UNIVERZA V NOVI GORICI
POSLOVNO-TEHNIŠKA FAKULTETA

VPLIV SESTAVE ALUMINIJEVIH ZLITIN 5754, 5083 IN 6082 NA NJIHOVO CENO IN MEHANSKE LASTNOSTI

DIPLOMSKO DELO

Marko Paškulin

Mentor: Prof. Dr. Božidar Šarler

Nova Gorica, 2012

NASLOV

Vpliv sestave aluminijevih zlitin 5754, 5083 in 6082 na njihovo ceno in mehanske lastnosti

IZVLEČEK

V diplomskem delu smo analizirali možnosti, kako znižati stroške nabave aluminijevih zlitin, ki se največ uporabljajo pri izdelavi strojev podjetja Gopack. V ta namen, smo kot primer obravnavali tri aluminijeve zlitine 5754, 5083 in 6082. Analizirali smo tri glavne faktorje: kvaliteto, uporabnost in ceno posamezne zlitine, po katerih smo se odločali za najprimernejšo. Za določitev kvalitete in uporabnosti posamezne zlitine, smo analizirali vpliv deleža posameznih legirnih elementov v zlitini. S pomočjo programa, ki smo ga sami razvili, smo analizirali, kako vplivata cena in delež posameznega elementa na skupno ceno zlitine. Ugotovili smo, da na ceno zlitine največji vpliva cena aluminija, medtem ko na lastnosti zlitine vplivata delež in vrsta legirnih elementov. V primeru analiziranih zlitin je to delež magnezija, ki nastopa kot glavni legirni element. Da bi predvideli gibanje cen aluminija v prihodnosti, smo analizirali glavne dejavnike, ki vplivajo na ceno, za obdobje med leti 2006 in 2011. Analiza je pokazala, da so se nabavne cene zlitine pred gospodarsko krizo gibale glede na povpraševanje in ponudbo, po tem obdobju pa so primerljive borzni ceni aluminija. V diplomskem delu smo primerjali fizikalne lastnosti treh aluminijevih zlitin in na podlagi programa JMatPro analizirali, koliko vpliva delež legirnih elementov na lastnosti zlitine. Ugotovili smo, da so največje razlike pri gostoti in toplotni prevodnosti posamezne skupine zlitin. Magnezij najbolj vpliva na ti dve lastnosti posamezne zlitine.

KLJUČNE BESEDE

primarni aluminij, sekundarni aluminij, aluminijeve zlitine, gibanje cene aluminija, borzna cena aluminija, JMatPro, fizikalne lastnosti aluminijevih zlitin

TITLE

Effect of the aluminium alloys composition 5754, 5083 and 6082 on their price and mechanical properties

ABSTRACT

We have analysed the possibilities of lowering the purchase prices of aluminium alloys, which are mostly used in making of machines of company Gopack in the present bachelor thesis. For this purpose we have, as an example, compared three aluminium alloys, namely 5754, 5083 and 6082. Three major factors: quality, applicability and the price of an individual alloy have been analysed. To determine the quality and applicability of alloys, we have analysed the influence of ratio of individual alloying elements in the composition. We studied the influence of price and share of individual element on the final alloy price with the help of a program, that we developed ourselves. We have determined that the price of an alloy is mostly influenced by the price of aluminium, while the characteristics mostly dependent on the share and type of alloying element. In our case of analysed alloys this is the share of magnesium, which is present as main alloying element. To predict the future price volatility of aluminium, we have analysed main factors which have influenced the price in the period from 2006 to 2011. The analysis shows that the purchasing price of alloys before the economic crisis changed in accordance with demand and supply, and after this period the main indicator of the price was comparable price of aluminium on the exchange market. In the present study we have compared physical properties of three aluminium alloys and have determined, based on the JMatPro code, how much influence an alloy element has on the individual alloy properties. We have determined that there are the biggest differences in the density and heat conductivity of individual alloys. Magnesium is the element, that mostly influences these properties.

KEY WORDS

primary aluminium, secondary aluminium, aluminium alloys, aluminium price fluctuation, aluminium market, JMatPro, physical property of aluminium alloys

KAZALO

1 UVOD 1

1.1 Namen naloge 1

1.2 Predstavitev podjetja Gopack 2

2 ALUMINIJ 5

2.1 Pridobivanje aluminija 7

2.2 Proizvodnja glinice 7

3 PRIMARNI ALUMINIJ 9

3.1 Pridobivanje primarnega aluminija z elektrolizo glinice 9

4 SEKUNDARNI ALUMINIJ 10

4.1 Pridobivanje sekundarnega aluminija 10

4.1.1 Predelava aluminijastih odpadkov 10

4.1.2 Toplotna predelava 11

5 ALUMINIJEVE ZLITINE 14

5.1 Delitev aluminijevih zlitin 14

6 PRIMERJAVA ALUMINIJEVIH ZLITIN 21

6.1 5754 Aluminijeva zlitina (Al-Mg3) 21

6.2 5083 Aluminijeva zlitina (Al-Mg4,5Mn) 23

6.3 6082 Aluminijeva zlitina (Al Si1MgMn) 25

7 PRIMERJAVA GIBANJA CEN PRIMARNEGA ALUMINIJA NA LME IN NABAVNIH CEN AL. ZLITINE ZA PODJETJE GOPACK 27

7.1 Londonska borza kovin 27

7.2 Glavni dejavniki, ki vplivajo na ceno 27

8 VPLIV LEGIRNIH ELEMENTOV NA CENO ALUMINIJA 33

8.1 Cena aluminijeve zlitine 5754 34

8.2 Cena aluminijeve zlitine 5083 37

8.3 Cena aluminijeve zlitine 6084 39

8.4 Primerjava cen zlitin 41

9 PRIMERJAVA MEHANSKIH IN FIZIKALNIH LASTNOSTI ALUMINIJEVIH ZLITIN 5754, 5083 IN 6082, IZRAČUNANIH S PROGRAMOM JMATPRO 44

9.1 Program JMatPro 44

9.2 Računanje lastnosti aluminijevih zlitin s programom JMatPro 46

9.3 Primerjava fizikalnih lastnosti aluminijevih zlitin 5754, 5083 in 6082 47

9.3.1 Primerjava gostote 47

9.3.2 Primerjava toplotne prevodnosti 50

9.3.3 Primerjava linearnega temperaturnega raztezka 52

9.3.4 Primerjava modula elastičnosti 53

9.3.5 Primerjava strižnega modula 56

10 ZAKLJUČEK 59

11 LITERATURA 61

KAZALO SLIK

Slika 1: Pakirni stroj MULTITUBE 3

Slika 2: Vertikalni pakirni stroj UPA RAPID in UPA RAPID MAX 4

Slika 3: Izdelki, ki se pakirajo s stroji 4

Slika 4: Delež aluminija po posameznih panogah v Evropi 6

Slika 5: Primerjava porabe energije pri proizvodnji primarnega aluminija in pri recikliranju aluminija 6

Slika 6: Bayerjev proces 8

Slika 7: Elektrolizna peč 9

Slika 8: Aluminijev življenjski cikel 13

Slika 9: Shematski prikaz toplotnega utrjevanja zlitine 19

Slika 10: Svetovno povpraševanje (milijon ton) in cena aluminija na LME borzi ($/tono) 28

Slika 11: Zaloge in cena Al na LME borzi 29

Slika 12: Proizvodnja Al po posameznih kontinentih in stanje zalog na LME borzi 29

Slika 13: Primerjava gibanja cen aluminija in nafte 30

Slika 14: Primerjava gibanja cen Al in vrednost dolarja proti evru 30

Slika 15: Primerjava cene aluminija v dolarjih in evrih 31

Slika 16: Primerjava cen Al za Gopack in borzne cene Al 32

Slika 17: Gibanje cen kovin na borzi 33

Slika 18: Prikaz razlike v ceni zlitine 5754, glede na delež magnezija v zlitini in gibanje cene magnezija in aluminija 35

Slika 19: Gibanje cen glavnih legirnih elementov zlitine 5754 in cene kovin..... 36

Slika 20: Razlike v ceni zlitine 5083, glede delež kovin in gibanje cen kovin..... 38

Slika 21: Gibanje cen glavnih legirnih elementov zlitine 5083 in cene kovin..... 38

Slika 22: Razlike v ceni zlitine 6082, glede delež kovin in gibanje cen kovin..... 40

Slika 23: Gibanje cen glavnih legirnih elementov zlitine 6082 in cene kovin..... 40

Slika 24: Prikaz gibanja prihrankov za posamezno aluminijevo zlitino 41

Slika 25: Prikaz gibanja prihrankov za posamezne zlitine v odstotkih..... 42

Slika 26: Primerjava cen aluminija in aluminijevih zlitin..... 42

Slika 27: Okno za vnašanje in računanje lastnosti aluminijevih zlitin..... 46

Slika 28: Primerjava gostote Al zlitin 5754, 5083 in 6082 47

Slika 29: Razlika gostote Al zlitine 5083 glede na delež elementov v zlitini..... 48

Slika 30: Razlika gostote Al zlitine 5754 glede na delež elementov v zlitini..... 49

Slika 31: Razlika gostote Al zlitine 6082 glede na delež elementov v zlitini..... 49

Slika 32: Primerjava toplotne prevodnosti Al zlitin 5754, 5083 in 6082..... 50

Slika 33: Razlika toplotne prevodnosti glede na delež primesi za Al zlitino 5754.... 51

Slika 34: Razlika toplotne prevodnosti glede na delež primesi za Al zlitino 5083.... 51

Slika 35: Primerjava linearnega raztezka Al zlitin 5754, 5083 in 6082..... 52

Slika 36: Določanje elastične deformacije 53

Slika 37: Primerjava elastičnega modula Al zlitin 5754, 5083 in 6082..... 53

Slika 38: Razlika v elastičnem modulu glede na delež primesi za Al zlitino 5754 ... 54

Slika 39: Razlika v elastičnem modulu glede na delež primesi za Al zlitino 5083 ... 55

Slika 40: Razlika v elastičnem modulu glede na delež primesi za Al zlitino 6082 ... 55

Slika 41: Določanje strižne deformacije 56

Slika 42: Primerjava strižnega modula Al zlitin 5754, 5083 in 6082 56

Slika 43: Razlika v strižnem modulu glede na delež primesi za Al zlitino 5083..... 57

Slika 44: Razlika v strižnem modulu glede na delež primesi za Al zlitino 6082..... 57

Slika 45: Poissonovo število za zlitino 6802..... 58

KAZALO TABEL

Tabela 1: Lastnosti aluminija 5

Tabela 2: Legirni elementi in njihov vpliv na zlitine 14

Tabela 3: Oznake aluminijevih zlitin 15

Tabela 4: Prikaz tehničnih in mehanskih lastnosti posameznih zlitin 17

Tabela 5: Označevanje toplotno neobdelovalnih al. zlitin 18

Tabela 6: Označevanje toplotno obdelovalnih aluminijevih zlitin 20

Tabela 7: Kemična sestava zlitine 5754 21

Tabela 8: Mehanske lastnosti zlitine 5754 22

Tabela 9: Fizikalne lastnosti zlitine 5754 22

Tabela 10: Kemična sestava zlitine 5083 23

Tabela 11: Mehanske lastnosti zlitine 5083 24

Tabela 12: Fizikalne lastnosti zlitine 5083 24

Tabela 13: Kemična sestava zlitine 6082 25

Tabela 14: Mehanske lastnosti zlitine 6082 26

Tabela 15: Fizikalne lastnosti zlitine 6082 26

Tabela 16: Primer izračuna cene zlitine 5754 34

Tabela 17: Primer izračuna cene zlitine 5083 37

Tabela 18: Primer izračuna cene zlitine 6084 39

Tabela 19: Seznam faz, elementov in možnosti izračunov snovnih lastnosti s programom JMatPro 45

Tabela 20: Gostote elementov aluminijevih zlitin 47

1 UVOD

Podjetje Gopack proizvaja pakirne stroje zadnjih 20 let. Stanje na trgu se je v vseh teh letih poslovanja seveda spremenilo. Vedno več je konkurenčnih podjetij, zato morajo biti vedno boljši in predvsem konkurenčnejši od ostalih. Načinov, kako to doseči, je veliko. Eden izmed načinov je seveda nižanje stroškov. Pri tem morajo biti pozorni, da nižanje stroškov ne vpliva na končno vrednost izdelka, saj bi lahko to privedlo do ravno nasprotnega učinka, to je izguba pomembnih kupcev. Le to pa si kot uveljavljeno podjetje ne smejo privoščiti.

Stroškov, ki jih lahko posamezno podjetje optimizira, oziroma zniža, je v podjetju veliko, saj se stanje na trgu neprestano spreminja in to vodi v vedno nove okoliščine. Naloga vsakega dobrega managerja in zaposlenega je, da skuša le te zaznati in optimizirati. V tej nalogi smo se osredotočili na ugotavljanje možnosti optimizacije stroškov nabave aluminijevih zlitin, kot ključnega elementa za izdelavo pakirnih strojev v podjetju.

Za dosego tega cilja je potrebna temeljita analiza domačega in svetovnega trga, analiziranje in zbiranje ponudb možnih dobaviteljev, analiziranje in testiranje kakovosti ponudbe, ter prilagajanje našim zahtevam, z namenom zagotoviti čim boljšo kakovost, po nižjih cenah.

1.1 Namen naloge

Približno 70 % pakirnega stroja, izdelanega v podjetju Gopack, sestavljajo elementi iz plošč in palic iz aluminijevih zlitin. Pri nabavi materiala so trije glavni faktorji cena, kvaliteta in uporabnost. Prav na podlagi teh treh faktorjev smo se odločili, da izdelamo primerjavo dveh skupin aluminijevih zlitin, katere se največ uporabljajo v podjetju Gopack. Gre za zlitine skupine 5000 in 6000.

Da bi bolje spoznali glavni element zlitin, aluminij, smo v začetku naloge najprej predstavili njegove glavne lastnosti in kako se aluminij pridobiva. Predstavili smo postopek za pridobivanje aluminijevega oksida, ter tehnologijo proizvodnje (elektrolizo) primarnega aluminija. Sekundarni aluminij pridobivamo z reciklažo odpadnega aluminija. Analizirali bomo prednosti in slabosti sekundarnega aluminija.

