultat desetogodišnjeg razvoja



Sl.6. Ukupna i devizna ulaganja i ukupni prihod koji prate desetogodišnji razvoj

III MOGUĆNOST RAZVOJA NOVIH MATERIJALA I PROCESA NA BAZI POSTOJEĆE PROIZVODNJE

Aluminijumska industrija raspolaže sa tri osnovna materijala koji se koriste, razvijaju ili predviđaju kao baza za nove materijale sa karakteristikama koje će im obezbijediti mjesto u novom tehnološkom razvoju. Ti osnovni materijali su: aluminijum, glinica (alumina) i galijum. U dosadašnjem pristupu aluminijumske industrije, izuzimajući donekle industrijski razvijene zemlje i pojedine kompanije, novi materijali na bazi aluminijuma, kakvi su kompozitni materijali sa aluminijumskom matricom, bili su predmet interesovanja i aktivnosti drugih a ne aluminijumske industrije, glinica je tretirana samo kao proizvod za metalurške namjene (dobijanje aluminijuma), a galijum je bio sporedni proizvod i mali posao o kome se razmišljanje završavalo kod aluminijaša sa nivoom manje ili više čistog metala.

Aluminijum se, kako je moguće vidjeti iz daljeg izlaganja, u kontekstu tehnološkog razvoja uglavnom vidi kao osnova konstrukcionih materijala u svojoj grupi, glinica kao keramički materijala, a galijum kao osnova za elektronske materijale.

Uvažavajući ovakav prilaz kao šansu aluminijumske industrije, a time i radi obezbeđenja podloge za realizaciju cilja ovog rada, u narednom tekstu dajemo neke globalne podatke o vrsti, proizvodnji i primjeni novih materijala na bazi aluminijuma, glinice i galijuma. Uz ovo se ne može zaobići pominjanje novih procesa, čija raznovrsnost i složenost proizilaze iz različitosti osobina i primjene ova tri osnovna materijala i novih materijala kao njihovih "derivata".

3.1. Materijali na bazi aluminijuma

Materijali na bazi aluminijuma koji privlače pažnju novih tehnologija su: superčisti aluminijum; legure aluminijum-litijum; legure aluminijuma visoke čvrstoće sa mogućnošću oblikovanja; legure aluminijuma visoke zatezne čvrstoće; legure aluminijuma otporne na habanje; superplastične legure aluminijuma; termootporne aluminijumske legure; aluminijumske legure za brzo očvršćavanje; aluminijumske legure za magnetne diskove, poligonalna ogleđala, žica za elektroniku, štampana kola, bešumni i silikonski predsenzibilizovani bubnjevi, elektrolitički kondenzatori i sl. Poseban interes se pokazuje za kompozitne materijale sa aluminijumskom matricom.

Za proizvodnju navedenih materijala mogu se koristiti konvencionalne tehnologije i oprema, ponekad modificirane, ali se razvijaju i sasvim nove. Tri grupe materijala rezultat su i/ili motiv za razvoj novih procesa koji omogućavaju najkraći put od tečnog metala do konačnog proizvoda. Materi-

jali na kojima su primijenjeni ovi procesi su: (1) superčisti aluminijum, (2) materijali za livenje i/ili kovanje u polučvrstom stanju - livenje i kovanje reoloških odnosno tiksotropskih materijala i (3) kompozitni materijali sa aluminijumskom matricom.

Superčisti aluminijum. Primjena superčistog aluminijuma uključuje elektrolitičke kondenzatore, zamjenu zlatne žice kod integralnih kola, štampače i kopir aparate, diskove za kompjutere, aluminijumske prahove, visokočvrste legure i ultračiste binarne legure aluminijum-silicijum i aluminijum-bakar i ternerne legure aluminijum-silicijum-bakar.

Duže vremena potrebe za superčistim aluminijumom zadovoljavane su proizvodnjom u troslojnim elektrolitičkim ćelijama. Međutim, ovaj postupak je skup i ne rješava uvijek pitanje ukupne čistoće a naročito uklanjanja specifičnih primjesa, naročito željeza i silicijuma.

Frakciona kristalizacija, koja se zasniva na kontrolisanom očvršćavanju iz rastopa, postaje poželjniji postupak i mnogo pogodnija tehnologija za istraživanje i fleksibilnija za razvoj i korišćenje kapaciteta.