Čisti aluminij je zelo mehka kovina, zato se jo tudi malo uporablja. V splošni rabi so značilne aluminijeve zlitine. Glede na vrsto in količino dodanih primesi v zlitini jih ločimo v več skupin. V nalogi so predstavljene gnetne aluminijeve zlitine po skupinah in njihova uporabnost. Od vrste primesi je odvisna tudi nadaljnja obdelava s katero izboljšujemo tehnične in mehanske lastnosti zlitin. Vsi ti dejavniki so pomembni za proizvodnjo strojev. Vplivajo tudi pri nadaljnji zaščiti aluminija, saj so elementi, ki sestavljajo njihove stroje večinoma eloksirani ali durox zaščiteni.

Po uvodnem delu bomo analizirali, kako vsi ti dejavniki vplivajo na ceno. Spoznati želimo kateri so glavni dejavniki, ki vplivajo na ceno aluminija in kateri so glavni dejavniki, ki vplivajo na ceno aluminijeve zlitine za podjetje Gopack. S pomočjo enostavnega programa izdelanega v Excel tabeli smo ugotavljali kako odstotek in cena posamezne primesi vplivata na ceno končne zlitine. S pomočjo programa JMatPro, ki računa mehanske lastnosti zlitin, pa ugotovimo kako delež primesi vpliva na lastnosti zlitine in ne nazadnje, kaj še vpliva na končno ceno aluminijeve zlitine. Vse z namenom, da bi ugotovili kdaj uporabljati določene zlitine, z namenom čim bolj znižati stroške nabave.

1.2 Predstavitev podjetja Gopack

Podjetje Gopack je bilo ustanovljeno leta 1989 kot družba z omejeno odgovornostjo in spada med majhna podjetja s 25 zaposlenimi. Dejavnost, s katero se podjetje ukvarja, je proizvodnja pakirnih strojev.

Danes, po 20. letih, izkušenj ima podjetje nameščenih po vsem svetu že več kot 400 strojev. Svojim strankam lahko ponudijo zelo široko paleto embalaže, strojev in popolnoma avtomatske pakirne linije, s standardnimi in prilagojenimi rešitvami za pakiranje različnih izdelkov (prašnatih izdelkov, zrnatih izdelkov, tekočin, gelov, posameznih kosov...) v različnih sektorjih industrije, kot so: prehrana, farmacija, kozmetika, kemikalije, itd.

Poleg standardnih strojev – možnost avtomatskega pakiranja mas od 1 g do 50 kg – se strankam prilagajajo po njihovih specifičnih zahtevah pri pakiranju. Stroje izdelujejo v glavnem po naročilu kupcev. Projekt za vsak posamezni stroj nastaja v lastnem konstrukcijskem biroju.

Njihova proizvodnja obsega vertikalne in horizontalne pakirne stroje, kateri oblikujejo, polnijo in zavarijo vrečke različnih oblik, z uporabo različnih dozirnih sistemov:

Vertikalni pakirni stroj MULTI-TUBE – pravi uspeh Gopack-a je bil v letu 1999 razvoj prav teh strojev, kateri formirajo male cevaste vrečke t.i. »stick-pack« in kateri še danes predstavljajo glavni prodajni proizvod podjetja. Uporabljajo se za pakiranje sipkih in tekočih proizvodov (granulati in tekočine) v vrečke. Vrečke se formirajo iz različnih termovarljivih folij in so zavarjene z dvema prečnima in enim vzdolžnim varom.

Slika 1: Pakirni stroj MULTITUBE (gradivo podjetja Gopack)

Vertikalni pakirni stroji UPA RAPID – izdelan za pakiranje v klasične "blazinaste" vrečke. Odvisno od izdelka ki ga želi stranka pakirati so opremljeni z različnimi kombinacijami doziranja: multihead, polžni, volumetrični, linearne tehtnice, rotirajoči volumetrični dozatorji ter kombinirani dozatorji za tekočine in sipke snovi.

Pakirni stroji UPA – uporabljajo se za formiranje in polnjenje vrečk s štirimi vari. Zadovoljujejo vse potrebe trga za pakiranje od 1 g do 200 g. Njihova prednost je spremenljiva širina in dolžina vrečke.

Izdelujejo tudi različne dozirne stroje v kombinaciji z volumetrično tehtalnim polnjenjem, stroje za pakiranje v termoskrčljivo folijo, ki so lahko opremljeni s ″pick and place″, grupirnimi, dvižnimi ali razdeljevalnimi enotami, katere omogočajo želeno avtomatizacijo ter avtomatske linije.

Slika 2: Vertikalni pakirni stroj UPA RAPID in UPA RAPID MAX (gradivo podjetja Gopack)

V prihodnosti je strategija podjetja povečevanje tržnega deleža predvsem na tujih trgih, ter prilagajanje specifičnim zahtevam trga z razvojem ekoloških pakirnih linij, oziroma s poglobljenim sodelovanjem s poslovnimi partnerji. (Gopack, 2011)

Slika 3: Izdelki, ki se pakirajo s stroji (gradivo podjetja Gopack)

2 ALUMINIJ

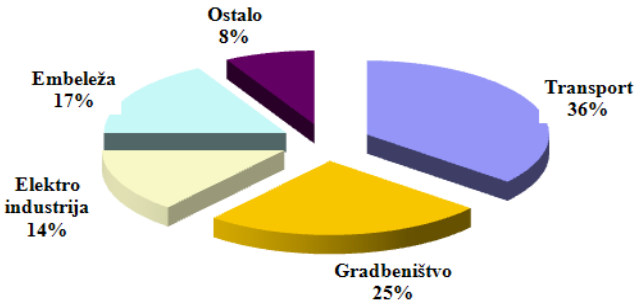
Aluminij je tretji najpogostejši element v zemeljski skorji in hkrati najpogostejša kovina, ki pa se nikoli ne nahaja v elementarni obliki. V naravi se nahaja v obliki oksida, kot bistveni sestavni del mnogih hribin, ki sestavljajo zemeljsko skorjo. Je mehka in lahka kovina, ki v prisotnosti kisika hitro oksidira in ustvari tanko oksidno plast, sivega videza. Zaradi te lastnosti je korozijsko odporen, kar mu daje veliko uporabnost, k temu pripomorejo še nizka gostota, posledično majhna teža, dobra oblikovalnost, toplotna in električna prevodnost. Nekaj lastnosti čistega aluminija je predstavljenih v spodnji tabeli.

Tabela 1: Lastnosti aluminija (Wikipedia, 2011)

Element	**Aluminij – Al**
vrstno število	13
kemijska vrsta	kovina
skupina, perioda, blok	13 (IIIA), 3, p
atomska masa	26,982 g/mol
gostota	2700 kg/m^3
trdota brinell (HB)	2,75
tališče	660 °C
vrelišče	2467 °C
natezna trdnost	55–91 MPa
elastična trdnost	66,6 GPa

Ena od glavnih značilnosti aluminija je vsestranska uporabnost. Kovino in njene zlitine najdemo v različnih panogah:

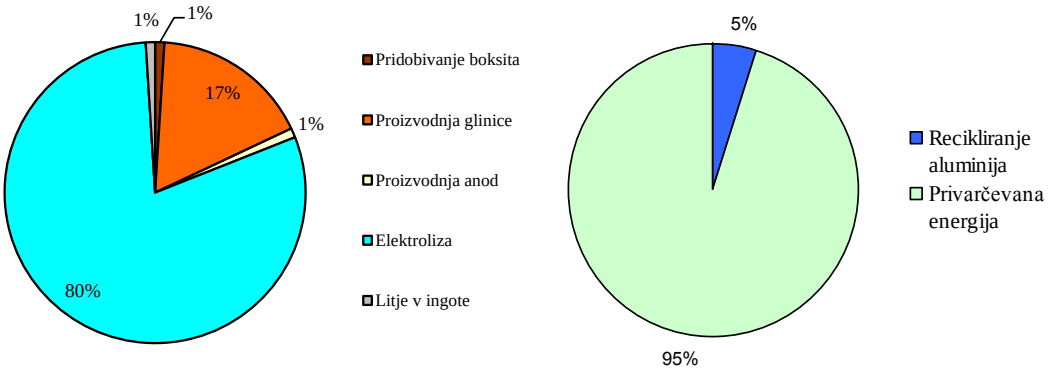
- transportu (avtomobilska, letalska in železniška ind., ladjedelništvo),
- gradbeništvu (gradbene konstrukcije, okna, vrata, kritine),
- elektroindustriji (električni vodi, izmenjevalniki toplote, kondenzatorji),
- embalaži (pločevinke, aluminijaste folije, embalaže),
- strojništvu (strojegradnja, orodja).



Slika 4: Delež aluminija po posameznih panogah v Evropi (OEA, 2011)

Največjo slabost aluminija predstavljajo visoki stroški proizvodnje primarnega aluminija, zato aluminij imenujejo kar banka energije. Veliko energije se porabi za elektrolizo, del za proizvodnjo glinice, manjši delež pa za pridobivanje boksita, proizvodnjo anod in litje v ingote (slika 5). Predvsem gre tu za električno energijo. Kako velik je ta delež, pa zelo nazorno potrjuje podatek ELES-a o prevzemu energije iz prenosnega omrežja neposrednih odjemalcev v Sloveniji. Leta 2008 je bil največji neposredni odjemalcev električne energije s kar 60 % deležem prav Talum Kidričevo. (ELES, 2009)

Ravno zaradi tega se v svetu vedno bolj poudarja vrednost recikliranja aluminija, saj za proizvodnjo sekundarnega aluminija porabimo le dvajsetino energije, ki jo porabimo za pridobivanje primarnega aluminija (slika 5). Tu pa pride do izraza še ena velika prednost aluminija: kljub večkratnem pretaljenju se mehanske lastnosti kovine ne spremenijo. Odvisno od čistoče recikliranega aluminija, se poveča delež različnih primesi, kar pa ni vedno sprejemljivo.



Slika 5: Primerjava porabe energije pri proizvodnji primarnega aluminija in pri recikliranju aluminija

2.1 Pridobivanje aluminija

Najpomembnejša ruda za pridobivanje aluminija je boksit, ki vsebuje 50–60 % aluminijevega oksida, do 20 % železovega oksida, od 1–10 % silicija, ter manjše količine titana, vanadija, mangana, cinka in še nekaterih drugih kovin, poleg tega pa vsebuje boksit še 20–30 % vode. Iz boksitove rude ne pridobivamo neposredno aluminij, ampak je potrebno najprej izločiti aluminijev oksid (glinico), šele nato pa s pomočjo termične elektrolize pridobimo primarni aluminij.

2.2 Proizvodnja glinice

Vse od leta 1821, ko je N. Pierre Berhiere odkril pri Arlesu v južnofrancoski vasi Les Baux aluminijevo rudo – boksit – lahko zasledujemo razvojno pot tehnologije predelave boksita. Najbolj uporabljan postopek za ločevanje aluminijevega oksida od ostalih primesi v boksitu se imenuje Bayerjev proces. Za pridobitev ene tone aluminijevega oksida potrebujemo približno dve toni boksita.

Bayerjev proces je sestavljen iz petih korakov.

Mešanje – zdrobljen in zmlet boksit najprej osušijo, nato ponovno zmeljejo in ga v mešalnikih zmešajo z NaOH, ter ga prečrpajo v ogromne posode imenovane fermentorji (digestorji).

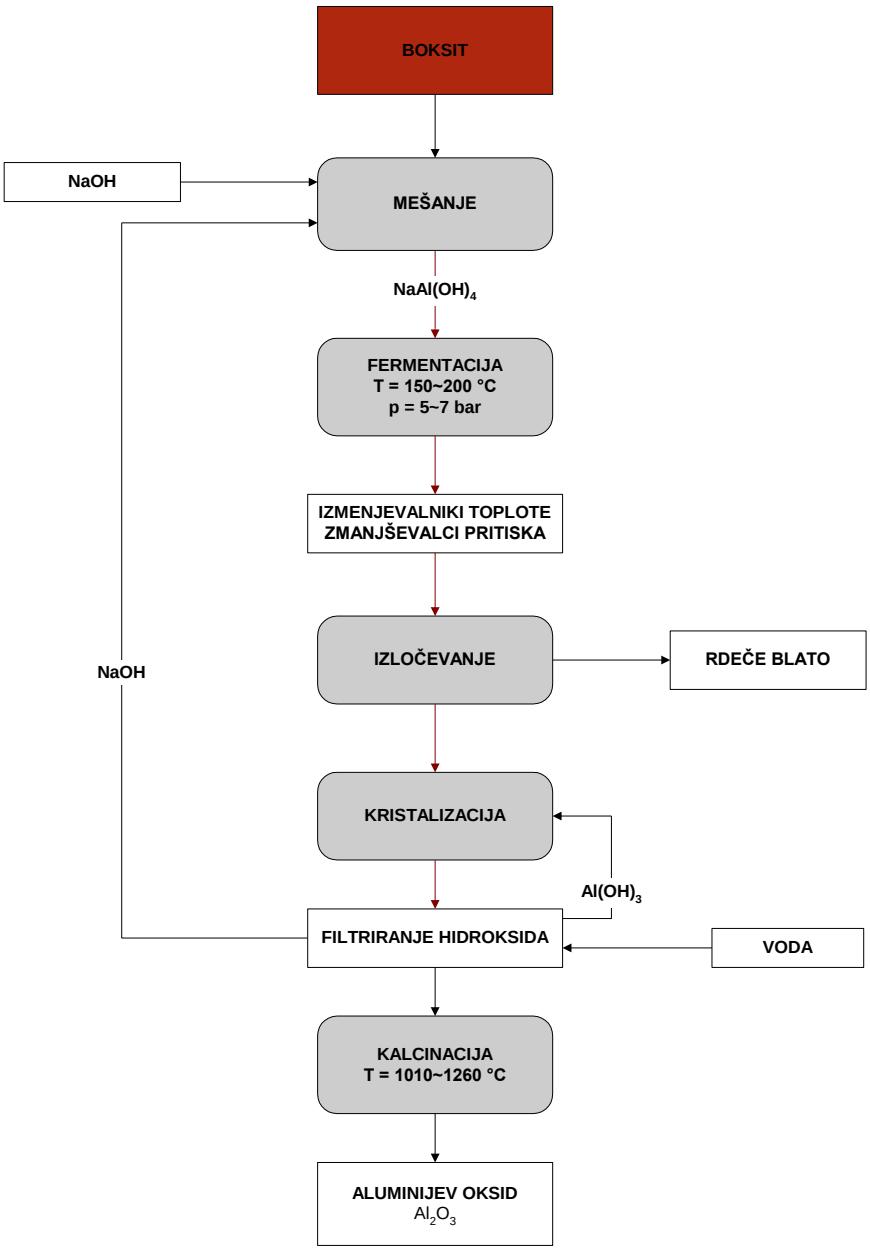
Fermentacija – razkroj – v fermentorjih pod visokim tlakom (5-7 bar) in temperaturi (150–200 °C) natrijev hidroksid raztaplja aluminijev oksid iz boksita ter pri tem nastane raztopina natrijevega aluminata. Raztopino prečrpajo skozi izmenjevalnike toplote in zmanjševalce pritiska (ekspanderje), kjer zmanjšajo temperaturo in tlak v dekompenzatorjih.

Izločevanje – v velikih bazenih (dekompenzatorjih) se ostanki neraztopljenega boksita, železovi oksidi in druge trdne nečistoče, posedejo na dno posode in jih odstranijo, tako imenovano rdeče blato, medtem ko ostalo tekočino prečrpajo skozi filtre, kjer se ujamejo še druge neželene nečistoče. Sledi naslednji korak.

Kristalizacija – prečiščeni natrijev aluminat črpajo v rezervoarje, kjer z vrha dodajajo fino granulirani aluminijev hidroksid, ki deluje kot jedro pri procesu

padanja. Kristali aluminijevega hidroksida medtem rastejo in se spajajo. Večji delci se sesedejo na dno rezervoarja in jih nato prenesejo v naslednji proces, medtem ko se manjši delci filtrirajo iz ostale tekočine in se nato uporabijo kot jedra pri procesu padanja.

Praženje – aluminijev hidrat operejo z vodo, pri čemer nastane razredčen natrijev hidroksid, ki ga koncentrirajo in vračajo v proces, posušeni hidrat, pa v rotacijskih pečeh pražijo pri temperaturi 1010–1260 °C, s tem se izločajo molekule vode in tako dobimo aluminijev oksid Al_2O_3. (Schmitz, 2006)

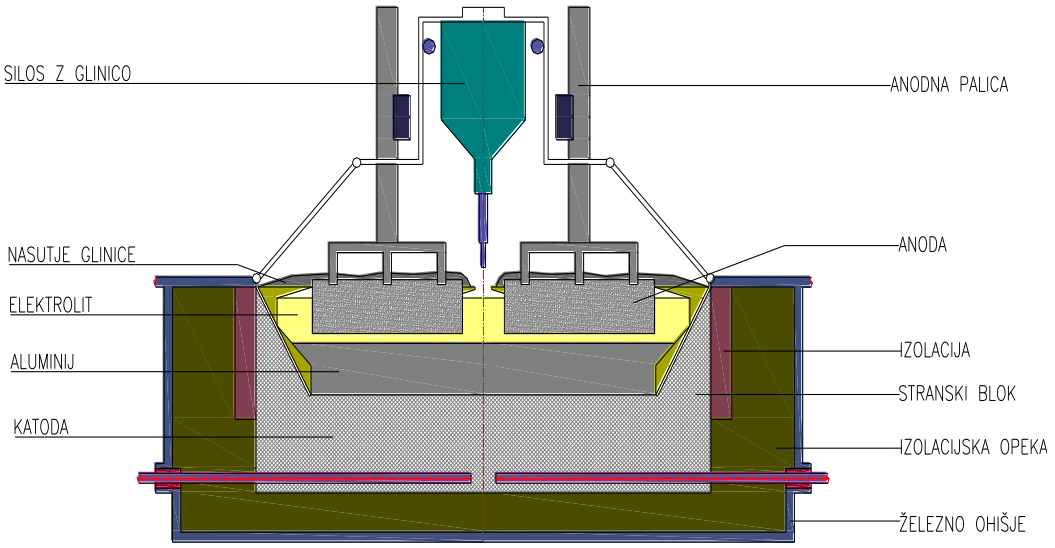


Slika 6: Bayerjev proces

3 PRIMARNI ALUMINIJ

3.1 Pridobivanje primarnega aluminija z elektrolizo glinice

Primarni aluminij pridobivajo z elektrolizo glinice. To je kemijski proces, kjer se glinica (Al_2O_3) loči na svoje osnovne komponente aluminij in kisik. Proces poteka v posebnih elektrolitskih pečeh zgrajenih iz kovinske posode, obdane najprej z ognje odporno opeko nato pa še z oglenimi katodnimi bloki, ki s pomočjo jeklenih katodnih odvodnikov predstavljajo katodo. V notranjosti peči se nahaja raztaljen kriolit ($3NaF\ AlF_3$) v katero z vrha posode sega ogljena masa, ki služi kot anoda. Glinico nasujejo z vrha tako, da se raztaplja v kriolitu, kjer pri temperaturi med 960 do 980 °C poteka proces redukcije, pri katerem se sproščeni kisik veže z ogljikom anode in zgoreva v CO in CO_2, medtem ko se aluminij zbira na dnu posode in v nadaljnjem procesu služi kot katoda. Aluminij črpamo z dna peči s pomočjo vakuumskega lonca. Primer peči za pridobivanje primarnega aluminija je predstavljen v sliki 7. (Schmitz, 2006)



Slika 7: Elektrolizna peč

4 SEKUNDARNI ALUMINIJ

4.1 Pridobivanje sekundarnega aluminija

Kot smo že opisali, je velika prednost aluminija in aluminijevih zlitin možnost njihove večkratne uporabe, ne da bi se pri tem bistveno spremenile lastnosti. Kar 75 % proizvedenega aluminija na svetu je danes še vedno v uporabi. Največja prednost sekundarnega aluminija je v porabi električne energije, saj se v primerjavi s primarnim aluminijem porabi le 5 % energije in pri tem nastane bistveno manj emisij izpušnih plinov predvsem CO_2.

Proizvodnja sekundarnega aluminija temelji na reciklaži tako imenovanih novih in starih aluminijevih odpadkov. Med nove odpadke štejemo vse tiste, ki nastanejo pri predelavi primarnega aluminija v polizdelke ali končne izdelke, pri postopkih taljenja ali gnetenja, kot so ostanki kovanja plošč, ostanki odlitkov ter žlindra, ki nastane pri pretaljevanju aluminija. Ti ostanki imajo večinoma že definirano kemijsko sestavo, zato jih lahko pošljejo neposredno v ponovno taljenje.

Drugo skupino predstavljajo stari aluminijevi odpadki, katere zbiramo po koncu njihove uporabnosti. Med te spadajo izrabljeni aluminijasti proizvodi, pločevinke iz aluminija, aluminijasti ostružki, kabli in žice, aluminijasta embalaža,… Ti odpadki zahtevajo dodatno obdelavo. (Schmitz, 2006)

4.1.1 Predelava aluminijastih odpadkov

Preden se aluminijaste odpadke stali, jih je treba najprej ločiti in odstraniti vse nečistoče. Odpadke se ločuje ročno, mehansko in termično. Odvisno od čistoče odpadkov uporabijo različne postopke ločevanja.

Tiste odpadke, katere ne morejo ločiti ročno, najprej zdrobijo v manjše kose, nato pa jih pošljejo na transportne trakove, kjer s pomočjo prečnih magnetnih trakov ločijo železne dele. Večji problem predstavlja ločitev nerjavnih jekel, ker so nemagnetna. Z vibracijami na transportnem traku v nadaljevanju procesa dosežejo, da se nemagnetne kovine (nerjavno jeklo) rahlo namagnetijo in jih tako s pomočjo močnih magnetov ločijo. Za ločevanje aluminija od nekovinskih delov uporabljajo princip

vrtinčastih tokov. V počasnejšem pogonskem valju transportnega traku se nahaja hitro vrteči magnetni rotor, kar povzroči, da se v kovinskih delcih, ki potujejo po traku prek valja inducira električni tok, ki spodbudi sekundarno magnetno polje okoli delca. To polje reagira z magnetnim poljem gnanega valja, ko ga delec doseže, ter ga izvrže, medtem ko ostali delci prosto padajo na koncu traku.

Ko je železo težje ločiti od aluminija, to počnejo termično v posebnih pečeh. Za ločevanje neželeznih kovin od aluminija izkoriščajo različne gostote kovin, tako da aluminij zaradi majhne gostote plava na površju, medtem ko se ostale kovine nahajajo na dnu taline. Aluminij, ki se uporablja za embalažo, ločujemo s pomočjo pirolize,…

Preden odpadke aluminijevih zliti nalagajo v peč, jih kolikor je mogoče ločijo po skupinah, da zagotovijo čim bolj natančno sestavo končne zlitine in s tem zmanjšajo potrebo po popravkih po taljenju. (Schmitz, 2006)

4.1.2 Toplotna predelava

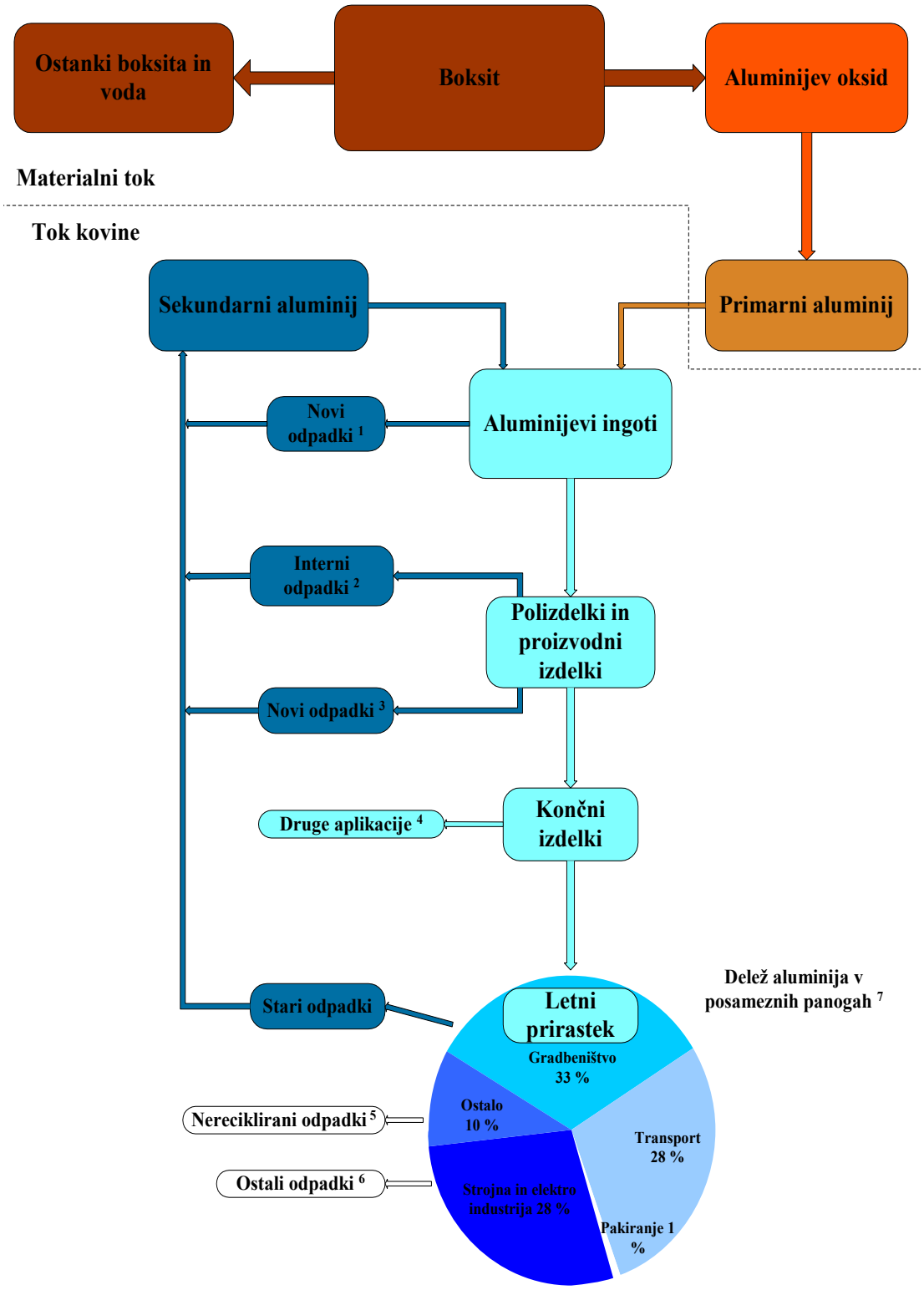
Sledijo trije procesi za ponovno pridobitev kakovostne aluminijeve zlitine: taljenje, rafinacija in litje.

Predhodno ustrezno pripravljeni aluminijeve odpadke najprej talijo v ustreznih pečeh, ki jih izberejo glede na želeno kvaliteto zlitine, kakovost in sestavo odpadnega aluminija. Drugi dejavniki, ki še vplivajo na izbiro peči so vsebnost oksida, vrsta in vsebnost drugih materialov (npr. organske snovi), geometrija ostankov in poslovni pogoji. Poznamo žarilne, talilne, stolpne, rotacijske, indukcijske in druge peči.

Najpogosteje v Evropi za taljenje sekundarnega aluminija uporabljajo rotacijske peči, kjer se aluminij tali pod plastjo soli (30 % KCl in 70 % NaCl), katera preprečuje oksidacijo kovine in povečuje prenos toplote na kovino. Prednost teh peči je možnost obdelave žlindre in nizko kvalitetnih aluminijastih odpadkov (npr. ostružkov), slabost pa, da postopek zahteva veliko energije, nizka učinkovitost, potreba po proizvodnji soli in ostanek "slanega kolača", ki zahteva dodatno recikliranje soli in aluminija, ter predelavo ostankov v okolju neškodljive izdelke.