Osnova prečišćavanja frakcionom kristalizacijom leži u činjenici da prve količine metala koji očvršćava u određenim uslovima sadrže znatno manje količine pojedinih elemenata, kao što su željezo i silicijum, nego što ih je u matičnom i naročito preostalom rastopu. Na primjer, rastop aluminijuma koji sadrži 0,04% Si pri hlađenju i očvršćavanju u ravnotežnim uslovima neposredno ispod 660°C formira prve količine čvrste faze koja sadrži samo 0,002% silicijuma. Slično, aluminijum koji sadrži 0,04% Fe počinje očvršćavanje kristalima koji sadrže samo 0,001% Fe.

Ovaj pristup je iskorišćen za razvoj tehnologije proizvodnje superčistog aluminijuma od strane ALCOA-e i Pechiney-a. Skorije, Nippon Light Metal Co., Nippon Kokan i Mitsubishi Light Metal Industries su, svako pojedinačno, razvili polukontinuirani ili kontinuirani postupak frakcione kristalizacije aluminijuma.

Materijali za livenje i kovanje u polučvrstom stanju. Reološke ili polučvrste smjese sa kristalima nedendritne strukture istražene su i razvijene u Massachusetts Institute of Technology (MIT) od strane Flemingsa, Mehrabijana i Spencera ranih 1970-ih. Koncept proizvodnje reoloških materijala zasniva se na činjenici da djelimično očvršli metali i legure koji se kontinuirano i snažno miješaju tokom očvršćavanja, mogu formirati kristale i nedendritne strukture. Ovi su materijali fluidni i pri visokom procentu vrste faze, do 50%, pa su pogodni za livenje. Otuda naziv reološko livenje (Rheocasting).

Djelimino očvrste smjese pokazuju tendenciju smanjenja prividnog viskoziteta sa porastom stepena dejstva smičućih napona. Ovo zbog toga što primarne čvrste čestice postaju elipsoidne i orijentišu se u pravcu dejstva smičućih napona sa porastom stepena smicanja. Ova specifična karakteristi-

ka je nazvana tiksotropija i otuda nazivi tiksotropsko livenje i/ili kovanje (Thixocasting, Thixoforging). Tiksotropija nastaje kada materijal pokazuje zavisnost viskoziteta od stepena smicanja.

Postoje različite metode za proizvodnju materijala sa nedentritnom mikrostrukturom i sposobnošću da pokazuju tiksotropičnost. One su u osnovi postupci koji obezbeđuju intenzivno miješanje tokom očvršćavanja i mogu se podijeliti na kontaktne (mehanike) i nekontaktne (magnetno-hidrohemijske). I postupci i materijali su u intenzivnom razvoju a rezultati obećavaju značajna dostignuća u poboljšanju osobina postojećih i razvoju novih materijala.

Kompozitni materijali sa aluminijumskom matricom. Od kada je Toyota ranih 1980-ih počela komercijalnu proizvodnju klipova dizel motora od kompozita - aluminijumskih legura ojačanih kratkim keramičkim vlaknima - istraživanje i razvoj kompozitnih materijala sa metalnom matricom imalo je pun zamah. Od prije nekoliko godina razvijaju se kompozitni materijali sa metalnom matricom armiranom neprekidnim vlaknima bora, ugljenika i silicijum-karbida.

Značajne rezultate u ovoj oblasti postigla je kompanija Duralcan USA (podružnica Alcan Aluminium Corp.) koja je u San Diegu uvela komercijalnu proizvodnju kompozitnih materijala sa aluminijumskom matricom. U njenom patentiranom proizvodnom procesu fine keramičke čestice se miješaju sa rastopljenim aluminijumom uz intenzivno miješanje. Proizvode se ingoti, trupci ili blokovi koji se kasnije mogu pretapati i liti ili prerađivati presovanjem, kovanjem ili valjanjem.

Proces koji na pogodan način oblikuje reološke, tiksotropске i kompozitne materijale u konačne očvršle forme je toplo livenje pod pritiskom (Squeeze casting).

Mehaničke osobine ovih materijala su znatno bolje od standardnih aluminijumskih legura. Ostale atraktivne osobine kao što je koeficijent termičkog širenja i otpornost na trenje i habanje, oko dva puta su bolje od istih za materijal matrice odnosno odgovarajući neojačani aluminijum ili njegovu leguru.