Kapljeviti aluminij prečrpajo v dozirne peči, kjer sledi postopek rafinacije. Da zagotovijo ustrezno kemijsko sestavo zlitine, iz nje najprej prečistijo neželene primesi (kalcij, magnezij) s pomočjo dodatkov (argon, dušik, mehurčki klora) in uporabo filtrov, ter dodajajo ustrezne elemente za dosego želene strukture zlitine.

Tako pripravljeno zlitino nato lijejo v ingote, ali pa jo direktno transportirajo v livarne kot staljeno kovino, kjer jo nato takoj ulivajo v ulitke. (Schmitz, 2006)



1 Aluminij v žlindri; 2 Odpadki proizvedeni pri vlivanju, valjanju in iztiskovanju aluminija; 3 Ostananki pri proizvodnji koncnih izdelkov iz polizdelkov; 4 Prah, paste in deoksidacijski aluminij, recikliranje ni mogoče zaradi izgube kovinskih lastnosti; 5 Odpadki, ki pristanejo na odlagališčih izgubljeni med ostalimi odpadki; 6 Odpadki, za katere se še ni dolocena koncna destinacija (ponovna uporaba, recikliranje ali odlagališca); 7 Podatek velja za aluminij v uporabi od leta 1888 do 2009

Slika 8: Aluminijev življenjski cikel (OEA, 2011)

5 ALUMINIJEVE ZLITINE

Za uporabo je čist aluminij zelo mehek, zato z legiranjem dobimo aluminijeve zlitine, katere imajo večjo trdnost in s tem uporabnost. Posamezni elementi zlitin ali kombinacija elementov različno vplivajo na lastnosti zlitin. V spodnji tabeli je prikazano kako posamezni elementi vplivajo na spremembo zlitine.

Tabela 2: Legirni elementi in njihov vpliv na zlitine

MANGAN	poveča žilavost
MAGNEZIJ	poveča korozijsko odpornost, varljivost in trdnost
MAGNEZIJ + SILICIJ	poveča trdnost, preoblikovalne lastnosti in korozijsko odpornost
SILICIJ	znižuje tališče, povečuje odpornost proti obrabi, nekoliko zmanjša korozijsko odpornost, zmanjša viskoznost
BAKER	poveča trdnost in obdelovalnost zlitine, zmanjša odpornost proti koroziji in varljivost
CINK	močno poveča mehansko in natezno trdnost (še posebej v kombinaciji z drugimi elementi) močno zmanjša korozijsko odpornost
SVINEC	poveča preoblikovalnost

5.1 Delitev aluminijevih zlitin

Aluminijeve zlitine se delijo na dve glavni skupini glede na namen uporabe in sicer na tiste, ki jih uporabljamo za proizvodnjo livarske zlitine in na gnetene aluminijeve zlitine. Mednarodni sistem označevanja določa sistem štirih številk. Prva številka označuje družino zlitin, druga označuje možno različico prvotne zlitine, za katero je rezervirana številka 0, zadnji dve številki, pa pri skupini 1XXX predstavljata čistost aluminija, pri ostalih skupinah pa kombinacijo legirnih elementov. Tabela 3 prikazuje skupine aluminijevih zlitin glede na njihovo sestavo.

Tabela 3: Oznake aluminijevih zlitin

1XXX	aluminij	<aluminij 99 %
2XXX	durali	zlitine Al-Cu
3XXX	alumani	zlitine Al-Mn
4XXX	silumini	zlitine Al-Si
5XXX	perali	zlitine Al-Mg
6XXX	antikorodali	zlitine Al-Mg-Si
7XXX	perdurali	zlitine Al-Zn

SKUPINA 1000 – Tehnično čist aluminij, vsebuje najmanj 99 % Al. Za te zlitine je značilna velika korozijska odpornost, velika termična in toplotna odpornost, velika toplotna prevodnost, dobre preoblikovalne lastnosti, dobro se varijo in so primerne za eloksiranje. Imajo pa te zlitine slabe mehanske lastnosti. Trdnost zlitine lahko nekoliko povečamo z deformacijskim preoblikovanjem. Glavni primesi v zlitini sta silicij in železo.

Zlitine se uporabljajo za razno embalažo (folija, posode, tube), izmenjevalce toplote (radiatorje), vodnike in kondenzatorje, za kemijsko in prehrambno opremo in posodo…

SKUPINA 2000 – Zlitine te skupine imajo veliko trdnost, dinamično trdnost, dobre preoblikovalne lastnosti. Te lastnosti dosežemo s toplotnim žarjenjem in naravnim staranjem. Korozijska odpornost je manjša v primerjavi z ostalimi skupinami zlitin, zato jih največkrat dodatno zaščitimo z eloksiranjem.

Glavna primes je baker, vendar se te zlitine (Al-Cu) ne uporabljajo dosti v komercialne namene. Z dodatkom legirnih elementov: magnezija, mangana, silicija, niklja, litij, se uporabljajo v letalski industriji, strojegradnji, vojaški opremi, povsod tam kjer potrebujemo veliko trdnost in majhno težo.

SKUPINA 3000 – Dobra korozijska odpornost, dobro tlačno preoblikovanje in valjanje, dobre mehanske lastnosti in dobra varljivost so prednosti zlitin te skupine.

Mangan je glavni element primesi, kar daje zlitini večjo trdnost. Zmesi niso toplotno obdelovalne. Uporabljajo se v gradbeništvu za strešne kritine, opaže, v kemični in živilski industriji za cevi, rezervoarje, za prenosnike toplote, radiatorje za motorna vozila, obloge zamrzovalnikov…

SKUPINA 4000 – Glavni element silicij dodan tudi v večjih količinah (do 12 %) močno zmanjša tališče, zato se te zlitine predvsem uporabljajo za varilne žice in kot sredstvo za lotanje.

SKUPINA 5000 – Velika prednost te skupine je dobra korozijska odpornost. Zlitine imajo visoko trdoto in natezno trdnost, dobro se hladno preoblikujejo, primerne so za anodiziranje, niso pa primerne za toplotno obdelavo. Iz njih lahko izdelujejo plošče z veliko debelino, brez notranjih napetosti v plošči.

Glavni legirni element je magnezij, od tu dobra korozijska odpornosti in varljivost. Zato se uporabljajo za razne varjene konstrukcije, zaradi odpornosti na slano vodo za gradnjo ladij, izdelavo avtomobilskih prikolic in karoserij, cistern, za mehanske konstrukcije, orodja…

SKUPINA 6000 – To so zlitine za toplotno obdelavo, kar jim omogočata glavna dva legirna elementa, silicij in magnezij, ki skupaj tvorita spojino Mg_2Si. Po toplotni obdelavi imajo mehanske lastnosti podobne zlitinam iz skupine 2000. So zelo odporne proti koroziji, dobro se obdelujejo in varijo.

Uporabljajo se za profile za okna, vrata, stene, lestve, ograje, iz njimi se izdelujejo okvirji za motorje in ohišja elektromotorjev, grelne in hladilne cevi, razno pisarniško opremo…

SKUPINA 7000 – Tudi zlitine te skupine so toplotno obdelane. Imajo najboljše mehanske lastnosti izmed vseh aluminijevih zlitin, dosegajo visoko trdoto, visoko natezno trdnost, zato so glavni material v letalstvu, za močno obremenjene konstrukcije. Iz njih izdelujejo teniške loparje, smučarske palice, vijake, matice, kovice, …

Glavni element je cink, vsebujejo pa še magnezij in baker, v manjših količinah pa še mangan in krom. (aluMATTER, 2011)

V nadaljevanju so v tabeli predstavljene zlitine posameznih skupin in njihove tehnične in mehanske lastnosti.

Tabela 4: Prikaz tehničnih in mehanskih lastnosti posameznih zlitin (aluMATTER, 2011)

Zlitina	**Stopnja obdelave**	**Korozijska odpornost normalno okolje**	**Korozijska odpornost morsko okolje**	**Korozijska zaščita anodizacija**	**Korozijska zaščita hard anodizacija**	**Hladno preoblikovanje**	**Obdelovanje struženje, rezkanje**	**Varljivost TIG in MIG**
1050A	0/H111	6	5	6	6	7	3	6
	H24	6	5	6	6	6	4	6
	H18	6	5	6	6	4	4	6
2017A	T4	4	3	4	5	4	5	5
2024	T3	4	3	4	5	3	6	5
5005	H24	6	5	6	6	5	4	6
5754	0/H111	6	6	6	6	5	4	6
	H32	6	6	6	6	5	4	6
	H24	6	6	6	6	4	5	6
5083	0/H111	6	6	6	6	5	4	6
	H32	6	6	6	6	5	4	6
6063	T5	5	5	6	6	5	5	5
	T6	5	5	6	6	4	5	5
6082	T4	5	5	6	5	4	5	5
	T6	5	5	6	5	4	5	5
7075	T6	3	3	5	4	3	6	5

Pomen vrednosti 2–7: 2 – neprimerna, 3– ni priporočljiva, 4 – sprejemljiva, 5 – dobra, 6 – zelo dobra, 7 – odlična

Ko smo določili sestavo zlitine je naslednji dejavnik, ki vpliva na mehanske in tehnične lastnosti zlitin, možnost toplotne in mehanske obdelave le teh. Glede na to jih ločimo v dve skupini:

Toplotno neobdelovalne Al zlitine

Te zlitine zaradi njihove kemične sestave ne moremo toplotno obdelati, zato jih utrjujemo s hladnim preoblikovanjem (valjanjem, vlečenjem, stiskanjem). Naknadno zlitine še žarimo in s tem zmanjšamo notranje napetosti v materialu, katere se pojavijo pri preoblikovanju, se pa pri tem nekoliko poslabšajo mehanske lastnosti. Stanje zlitine označujemo s črkami F, O in H. Sem spadajo zlitine skupin 1000, 3000 in 5000.

F označuje surovo zlitino v stanju, kot je bila izdelana v proizvodnji. Mehanske lastnosti te zlitine niso zagotovljene.

O označuje zlitine, ki so bile žarjene in so s tem dosegli majhno trdnost.

H so zlitine, katerih mehanske lastnosti so bile izboljšane s hladnim preoblikovanjem. Črki H sledita še dve številki, od katerih prva številka pomeni način obdelave, druga pa stopnjo hladnega preoblikovanja. V nekaterih primerih pa uporabimo še eno številko za določitev natančnosti obdelave, ali za označevanje kombinacije drugih lastnosti. Označevanje stanja toplotno neobdelovalnih Al zlitin po mednarodnih standardih je prikazano v spodnji tabeli.

Tabela 5: Označevanje toplotno neobdelovalnih al. zlitin

F	surove zlitine
O	žarjene zlitine
H1X	mehansko utrjene
H2X	mehansko utrjene in delno žarjene
H3X	mehansko utrjene in stabilizirane
H4X	mehansko utrjene in žgan
HX2	četrtinsko utrjene
HX4	polovično utrjene
HX6	tričetrt utrjene
HX8	popolnoma utrjene
H111	mehansko utrjene in kalibrirane

Toplotno obdelovalne Al zlitine

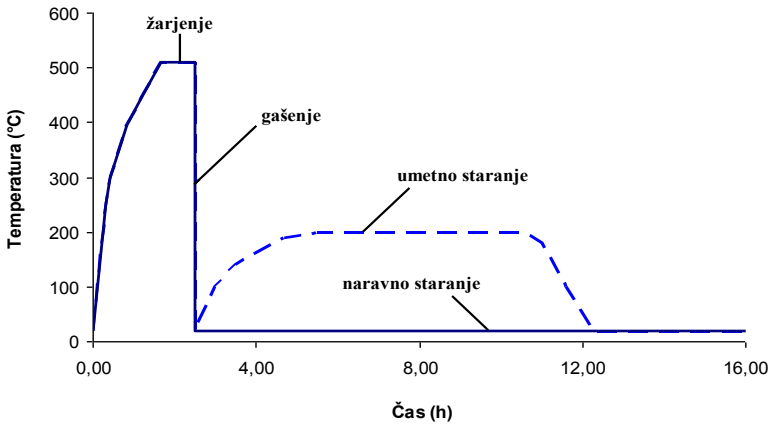
S postopkom toplotne obdelave poskušamo zlitinam spremeniti mehanske lastnosti, spremeniti metalurško strukturo ali odpraviti napetosti, ki so se pojavile v zlitini. Toplotno lahko obdelujemo le tiste zlitine, katerih primesi to dovoljujejo, pri katerih s povečanjem temperature topnost legiranih elementov narašča. V to skupino spadajo zlitine skupine 2000 (Al-Cu), 6000 (Al-Mg-Si) in 7000 (Al-Zn-Mg).

Sam postopek toplotnega utrjevanja je sestavljen iz treh faz (slika 9):

Žarjenje – material segrevamo do temperature (približno 500 °C), kjer je topnost zlitin največja in ga zadržujemo pri tej temperaturi, dokler ne dobimo homogene zmesi.

Gašenje – hitro ohlajanje materiala največkrat v vodi ali olju do sobne temperature – s tem dobimo raztopino prenasičeno s topljenci.

Staranje – je temeljni del toplotnega utrjevanja. Takoj po gašenju se mehanske lastnosti zlitine bistveno ne izboljšajo, šele po postopku staranja dosežemo najboljše mehanske lastnosti. Atomi, ki so po kaljenju v prenasičenem zmesnem kristalu, se pričnejo s časom staranja premikati, pri tem pride do razmeščanja ali do izločanja in tako se ustvarjajo povečane notranje napetosti. Staranje je lahko **naravno**, to se dogaja pri sobnih temperaturah v času od par dni, do par mesecev, ali pa **umetno** staranje, kjer zlitino segrejemo na temperaturo med 100–200 °C in jo zadržimo nekaj ur pri tej temperaturi. Čas staranja in temperatura, pri kateri zlitino staramo je, odvisna od sestave zlitine. (Metalurški priročnik, 1972)



Slika 9: Shematski prikaz toplotnega utrjevanja zlitine

Po postopku utrjevanja označujemo stanje aluminijevih zlitin s črko T, kateri sledi še ena ali več številk. Osnovna delitev zlitin je predstavljena v tabeli 6.