Na primjeru standardne legure za livenje Al mogu se vidjeti prednosti opisanih procesa odnosno njihovih kombinacija za poboljšanje mehaničkih osobina, kako se vidi iz Tabele 8. Interesantno je napomenuti da su mehaničke osobine "durala" toplo livenog pod pritiskom ili tiksokovanog uporedive sa onima koje se postižu skupom konvencionalnih operacija termo-mehaničkog tretmana.

Tabela 8. Upoređenje mehaničkih osobina materijala na bazi iste legure aluminijuma

Proces	Poboljšanje osobina u poređenju sa onima koje se postižu livenjem u pijesku, %		
	Rm	A	HB
Rheo	42	35	-
Thixo	48	40	20
Squeeze	50	42	22
Rheo-Squeeze	111	120	103
Thixo-Squeeze	112	122	105
Compo-Squeeze	105	110	85

Zato što su troškovi proizvodnje ovih materijala relativno niski i zato što daju konačne forme, oni se sve više prihvataju za mnoge primjene u automobilske industriji, avio industriji, industrijskoj opremi, sportskoj opremi i dr. Danas postoji više od pedeset livnica u svijetu koje imaju iskustvo u livenju ovih materijala.

3.2. Keramika na bazi Al_2O_3

Istorija čovječanstva jeste u određenoj mjeri i istorija materijala. Čovjek je od davnina naučio da oblikuje glinu i da pečenjem dobija posude za kuvanje hrane i čuvanje vode. Razvojem industrije čovjek razvija nove materijale, bez kojih se savremeno doba ne može zamisliti.

U takve materijale spada i oksid aluminijuma koji je najrasprostranjeniji metalni oksid zemljine kore, koji danas ima, osim za dobijanje metalnog aluminijuma, i širok spektar primjene za različite proizvode konstrukcije i fine keramike. S obzirom na njegove specifične osobine i sve veću primjenjivost Al_2O_3 mnogi zovu "materijal budućnosti", a 21. vijek "drugim neolitom" ili "vijekom fine tehničke keramike". Samo radi ilustracije na sl.7. shematski je prikazana lepeza funkcija, osobina i primjene visokih tehnologija.

U 1986. godini prodato je u svijetu keramičkih proizvoda za 30 milijardi US dolara, od čega se 50% odnosi na Al_2O_3 keramiku /10/. Cijene specijalnih prahova od aluminijum oksida za potrebe fine keramike dostižu vrijednost od oko 10.000 USD za kilogram, a keramički proizvodi se umnožavaju od 1-10 puta. Ekonomska predviđanja o proizvodnji i komercijalnom plasmanu moderne keramike su vrlo optimistička.



Sl.7. Funkcije, osobine i primjena Al_2O_3 keramike

Od naročito značaja za razvoj proizvodnje keramike je tehnološki progres, kao što će i razvoj keramičkih materijala uticati, povratno, na razvoj drugih tehnologija. Na primjer, super legure kao termootporni materijali su razvijene do gornje granice svojih mogućnosti, pa se očekuje da keramika može omogućiti dodatnih 200°C radne temperature motora i turbina i u skladu sa tim povećati koeficijent iskorišćenja toplote.

Kao u slučaju mnogih drugih tehnologija novih materijala, tehnologije proizvodnje i procesiranja keramičkih prahova i izrade komponenti dosta su fleksibilne u pogledu kapaciteta, što će reći da ulazak u njihovu proizvodnju ne zahtijeva neophodno velika, kapitalna ulaganja. Od ključnog su značaja potrebna fundamentalna i tehnološka znanja i prateće istraživačko-razvojne aktivnosti na dobro osmišljenim programima.

3.3. Materijali na bazi galijuma

Oblasti primjene galijuma već 1983. godine bile su: svjetleće diode 66,9%; mikrotalasne (analogne) jedinice 10%; mjehuraste memorije 5,3%; fotonaponske ćelije 0,9% i ostali (znatno u superprovodnim magnetima) 0,3% /11/.

Svjetska potrošnja primarnog i sekundnog galijuma već u 1984. godini bila je kao u Tabeli 9. Kao glavni i praktično jedini potrošači javljaju se Japan, SAD i zemlje Zapadne Evrope, što govori o tome da ga koriste industrijski i tehnološki razvijene zemlje, odnosno da je galijum materijal za proizvode visokih tehnologija.