Tabela 6: Označevanje toplotno obdelovalnih aluminijevih zlitin

T1	ohlajeno z visokotemperaturnim procesom in naravno starano
T2	ohlajeno z visokotemperaturnim procesom, hladno preoblikovano in naravno starano
T3	topilno žarjeno, hladno preoblikovano in naravno starano do stabilnega stanja
T4	topilno žarjeno in naravno starano do stabilnega stanja
T5	ohlajeno z visokotemperaturnim procesom in umetno starano
T6	topilno žarjeno in umetno starano
T7	topilno žarjeno in stabilizirano
T8	topilno žarjeno, hladno preoblikovano in umetno starano
T9	topilno žarjeno, umetno starano in hladno preoblikovano
T10	ohlajeno z visokotemperaturnim procesom, naravno starano in hladno preoblikovano

6 PRIMERJAVA ALUMINIJEVIH ZLITIN

V nadaljevanju naloge se posvetimo trem različnim aluminijevim zlitinam, katere večinoma uporabljajo v proizvodnji podjetja Gopack. Predstavljene so njihove glavne lastnosti, prednosti in slabosti glede na njihovo uporabnost in ceno.

Obravnavamo dve zlitine skupine 5000: Al-Mg3,5 (5754) in Al-Mg4,5 (5083) in zlitino skupine 6000 Al-Si (6083).

6.1 5754 Aluminijeva zlitina (Al-Mg3)

Aluminijeva zlitina 5754 je toplotno neobdelana zlitina. Ima zelo dobro odpornost proti koroziji, tako proti morski vodi, kot v okoljih s kemikalijami. Odporna je tudi proti interkristalni koroziji in pokanju zaradi napetostne korozije, ko je izpostavljena višjim temperaturam (nad 65 °C). Je dobro varljiva in se dobro hladno preoblikuje. Njeno trdnost povečajo z mehanskim utrjevanjem in legirnim žarjenjem.

Uporabnost

Izdelki aluminijeve zlitine 5754 so največkrat v obliki plošč, pločevin, palic, cevi, žic, itd. Uporabljajo se:

- avtomobilska industrija; karoserije,
- v strojništvu; tlačne posode, rezervoarji, kovice,
- ladjedelništvo; čolni, ribiška oprema.

V tabeli 7 je predstavljena kemična sestava zlitine 5754 in odstotek vsebnosti posameznih legirnih elementov.

Tabela 7: Kemična sestava zlitine 5754 (aluMATTER, 2011)

Element	**Vsebnost %**
Si	0,4
Fe	0,4
Cu	0,1
Mn	0,5

Mg	2,60–3,6
Cr	0,30
Ni	0,05
Zn	0,20
Ti	0,15
Ostalo	0,05

Glavne mehanske in fizikalne lastnosti zlitine so predstavljene v tabelah št. 8 in 9.

Tabela 8: Mehanske lastnosti zlitine 5754 (aluMATTER, 2011)

Stanje materiala	**H26**	**0/H111**
Meja plastičosti Rs 0,2 % (N/mm²)	215	100
Natezna trdnost Rm (N/mm²)	270	215
Strižna trdnost (N/mm²)	160	140
Razteznost A5 (%)	14	25
Trdota po Brinellu HBS	73	50

Tabela 9: Fizikalne lastnosti zlitine 5754 (aluMATTER, 2011)

Lastnosti	**Vrednosti**
Gostota	2680 kg/m³
Elastični modul	70500 N/mm²
Talilni interval	595–645 °C
Toplotna prevodnost	132 W/mK

6.2 5083 Aluminijeva zlitina (Al-Mg4,5Mn)

Aluminijeva zlitina 5083 ni toplotno obdelana zlitina. Ima zelo dobro odpornost proti koroziji, tako proti morski vodi kot v okoljih s kemikaliji. Je dobro varljiva in po varjenju ohranja veliko trdnost. Izmed zlitin, ki niso toplotno obdelane, ima največjo trdnost, ni pa priporočljiva za uporabo pri temperaturi nad 65 °C.

Uporabnost

Izdelki aluminijeve zlitine 5083 so največkrat v obliki plošč, pločevin, palic, cevi, žic, itd. Uporabljajo se:

- za opremo in konstrukcije; v ladjedelništvu, za platforme, drogove,
- v strojništvu; konstrukcije, orodja, naprave,
- v avtomobilski in železniški industriji; prikolice, cisterne.

V tabeli 10 je predstavljena kemična sestava zlitine 5754 in odstotek vsebnosti posameznih legirnih elementov

Tabela 10: Kemična sestava zlitine 5083 (aluMATTER, 2011)

Element	**Vsebnost %**
Si	0,4
Fe	0,4
Cu	0,1
Mn	0,40–1,00
Mg	4,00–4,9
Cr	0,05–0,25
Ni	0,05
Zn	0,25
Ti	0,15
Ostalo	0,05

Glavne mehanske in fizikalne lastnosti zlitine so predstavljene v tabelah št. 11 in 12.

Tabela 11: Mehanske lastnosti zlitine 5083 (aluMATTER, 2011)

Stanje materiala	**H32**	**0/H111**
Meja plastičosti Rs 0,2 % (N/mm²)	215–295	115–200
Natezna trdnost Rm (N/mm²)	305–385	275–345
Strižna trdnost (N/mm²)	185	175
Razteznost A5 (%)	17	23
Trdota po Brinellu HBS	85	70

Tabela 12: Fizikalne lastnosti zlitine 5083 (aluMATTER, 2011)

Lastnosti	**Vrednosti**
Gostota	2660 kg/m³
Elastični modul	71000 N/mm²
Talilni interval	580–640 °C
Toplotna prevodnost	117 W/mK

6.3 6082 Aluminijeva zlitina (Al Si1MgMn)

Aluminijeva zlitina 6082 je srednje trda zlitina z odlično korozijsko odpornostjo, zelo dobro se vari (žilavost v področju varjenja se zmanjša), dobro se mehansko obdeluje. Večja vsebnost mangana kontrolira kristalno rešetko, kar se odraža v večji trdnosti zlitine, zato ima 6082 največjo trdnost v seriji zlitin 6000.

Težko je izdelati tanke stene in zapletene oblike z iztiskanjem, pa tudi površina ni tako gladka kot pri ostalih zlitinah serije 6000.

Uporabnost

Izdelki aluminijeve zlitine 6082 so največkrat v obliki plošč, pločevin, palic, cevi, žic, itd. Uporabljajo se:

- za težke konstrukcije; nosilne tramove, mostove, žerjave,
- v strojništvu; platforme, hidravlični sistemi, prirobnice, kovice,
- za cevi za gradbene odre, okvirje šotorov in dvoran,
- v prehrambni ind.; posode za mleko, sodi za pivo…

Tabela 13: Kemična sestava zlitine 6082 (aluMATTER, 2011)

Element	Vsebnost %
Si	0,70–1,30
Fe	0,5
Cu	0,1
Mn	0,40–1,00
Mg	0,60–1,20
Cr	0,25
Ni	0,05
Zn	0,20
Ti	0,10
Ostalo	0,05

Glavne mehanske in fizikalne lastnosti zlitine so predstavljene v tabelah št. 14 in 15.

Tabela 14: Mehanske lastnosti zlitine 6082 (aluMATTER, 2011)

Stanje materiala	**T4**	**T6**
Meja plastičosti Rs 0,2 % (N/mm²)	170	310
Natezna trdnost Rm (N/mm²)	260	340
Strižna trdnost (N/mm²)	170	210
Razteznost A5 (%)	19	11
Trdota po Brinellu HBS	58	95

Tabela 15: Fizikalne lastnosti zlitine 6082 (aluMATTER, 2011)

Lastnosti	**Vrednosti**
Gostota	2710 kg/m³
Elastični modul	70000 N/mm²
Območje tališča	575–650 °C
Toplotna prevodnost	167 W/mK

7 PRIMERJAVA GIBANJA CEN PRIMARNEGA ALUMINIJA NA LME IN NABAVNIH CEN AL. ZLITINE ZA PODJETJE GOPACK

7.1 Londonska borza kovin

Londonska borza kovin (London Metal Exchange – LME) je najpomembnejša borza barvnih kovin na svetu. Ustanovljena je bila leta 1877 in se nahaja v središču Londona. LME zagotavlja reguliran in pregleden sistem za trgovanje s terminskimi pogodbami in opcijami pogodb za aluminij, baker, nikelj, svinec aluminijeve zlitine in NASAAC (posebna severno ameriška aluminijeva zlitina), jeklene palice, kobalt in molibden. Kot rezultat tega trgovanja so dnevne cene objavljene na borzi, katere industrija uporablja kot referenčne cene pri pogajanjih za prodajo ali nakup barvnih kovin po vsem svetu.

Borza LME svoje člane na vseh stopnjah dobavne verige, vključno s prodajalci in kupci, ščiti pred tveganjem nihanja cen kovin in jim daje možnost zavarovanja proti tveganju. Zagotavlja tudi primerne skladiščne zmogljivosti za prodajo presežne zaloge v času pred dobavo in v času večjega pomanjkanja ustreznih kovin, kar zagotavlja stabilnost cen.

Trgovanje na LME-ju poteka v ameriških dolarjih na tono, pri čemer je obsega en kontakt 25 ton. (LME, 2012)

7.2 Glavni dejavniki, ki vplivajo na ceno

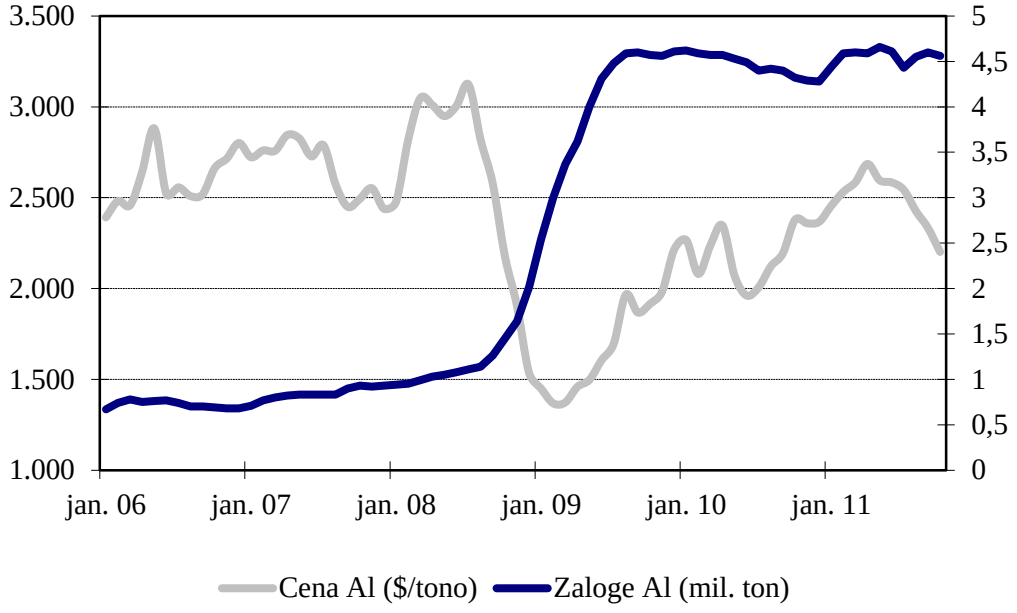
Glavni dejavniki, ki vplivajo na ceno primarnega aluminija na svetovni borzi so:

Povpraševanje – je bistveni faktor pri določanju cene aluminija na borzi. Do leta 2008 je bilo povpraševanje veliko večje od ponudbe, temu primerno so tudi cene naraščale, ob nastopu krize leta 2008, pa se je povpraševanje zaradi svetovne recesije, predvsem v gradbeništvu in prevozništvu, močno zmanjšalo. Cene aluminija so padle celo do te mere, da so bili stroški proizvodnje višji od cene proizvoda. Sledilo je počasno večanje povpraševanja, predvsem zaradi spodbud, ki so jih dajale posamezne države za ponovni zagon gospodarstva, vendar so se zaloge v tem času močno povečale. Naraščanje povpraševanja aluminija v zadnjem času, je predvsem

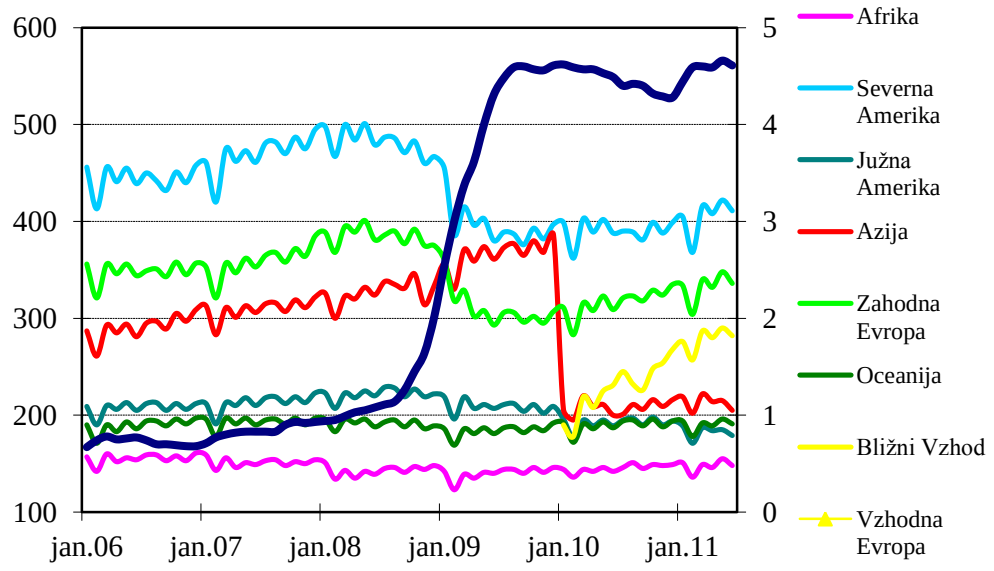
posledica cvetočega kitajskega gospodarstva, možnosti uvedbe ostrejših zahtev glede emisij CO_2 v avtomobilski industriji, ter naraščanje cen kovin kot sta cink in baker. Aluminij je lažji od jekla, s tem avtomobili postajajo lažji, manjša se poraba goriva in izpust CO_2 v ozračje. (iStockAnalyst, 2011)

Slika 10: Svetovno povpraševanje (milijon ton) in cena aluminija na LME borzi ($/tono) (Harbor Aluminium, 2011)