Godišnja stopa rasta potrošnje od 20% početkom 1980-ih takođe je pokazatelj razvoja primjene ovog materijala sa prodorom visokih tehnologija. Zavisno od razvoja proizvodnje čipova i fotonaponskih ćelija i cijene njihove proizvodnje prognozira se, zavisno od izvora podataka, rast potrošnje galijuma na 80 400 tona godinje u 1995. godini, da bi 2000. ona iznosila 500 a 2020. godine 1500 tona.

Očekuje se da će proizvođači svjetlećih dioda ostati glavni potrošači galijuma tokom narednih godina, ali da će druge namjene dobiti na značaju. Čipovi na bazi galijum-arsenida smatraju se superiornim nad onim od silicijuma u brzini, snazi, kapacitetu i otpornosti na zračenje. Visoko zahtjevni kompjuteri i superbrza procesna oprema trebaju ove prednosti. Očekuje se značajan rast potrošnje galijuma za integralna kola, ali još uvijek umjeren u poređenju sa silicijumom.

Tabela 9. Svjetska potrošnja galijuma u 1984. godini (t)

Zemlja/oblast	Galijum primarni	Galijum sekundarni	Ukupno
Japan	18-22	6-7	24-29
SAD	7-8	2	9-11
Zapadna Evropa	2-4	-	3-4
UKUPNO :	27-34	6-9	36-44

Druga primjena sa značajnim potencijalom su periferne memorije i fotonaponske ćelije. Periferne memorije na bazi galijum-godolinijum garneta (GGG) nude veću gustinu od silikonskih i imaju osobinu da ne dolazi do gubitka podataka pri ispadu struje ("nenaponska memorija"). Periferne memorije od GGG su takođe sposobne da funkcionišu pod veoma oštrim uslovima. U fotonaponskim ćelijama zamjena silicijuma galijumom dovodi do povećanja iskorišćenja za 50%. Ćelije od galijum-arsenida, mada skuplje, lake su, mogu raditi kod viših temperatura i otpornije su na zračenje.

Tehnologije proizvodnje galijuma i galijum-arsenida (-fosfida, -antimoni- da, -nitrida) pretežno spadaju u domen visokih tehnologija i njihova dostup- nost je veoma ograničena. Otuda je sopstveno istraživanje u ovoj oblasti sko- ro neizbježno za postizanje i početnih i konačnih razvojnih rezultata.

3.4. Koncept razvoja novih materijala i procesa u okviru aluminijumske industrije i povezivanje sa visokim tehnologijama

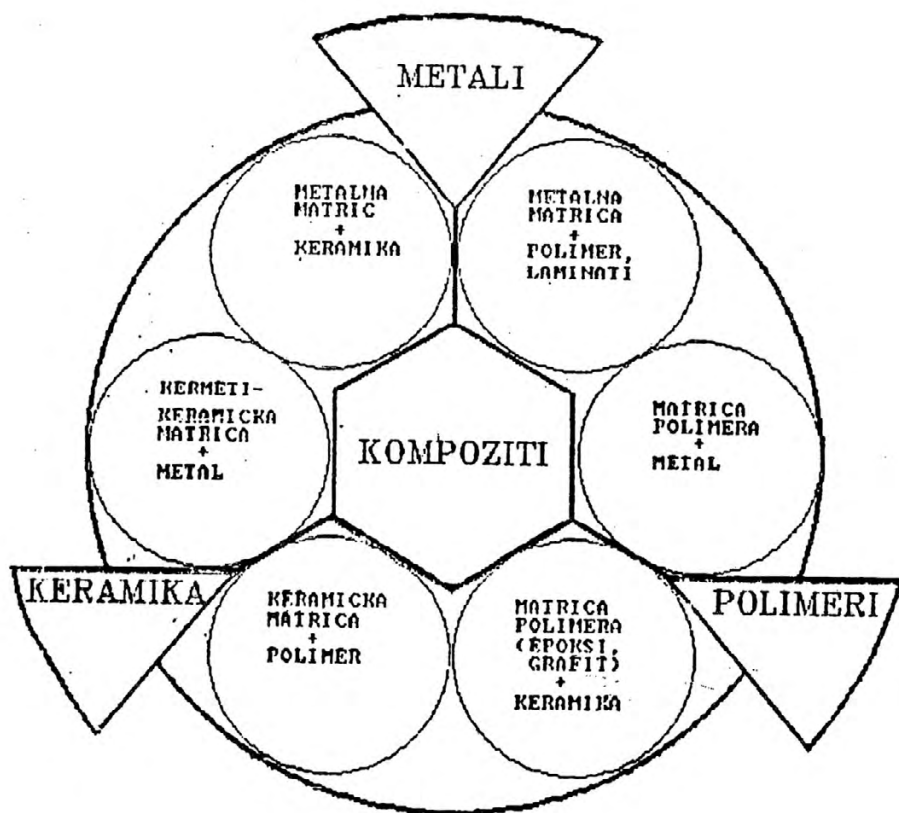
U formiranju koncepta razvoja novih materijala polazi se, kako se iz gor- njeg izlaganja može zaključiti, od aluminijuma, glinice i galijuma kao osnovnih materijala. Aluminijum i glinica spadaju u grupu materijala koji se proizvode u velikim količinama u svijetu, dok galijum spada u grupu "egzotičnih" mater- ijala i zahtijeva poseban pristup u razvoju.

Ako se pođe od klasifikacije materijala može se zapaziti da najznačajniji kapaciteti i vrijednosti prodaje pripadaju metalima (u okviru kojih je alu- minijum), keramici (u okviru koje je Al_2O_3 keramika), polimerima i kompozit- nim materijalima (u okviru kojih su kompozitni materijali sa aluminijumskom matricom). Ovi materijali konačno i čine konkurenciju jedni drugima. Otuda je moguće za slučaj industrije aluminijuma učiniti nekoliko rješenja radi obezbjeđenja mjesta na tržištu materijala: (1) specijalizirati aluminijum i na tradicionalan način se uključiti u konkurenciju sa drugim materijalima; (2) pored aluminijuma razvijati keramiku na bazi Al_2O_3 kao netradicionalni ma- terijal za aluminijumsku industriju; (3) uz prethodno kombinovati sopstvene bazne materijale u kermete i kompozite sa aluminijumskom matricom ojačane Al_2O_3 i drugim keramičkim česticama i vlaknima; (4) u razvojne programe uključiti superčiste i ekstremnočiste metale kao što su aluminijum i galijum sa kojima se ulazi u grupu materijala za informacione ali i druge tehnologije.

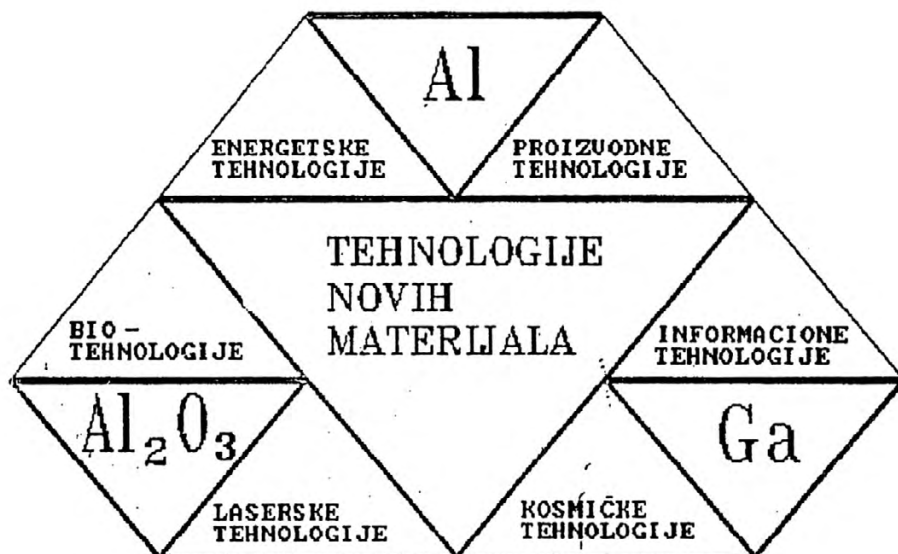
Na sl.8. ilustrativno su prikazane četiri glavne grupe materijala, koje čine veliku većinu ukupne količine materijala, koji se proizvode u svijetu: metali (aluminijum), keramika, polimeri i kompozitni materijali. Aluminijum i le- gure aluminijuma koje zadovoljavaju zahtjeve novih tehnologija, keramika na bazi aluminijum-oksida, kermeti i kompozitni materijali sa aluminijum- skom matricom mogu izrasti kao prirodan razvojni proizvod aluminijumske industrije, koja sa svojim osnovnim materijalima predstavlja njihov resurs. Tako bi aluminijumska industrija na tržištu materijala količinom svojih proiz- voda zadržala mjesto, a njihovom strukturom obezbijedila prednost u odno- su na sadašnje stanje. Njena konkurentnost i fleksibilnost bi time svakako porasle.