Ponudba – posledica padca povpraševanja zaradi recesije, je povečana ponudba. V letih pred recesijo, ko je povpraševanje presegalo ponudbo, se je zlasti na Kitajskem odpiralo veliko število novih talilnic. Nove zmogljivosti na Kitajskem so bile ekonomične vse dokler so bile cene aluminija visoke. Konec leta 2008 se je povpraševanje bistveno zmanjšalo in prišlo je do prevelike ponudbe (slika 11), kar je povzročilo v letu 2009 povečanje zalog na borzi LME iz enega na 4,6 milijona ton. Kljub manjšemu povpraševanju in večanju zalog pa se cena z občasnimi padci vzpenja. Leta 2010 je Kitajska proizvajala skoraj 40 % vsega aluminija, čeprav je njihova zmogljivost le okrog 20 % svetovne proizvodnje in so stroški njihove proizvodnje bistveno višji od večine objektov, ki so se že prej zapirali v Evropi in Ameriki. Po letu 2010 je tudi na Kitajskem (slika 12) proizvodnja zaradi visokih stroškov energije upadla, kar pa še ni bistveno vplivalo na svetovne zaloge. Prav odprava presežkov ponudbe je potrebna za trajnostno izboljšanje cen. (iStockAnalyst, 2011)



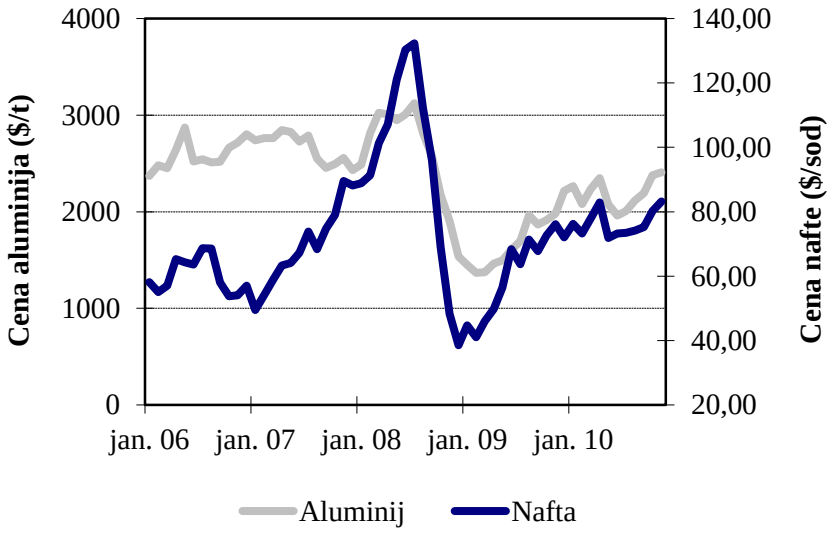
Slika 11: Zaloge in cena Al na LME borzi (Harbor Aluminum, 2011, Westmetall, 2011)



Slika 12: Proizvodnja Al po posameznih kontinentih in stanje zalog na LME borzi (World Aluminium, 2011)

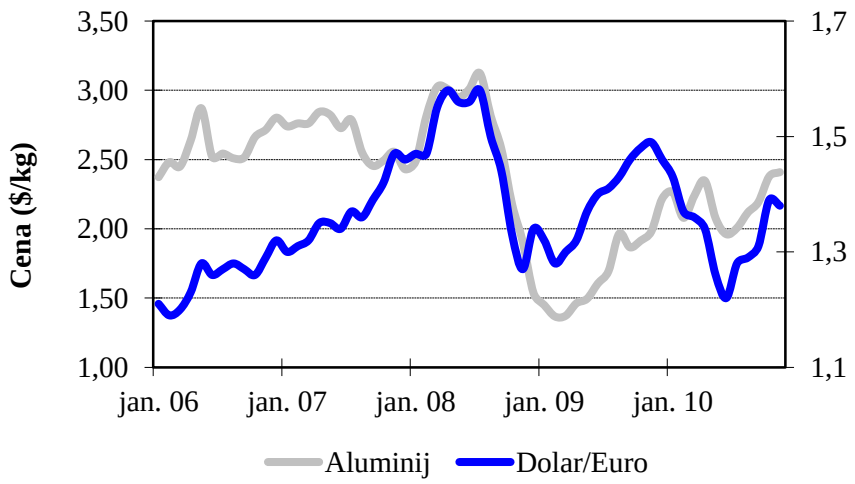
Stroški – cena nafte je pomemben kazalnik cene blaga. Kot vir energije predstavlja več kot 60 % stroškov pri pridobivanju aluminija, tako lahko v spodjem grafu (slika 13) vidimo, da se obe ceni dokaj podobno gibljeta. Pri elektrolizi aluminijevega oksida se porabi ogromna količina električne energije in tudi cena elektrike bistveno

vpliva na stroške oziroma ceno aluminija, zato gradijo tovarne aluminija blizu elektrarn. Prav Kitajske talilnice so tu v bistveno slabšem položaju, saj kupujejo približno polovico električne energije iz omrežja in so s tem stroški neprimerno večji.

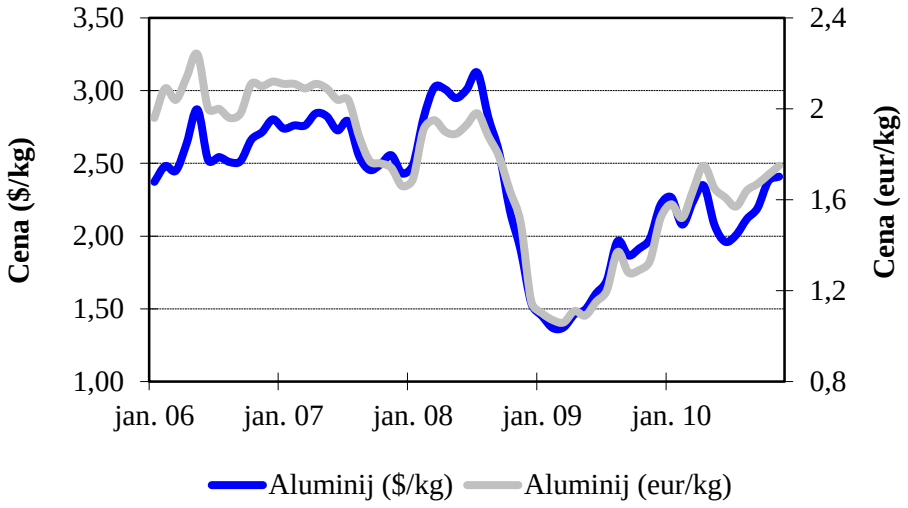


Slika 13: Primerjava gibanja cen aluminija in nafte (Harbor Aluminum, 2011, EIA, 2011)

Dolar – na svetovnih borzah se trguje z aluminijem v dolarjih, zato ima tudi tečaj dolarja vpliv na ceno aluminija. Kako je vplivala vrednost dolar/euro na ceno aluminija v zadnjih desetih letih lahko vidimo v spodnjem grafu (slika 14). Šibek dolar viša ceno aluminija na svetovnem trgu.

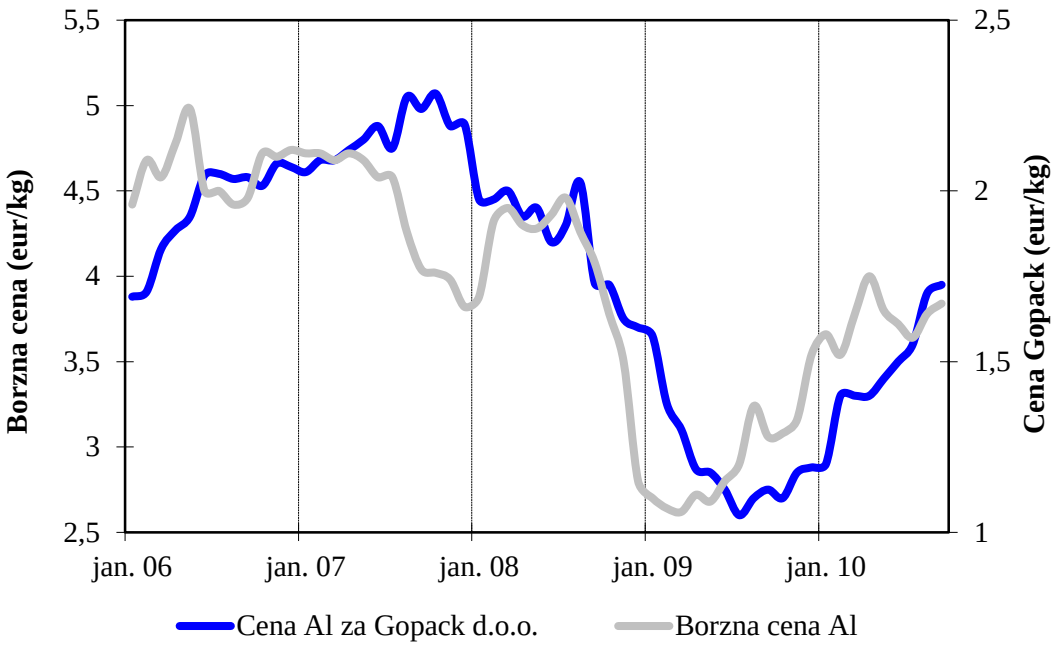


Slika 14: Primerjava gibanja cen Al in vrednost dolarja proti evru (Harbor Aluminum, 2011, ECB, 2011)



Slika 15: Primerjava cene aluminija v dolarjih in evrih (Harbor Aluminum, 2011)

Iz drugega grafa (slika 15) lahko vidimo, da je imel primarni aluminij za evropske kupce, ki poslujejo v evrih najvišjo ceno prav v času, ko je imel dolar najvišjo vrednost. V času največjega razcveta gospodarstva leta 2008, pa je cena aluminija, prav zaradi slabenja dolarja, nekoliko padla. Vse to se lepo vidi tudi v spodnjem grafu (slika 16), kjer je predstavljeno gibanje nabavnih cen aluminijeve zlitine 6082 za podjetje Gopack.

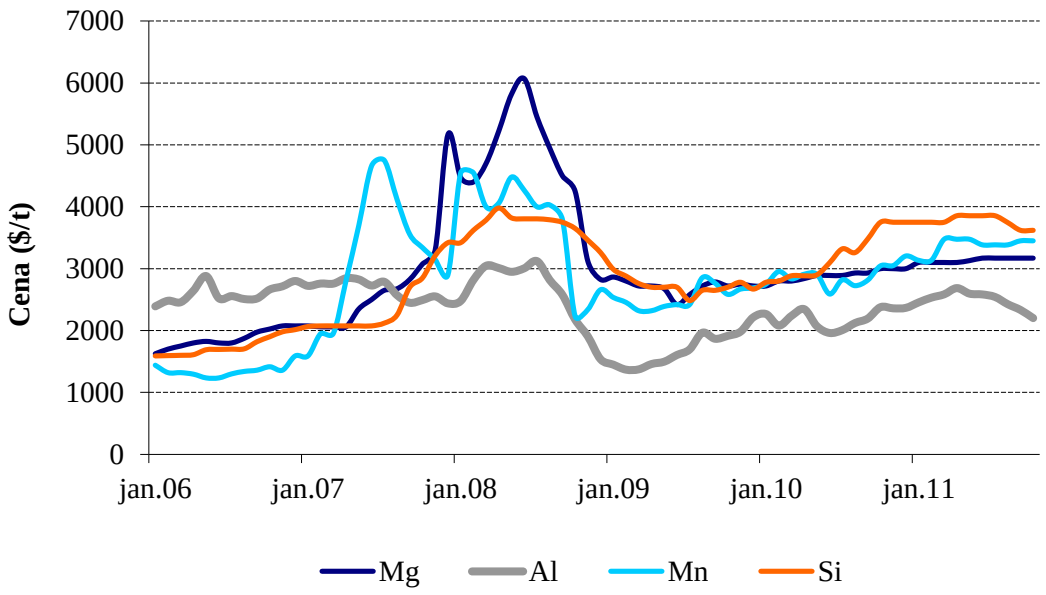


Slika 16: Primerjava cen Al za Gopack in borzne cene Al (Harbor Aluminum, 2011)

8 VPLIV LEGIRNIH ELEMENTOV NA CENO ALUMINIJA

V nadaljevanju naloge smo analizirali kako vplivajo cena in sprememba deleža glavnih legirnih elementov na končno ceno posamezne zlitine. V tabelah je predstavljena sestava zlitine, odstotek posameznega elementa v zlitini in cena primesi, enostaven program pa nam izračuna končno ceno aluminijeve zlitine. Z analizo cen kovin smo izdelali grafe, kateri nazorno prikazujejo koliko vpliva razlika deleža legirnih elementov na ceno končne zlitine. Analizirali smo borzne cene legirnih elementov in aluminija za obdobje med letom 2006 in 2011.

V spodnji sliki 17 lahko vidimo gibanje cen aluminija in legirnih elementov za aluminijeve zlitin 5754, 5083 in 6082 v tem obdobju. Kolikšen je dejanski vpliv na posamezne zlitine pa opišem v nadaljevanju naloge.



Slika 17: Gibanje cen kovin na borzi (Harbor Aluminum, 2011)

8.1 Cena aluminijeve zlitine 5754

Kot smo že spoznali v nalogi, je glavni legirni element zlitine 5754 magnezij. Delež le tega je v zlitini zelo majhen v primerjavi z deležem aluminija, zato tudi bistveno ne vpliva na skupno ceno zlitine. V tabeli 16 lahko vidimo, da se cena tone čistega aluminija ne razlikuje veliko od cene zlitine, ko med kovinami ni bistvene razlike v ceni.