Onima koji se bave materijalima, pa i samo na osnovu prethodno rečenog, nije teško naći primjer aktuelne i moguće primjene bilo kojeg od osnovnih materijala, valorizovanih u skladu sa zahtjevima tehnološkog razvoja, u nekom

od proizvoda bilo koje bazične tehnologije. Generalno, to se pogodno može prikazati slikom 9, a konkretni razvojni programi polaze od tržišta i tehnologije konkretnih proizvoda. Ovim pristupom učinjeno je nekoliko konkretnih koraka u istraživanju i inicijalnom razvoju na tri pravca: novih materijala na bazi aluminijuma, keramike na bazi aluminijum-oksida i galijuma, što je poslužilo za elaboriranje projekcije razvoja Kombinata aluminijuma u Podgorici.



Sl.8. Četiri glavne grupe materijala sa masovnom primjenom koji se mogu kombinovati sa osnovnim materijalima industrije aluminijuma



Sl.9. Moguća veza aluminijuma, glinice i galijuma kao materijala industrije aluminijuma sa tehnologijama novih materijala i drugim bazičnim tehnologijama

Ići u susret ovako ozbiljnom zadatku kao što je razvoj aluminijumske industrije u pravcu novih materijala i procesa, sa ambicijom da se sa njima uđe u proizvode novih tehnologija i održi korak sa tehnološkim razvojem, moguće je samo ako se nastavi sa intezivnim istraživanjem i inicijalnim razvojem. Naravno, mora se dovoljno valjano odrediti koncentracija tih aktivnosti. U tom smislu predlaže se jedan broj procesa, koji predstavljaju inicijalne istraživačke, a u daljoj fazi razvojne projekte i/ili pravce proizvodnje novih materijala, (Tabela 10).

Ovako široko ponuđen koncept proizašao je iz drugog sveobuhvatnog istraživanja mogućnosti tehnološkog prestrukturiranja i razvoja, počev od modernizacija i unapređenja postojećih do sasvim novih, sa visokim tehnologijama komplementarnim materijalima i procesima. Za pretvaranje ovog pristupa u razvoj potrebno je, pored stvaranja uslova, postupiti na slijedeći način: (1) Stalno i dalje istraživati, te dopunjavati i mijenjati ovako formiran "meni" mogućnosti razvoja; (2) stalno formirati listu prioriteta i realizovati odgovarajuće programe putem istraživačkih i/ili eksperimentalno-razvojnih i/ili razvojnih aktivnosti, zavisno od karaktera programa i mogućnosti, i (3) obezbijediti odgovarajući razvoj potrebnog znanja kroz aktivno uključivanje u realizaciju projekata.

Tabela 10. Neki programi novih materijala i procesa od mogućeg interesa za razvoj industrije aluminijuma

Materijali	Procesi
Na bazi aluminijuma	
Visokočisti i superčisti Al	Kontrolisana (fikciona) kristalizacija/segregacija
Aluminijumski prahovi	Brzo očvršćavanje
Nedendritne poluočvrse smese za rheološko/thixotropsko livenje/kovanje	Kontrolisano očvršćavanje, arheološko livenje (bez ostatka) thixotropsko kovanje, livenje pod pritiskom u toplom stanju (Squeeze casting)
Kompozitni materijali - sa aluminijumskom matricom	Livenje kompozitnih materijala pod pritiskom u toplom stanju (Squeeze casting - Compo casting)
Na bazi glinice	
Super-čisti Al_2O_3 prahovi	Oksidacija super-čistog aluminijuma Termička disocijacija i hidroliza (organskih) jedinjenja aluminijuma
Standardna glinica za nemetalurske namjene	Modifikacija i razvoj na bazi Bajerovog procesa i/iz aluminatnog rastvora - dekompozicija i mlevenje
Aluminijum-nitrid, silicijum-nitrid, sialoni	Nitriranje aluminijuma, silicijuma i njihovih jedinjenja
Inženjerske keramike	Procesiranje (kompaktiranje i sinterovanje) prahova
Kermeti	Infiltracija metala
Na bazi galijuma	
Galijum	Solventna ekstrakcija i/ili cementracija
Super i ultračisti galijum	Hidrohemijska ekstrakcija, elektrohemijska rafinacija, fraksiona kristalizacija, vakuum destilacija
Galijum arsenid i druga jedinjenja; garneti	Metode i tehnike rasta (mono) kristala