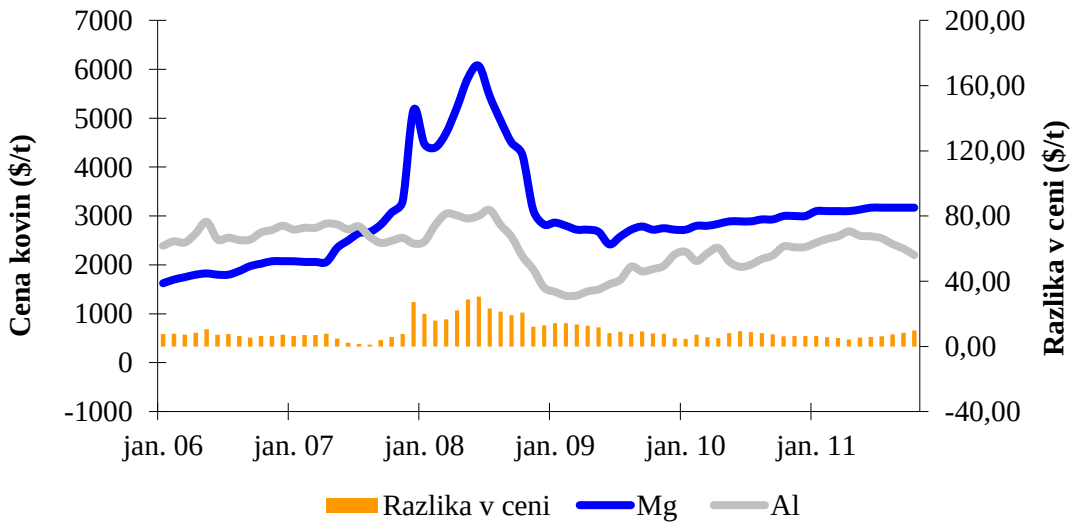
Tabela 16: Primer izračuna cene zlitine 5754

ELEMENT	SESTAVA %		CENA ($)	CENA ($/t)
Al	94,25–95,25	95,25	2096,45	2201
Mg	2,6–3,6	2,60	82,42	3170
Mn	0,5	0,50	17,25	3450
Si	0,4	0,40	14,48	3620
Zn	0,2	0,20	3,76	1881
Cr	0,3	0,30	6,83	2277
Ti	0,15	0,15	12,50	8334
Cu	0,1	0,10	7,37	7366
Ni	0,05	0,05	9,46	18926
Fe	0,4	0,40	0,00	
Ostali	0,05	0,05	0,00	
			$2250,53	

Da bi spoznali koliko se spreminja cena zlitine glede na ceno aluminija in magnezija smo analizirali podatke borznih cen primesi in aluminija za obdobje med leti 2006 in 2011 in jih predstavili v obliki grafa.

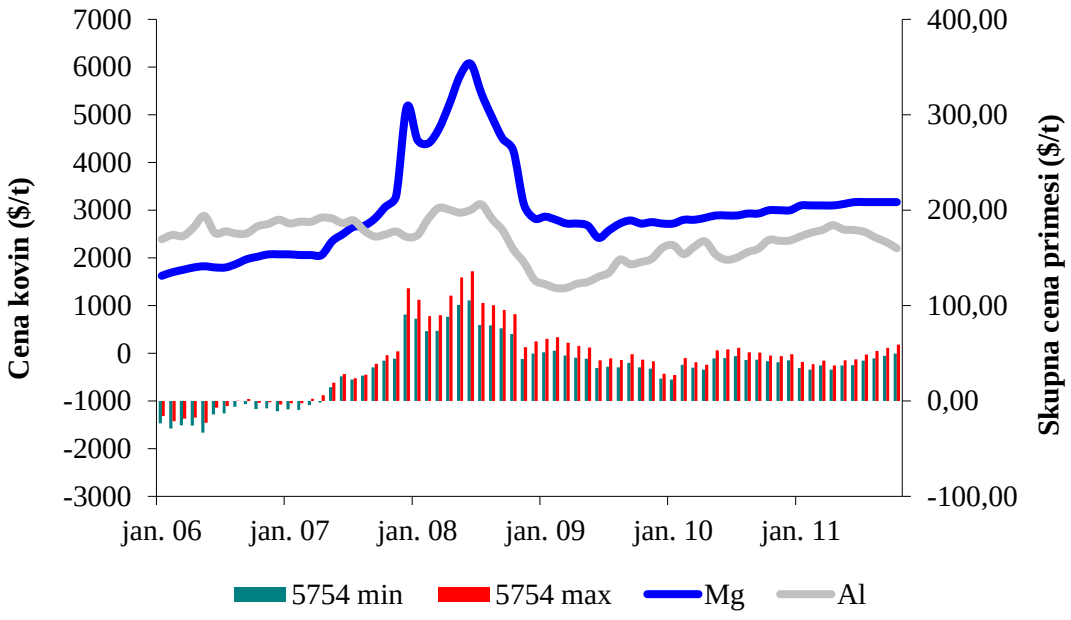
Na sliki 18 lahko vidimo, koliko bi bilo mogoče največ privarčevati z mešanjem idealnega razmerja magnezija glede na dovoljen delež in ceno le tega. To bi pomenilo, da v primeru, ko je cena primesi nižja od cene aluminija, upoštevamo maksimalen dovoljen odstotek glavnih primesi (za zlitino 5754 3,6 % magnezija) s tem manjši delež aluminija, v primeru da je cena primesi višja, pa minimalen dovoljen odstotek primesi (2,6 % magnezija) in večji delež aluminija.

Iz dobljenih izračunov bi lahko bil ta prihranek v analiziranem obdobju od 0,05 % do 1 % oziroma od 1 do 30 $/t cene zlitine. Kot lahko vidimo v grafu, na to največ vpliva ravno razlika med cenama magnezija in aluminija. V obdobju po začetku gospodarske krize so se cene aluminija in magnezija zelo približale, zato je tudi možni prihranek veliko manjši.



Slika 18: Prikaz razlike v ceni zlitine 5754, glede na delež magnezija v zlitini in gibanje cene magnezija in aluminija

Iz analiziranih podatkov smo spoznali tudi, da kljub najvišji ceni magnezija in največji razliki glede na delež le tega v zlitini (junij 2008) to še ni pomenilo najvišjo ceno aluminijeve zlitine, saj je bila ta najvišja, ko je imel aluminij največjo vrednost (julij 2008). Iz tega lahko sklepamo, da je glavni pokazatelj cene zlitine 5754 prav aluminij.



Slika 19: Gibanje cen glavnih legirnih elementov zlitine 5754 in cene kovin

Na sliki 19 je predstavljeno, koliko je dejansko vplivala skupna vrednost primesi v zlitini na ceno zlitine 5754, glede na aluminij v analiziranem obdobju, pri čemer rdeči stolpec pomeni višjo ceno zlitine, zeleni pa nižjo ceno zlitine. Višjo ali nižjo ceno zlitine določa delež magnezija v zlitini. Stolpci pod desno osjo x pomenijo nižjo ceno zlitine od aluminija, nad osjo x pa višjo ceno zlitine od aluminija. Razlika med stolpci je že predstavljen možen prihranek.

Iz grafa je razvidno tudi, da je bila do aprila 2007 cena zlitine še nekoliko nižja od cene čistega aluminija, po tem obdobju pa vedno višja od aluminija, medtem ko je cena magnezija prerasla ceno aluminija v avgustu 2007.

8.2 Cena aluminijeve zlitine 5083

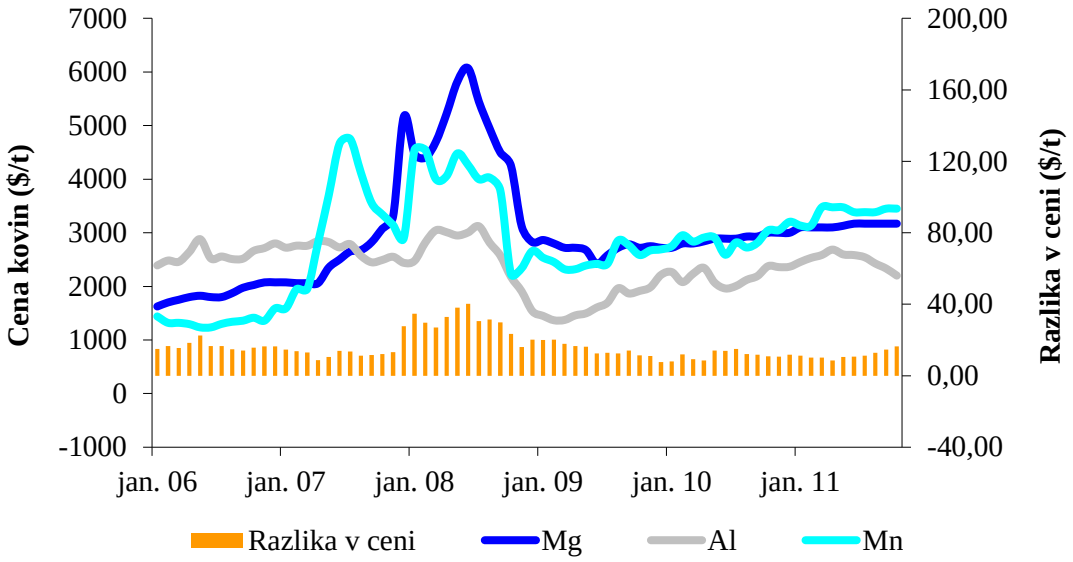
Glavna dodatna elementa aluminijeve zlitine 5083 sta magneziji in mangan, s čimer poleg trdnosti, zlitina pridobi tudi na žilavosti. Delež obeh je nekoliko večji kot pri zlitini 5754, ima pa ta zlitina manjši delež bakra in zato boljšo korozijsko odpornost.

Tabela 17: Primer izračuna cene zlitine 5083

ELEMENT	SESTAVA %		CENA ($)	CENA ($/t)
Al	92,15–94,45	94,15	2072,24	2201
Mg	4,0–4,9	4,00	126,80	3170
Mn	0,4–1,0	0,40	13,80	3450
Si	0,4	0,40	14,48	3620
Zn	0,25	0,25	4,70	1881
Cr	0,05–0,25	0,05	1,14	2277
Ti	0,15	0,15	12,50	8334
Cu	0,1	0,10	7,37	7366
Ni	0,05	0,05	9,46	18926
Fe	0,4	0,40	0,00	
Ostali	0,05	0,05	0,00	
			$2262,49	

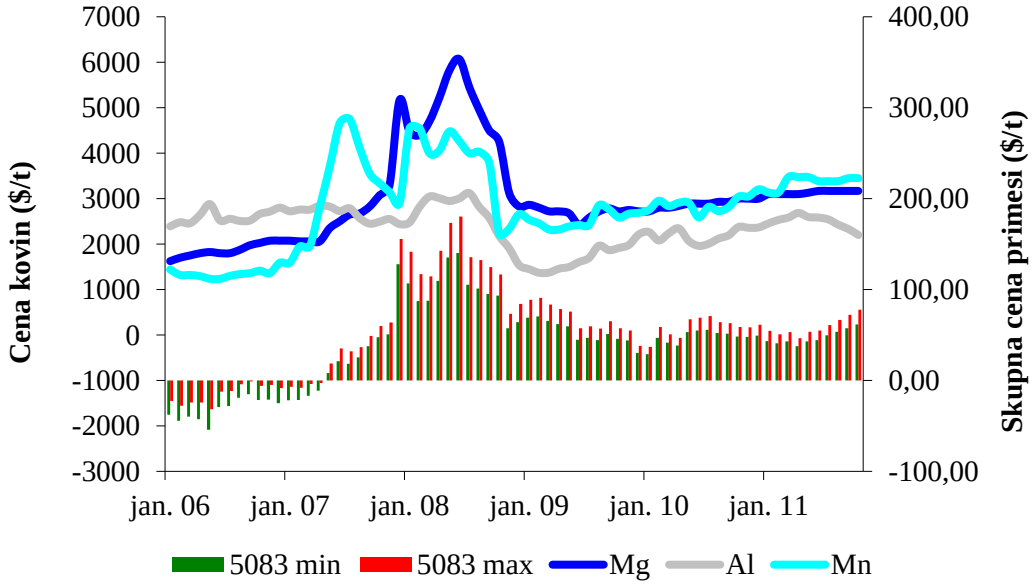
Tudi pri zlitini 5083 vidimo, da cene primesi bistveno ne podražijo ceno zlitine, ko se tudi cene kovin med seboj bistveno ne razlikujejo, ob upoštevanju idealnega razmerja znotraj dovoljenih mej. Koliko bi teoretično lahko privarčevali na ceni zlitine pri idealnem razmerju kovin v zlitini nam prikazujeta sliki 20 in 21. Tudi tu smo analizirali podatke borznih cen primesi in aluminija za obdobje med letom 2006 in 2011.

Iz dobljenih podatkov vidimo, da bi v analiziranem obdobju prihranek lahko znašal od 0,3 % do 1,3 % oziroma od 8 do 40 $/t cene zlitine. V zadnjem obdobju se je ta prihranek gibal okrog 0,6 %. Iz grafa (slika 20) lahko vidimo, da je tudi tu največ vpliva ravno razlika med cenama magnezija in mangana proti aluminiju, ki je bistveno narasla v juniju 2008, zato tudi takrat najvišji možni prihranek.



Slika 20: Razlike v ceni zlitine 5083, glede delež kovin in gibanje cen kovin

Slika 21 prikazuje koliko je dejansko vplivala skupna vrednost primesi v zlitini na ceno zlitine 5083, glede na ceno aluminija v analiziranem obdobju. Tudi tu lahko vidimo, da je prelomna točka, ko so primesi doprinesle višjo ceno zlitine od čistega aluminija, april 2007. Takrat je zrasla cena tako magneziju, kot manganu, kar je posledično pomenilo dražjo ceno zlitine v primerjavi s čistim aluminijem. Po začetku gospodarske krize pa se je tudi cena mangana zelo približala cenam magnezija in aluminija.