REZIME I ZAKLJUČCI

Studija *Mogućnost tehnološkog prestrukturiranja i razvoja industrije aluminijuma* razrađena je na bazi cilja koji je postavljen u dva nivoa: (I) Identifikovati, razraditi i kvantifikovati glavne pravce i projekte tehnološkog prestrukturiranja i razvoja na bazi postojećih tehničko-tehnoloških cjelina i baznih materijala (boksita, glinice i aluminijuma i njegovih legura i (II) Identifikovati, razraditi i koncipirati glavne pravce i projekte za istraživanje i razvoj novih materijala i procesa u okviru aluminijumske industrije.

Ostvarenje navedenih ciljeva obrađeno je kroz tri poglavlja: (I) Pregled, analiza i ocjena postojećeg tehničko-tehnološkog nivoa industrije aluminijuma Crne Gore, (II) Mogućnosti i efekti prestrukturiranja i razvoja na bazi postojećih tehničko-tehnoloških cjelina i klasičnih materijala i (III) Mogućnosti razvoja novih materijala i procesa.

Postojeći tehnološki nivo ilustrovan je na dva načina: (A) Kroz ilustraciju proizvodnog programa u kome se lepezom procesa od boksitne mase dobija čisti bijeli prah glinice i srebrnasto-sjajni metalni aluminijum, kontinuirano među valjcima se lije traka debljine osam i širine do 1600 mm, lepezom proizvoda - od teškog otkovka sa prese od 300 MN težine blizu 100 kg, do folije debljine ispod devet mikrometara, i (B) Kroz kategorizaciju (ocjenu) tehnološkog nivoa petnaest glavnih procesa iz sastava Industrije, sa zaključkom da nijedan od njih nije ocijenjen slabije od "održiv uz neophodne modernizacije i rekonstrukcije".

Glavne modernizacije i rekonstrukcije i novi razvojni programi bi za projektovani period od 10 godina mogli podići postojeći tehnološki nivo i sadašnju količinu poluproizvoda i gotovih proizvoda povećati sa oko 30 na blizu 80 hiljada tona godišnje. Urađen je pregled potrebnih investicija, potrebnih deviznih sredstava, potrebni broj novih radnika i povećanje ukupnog prihoda po godinama i kumulativno po godinama do isteka desetogodišnjeg razvojnog perioda. Podaci potiču iz prethodno urađenih preinvesticionih studija i investicionih programa koji su svedeni krajem 1989. godine i bazirani na tržišnim mogućnostima na prostorima ranije države SFRJ i mogućnostima izvoza.

Novi materijali i procesi koji su predmet istraživanja, probne, ali i redovne proizvodnje u industriji aluminijuma u svijetu, istraživani su i analizirani kao mogućnost i šansa razvoja na bazi Industrije aluminijuma Crne Gore. U tom kontekstu elaborirana su tri pravca razvoja: (I) novi materijali na bazi aluminijuma (super-čisti i ekstremno-čisti aluminijum, kompozitni materijali sa matricom od aluminijuma i njegovih legura, i reološke i tiksotropne strukture od aluminijumskih legura, (II) konstrukciona i fina keramika na bazi aluminijum-oksida, aluminijum-nitrida i sialona i (III) (ekstremno-čisti) galijum i njegova jedinjenja. Odgovarajući procesi su takođe propisani,

kao i mogućnosti primjene gore navedenih materijala u proizvodima novih tehnologija.

Autor je svjestan da je jedan dio programa neophodan, drugi logičan i realan, a treći logičan i moguć dio razvoja Industrije aluminijuma Crne Gore. Uzimajući u obzir postojeće stanje i ograničenja za prognozu daljih uslova rada i razvoja, predloženi projekat, koji je kao bazu koristio kraj 1989. godine, treba shvatiti kao "meni", koji se mora stalno dopunjavati i mijenjati, a pogodnom prilikom podrvi izboru prioriteta razvoja.

Ozbiljan (obiman i složen) rad na očuvanju, razvoju i obezbjeđenju znanja podrazumijeva stalno *Istraživanje tehnološkog razvoja novih materijala i procesa* koji mogu biti od značaja i interesa za Industriju aluminijuma Crne Gore. Ovo "stalno istraživanje" podrazumijeva kako praćenje globalnih trendova, tako selekciju i realizaciju odgovarajućih istraživačkih, eksperimentalno-razvojnih i investiciono-razvojnih projekata.

Pošto nove tehnologije svoje ulaze i izlaze mogu ostvariti u okruženju visokog tehnološkog nivoa, to ovaj sklop aktivnosti treba ostvarivati paralelno i zajedno sa sličnim aktivnostima drugih institucija i privrednih grana u Republici i Jugoslaviji.

* * *

Nekoliko pitanja vezanih za (širi) ambijent tehnološkog prestrukturiranja i razvoja zaslužuju komentar:

(I) Postojeća oprema, procesi i kadrovi predstavljaju nesumnjiv potencijal koji i dalje može i treba da ostvaruje osnivački cilj-valorizaciju rudnih, energetskih i kadrovske resursa uz ostvarivanje profita i izvoza. Raspoloživost boksita i električne energije sasvim su izvjesni za duži period. Često pominjani manji deficit (ako postoji) električne energije nećemo valjda rješavati zatvaranjem dijela proizvodnje aluminijuma, već zatvaranjem odliva akumulacija i prestrukturiranjem i razvojem elektroprivrede Crne Gore;

(II) Uticaj Kombinata aluminijuma na životnu sredinu bio je predmet rada Državne komisije, koja je u vezi sa tim izvela određene Zaključke i Predlog mjera rješenja problema, čime će se stvoriti potrebni uslovi za dalji rad;

(III) Polazeći od sadašnjeg stanja koje karakteriše prekid proizvodnje glinice i proizvodnja aluminijuma ispod 20% projektovanih kapaciteta, a računajući na duži period otežanih uslova uvoza i nedostatak finansijskih sredstava potrebnih za dovođenje na rad punim kapacitetima, ocjenjujemo da će uz sve aktivnosti u vezi navedenog tehnološkog prestrukturiranja i razvoja biti potrebno vrednovati svaku fazu i čak aktivnost u vraćanju kapaciteta. Drugim riječima, postaviće se, ili se već sada postavlja pitanje: Da li treba i/ili

da li će i koliko Kombinat biti onakav kakav je nekada bio. Ovo pitanje, uostalom, važi za svu privredu na koju, neminovno, sankcije ostavljaju veliki trag.

L I T E R A T U R A

1. V. Marković i saradnici, *Preliminarna studija sveobuhvatnog prestrukturiranja Kombinata aluminijuma - Podgorica*, Vlada Republike Crne Gore, Podgorica 1992.
2. *Strategija tehnološkog razvoja Jugoslavije*, "Sl. list SFRJ", br. 32. 08.05.1987, str. 810-819.
3. B.Radonjić, *Strategija tehnološkog razvoja aluminijumske industrije u SR Crnoj Gori*, Institut za istraživanje i razvoj aluminijuma, Titograd 1986.
4. B.Radonjić, *Projekcija razvoja KAT-a do 2000-te godine*, Institut za istraživanje i razvoj aluminijuma, Titograd 1989.
5. *Aluminium*, Volume I, Australian Mineral Economic Ptz. LTD, Sidney 1983.
6. Dobog, *Technological alternatives in the aluminium industry*, UNIDO First Consultation on the Non-ferrous Metals Industry, Budapest, 30 nov. - 4 dec., 1987.
7. R.A.Bonewitz, *Materials technology: 2000 and beyond*, International congress on technology and technology exchange, Pittsburgh, PA.1986. Oct. 07.
8. R.A.Bonewitz, *Advanced materials, products and manufacturing processes-challenge to the materials industry* AIME Mineral economics Symposium, Vashington. D.C., 1986, Nov. 14.
9. M.P.Chowdaiah, M.Jebaraj, S.C.Sharma, *Future of casting as a forming process for aluminium*, II INCAL, The Aluminium Association of India, Bangalore, 2 (1991) 541-543.
10. J.Perry, *Ceramics as everyday engineering components*. Cermics Industries Journal, Dec. 1985. pp. 21-23.
11. I.R.Grant, *Gallium arsenide form mine to microcircuit*, Proceedings of the twelfth anual commodity meeting of the institution of mining and metallurgy. London, Dec. 3.1987, pp.48-52.