Slika 21: Gibanje cen glavnih legirnih elementov zlitine 5083 in cene kovin

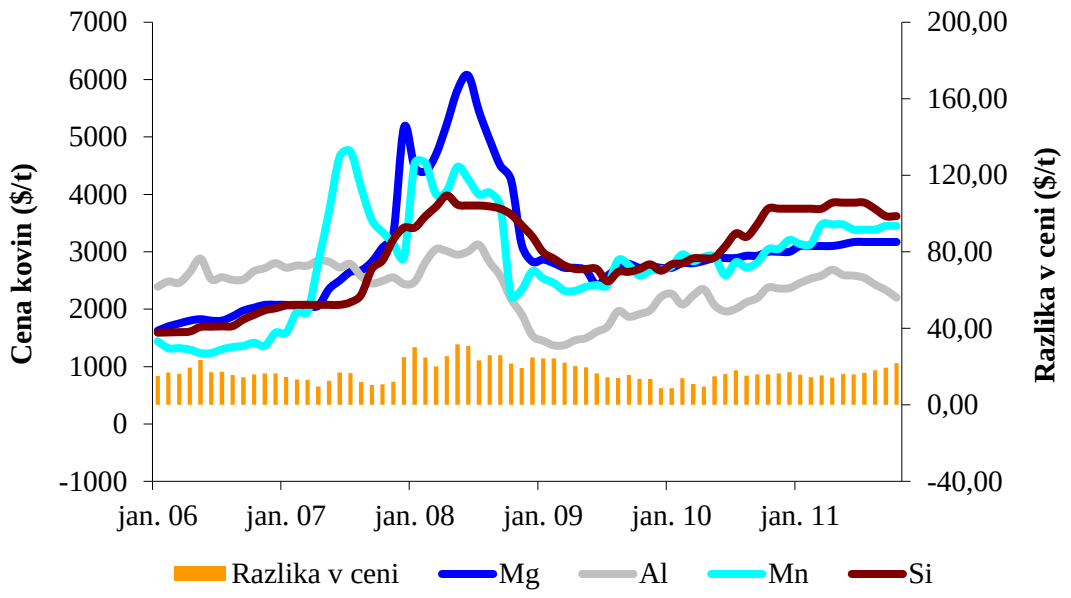
8.3 Cena aluminijeve zlitine 6084

Za razliko od prvih dveh zlitin serije 5000 je zlitina 6082 toplotno obdelana zlitina. Dodatni elementi zlitini so magnezija in silicij, ki skupaj tvorita spojino Mg_2Si, katera poveča trdnost zlitine in mangan, kateri kot smo že spoznali, povečuje žilavost. Delež vseh legirnih elementov je manjši kot pri prejšnjih zlitinah (tabela 18), zato je tudi vpliv na skupno ceno zlitine majhen, glede na ceno aluminija.

Tabela 18: Primer izračuna cene zlitine 6084

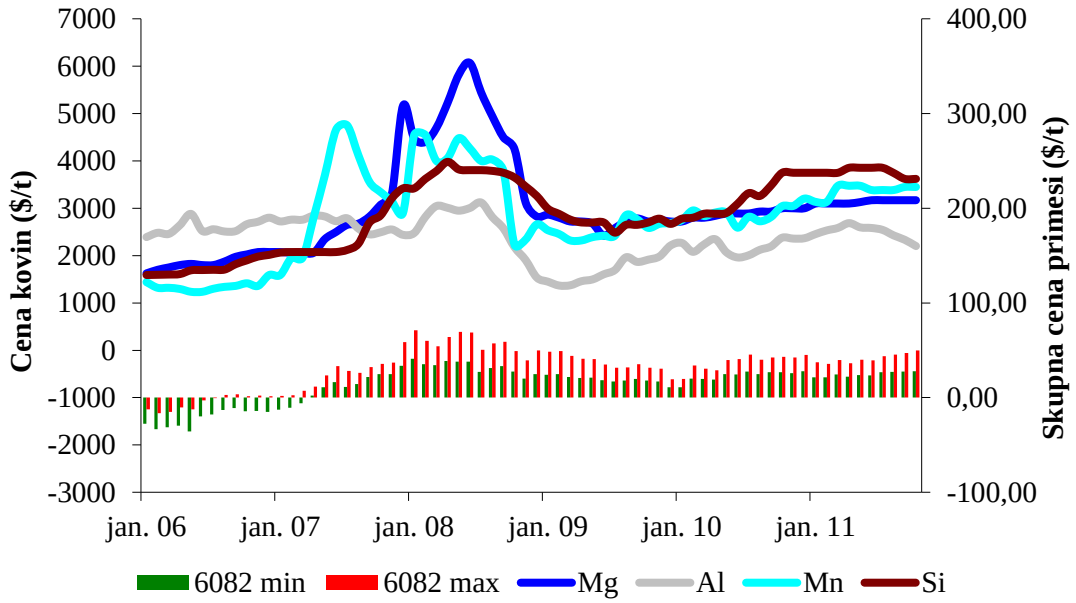
ELEMENT	SESTAVA %		CENA ($)	CENA ($/t)
Al	95,25–97,05	97,25	2140,47	2201
Mg	0,60–1,20	0,60	19,02	3170
Mn	0,40–1,00	0,40	13,80	3450
Si	0,70–1,30	0,70	25,34	3620
Zn	0,20	0,20	3,76	1881
Cr	0,25	0,05	1,14	2277
Ti	0,10	0,10	8,33	8334
Cu	0,10	0,10	7,37	7366
Ni	0,05	0,05	9,46	18926
Fe	0,50	0,50	0,00	
Ostali	0,05	0,05	0,00	
			$2.228,70	

Slika 22 ponazarja gibanje cen treh glavnih primesi, ter v stolpčnem diagramu možno maksimalno razliko v končni ceni zlitine, odvisno od deleža legirnih elementov. Tudi tu smo upoštevali, da se izbere maksimalen dovoljen delež, ko je cena primesi nižja od aluminija in obratno. Iz dobljenih podatkov smo ugotovili, da se je možen prihranek gibal od 0,3 % do 1,7 % glede na povprečno ceno zlitine, oziroma od 8 do 30 $/t cene zlitine v posameznem obdobju.



Slika 22: Razlike v ceni zlitine 6082, glede delež kovin in gibanje cen kovin

Na sliki 23 lahko vidimo, da je na skupno ceno legirnih elementov zlitine 6082 najmanj vplivala razlika v cenah posameznih kovin, kar je, kot smo že ugotovili, posledica manjšega deleža legirnih elementov. Iz tega lahko sklepamo, da je gibanje cene zlitine 6082 najbolj primerljivo gibanju cene čistega aluminija na borzi tudi ob večjih spremembah cene posamezne kovine.



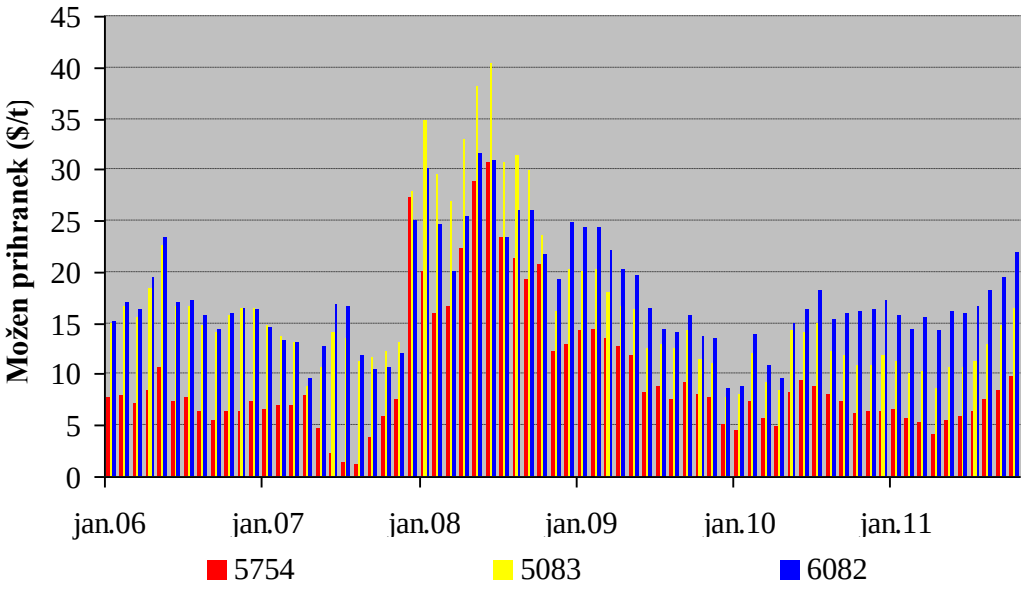
Slika 23: Gibanje cen glavnih legirnih elementov zlitine 6082 in cene kovin

8.4 Primerjava cen zlitin

Najprej je treba poudariti, da dobljene cene za posamezne zlitine veljajo za stanje F – surova zlitina v stanju, kot je bila izdelana v proizvodnji. K tem cenam je treba seveda dodati še premijo, da pridemo do končnih cen kupca. Ker je bil naš namen analize ugotoviti, koliko vplivajo cenovno legirni elementi na ceno zlitine, smo obravnavali samo borzne cene posameznih kovin.

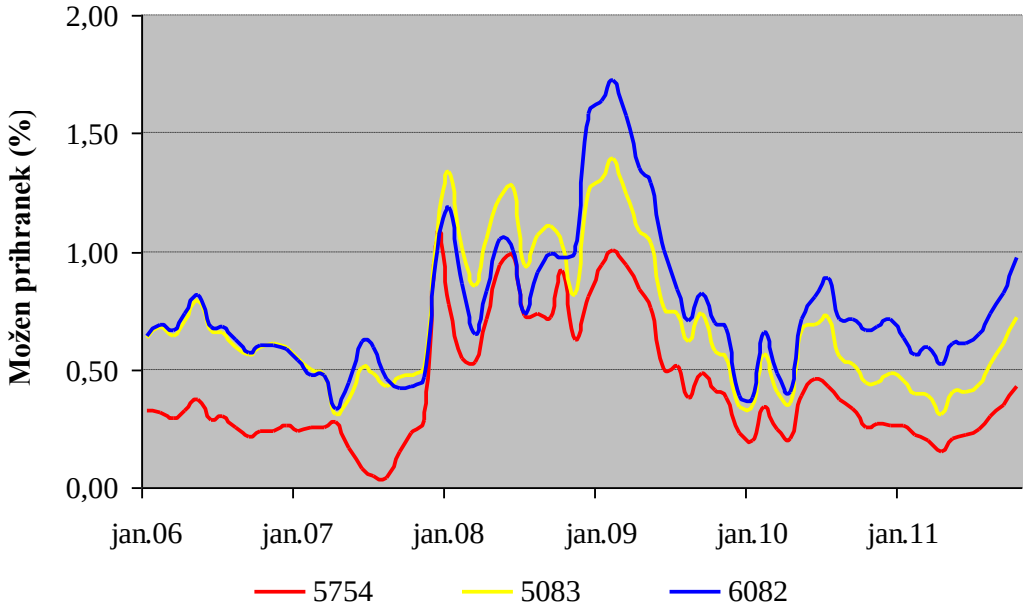
Ko smo imeli izračune za posamezne zlitine, nas je v nadaljevanju zanimalo, koliko so se cene analiziranih zlitin v času spreminjale med seboj in koliko so dejansko primerljive s ceno čistega aluminija.

Na sliki 24 je prikazana primerjava gibanja možnih prihrankov za posamezno zlitino. Iz grafa lahko razberemo, da so se le ti v obdobju gospodarskega razcveta zelo spreminjali glede na zlitino, kar je posledica različnih gibanj cen posameznih kovin. Od začetka gospodarske krize naprej pa so se cene kovin med seboj zelo približale in začele enakomerno gibati, zato so se tudi prihranki glede na delež legirnih elementov gibali enakomerno.



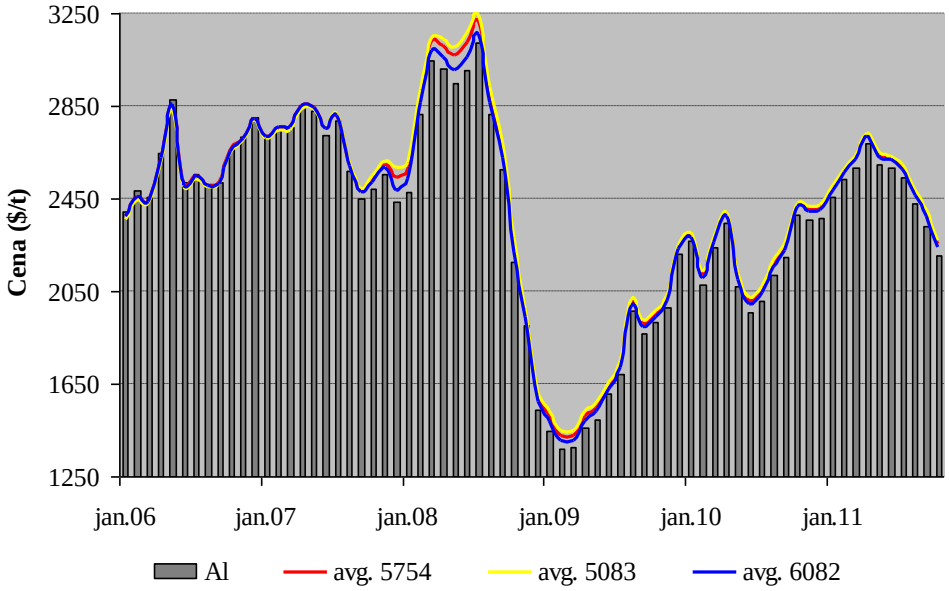
Slika 24: Prikaz gibanja prihrankov za posamezno aluminijevo zlitino

Kaj so ti prihranki pomenili v odstotkih, glede na povprečno ceno zlitine, lahko vidimo v spodnji sliki 25.



Slika 25: Prikaz gibanja prihrankov za posamezne zlitine v odstotkih

Glede na dobljene rezultate lahko sklepamo, da delež posameznih legirnih elementov v zlitini bistveno ne vpliva na končno ceno zlitine za kupce aluminijastih izdelkov in polizdelkov, saj se je tudi v času, ko je bil ta prihranek največji, gibal le nekaj nad 1,5 % glede na končno ceno zlitine.



Slika 26: Primerjava cen aluminija in aluminijevih zlitin

Slika 26 prikazuje gibanje borzne cene aluminija in povprečne cene aluminijevih zlitin za analizirano obdobje. Kot lahko vidimo, se cene med seboj niso nikoli bistveno razlikovale, praktično v grafu sploh ni opaziti razlik med njimi. Še največjo razliko v primerjavi s ceno aluminija je zabeležila cena zlitine 5083, katera ima tudi v zadnjem obdobju najvišjo ceno. Iz tega bi lahko sklepali, da je tudi cena te zlitine najvišja med tremi analiziranimi, vendar za polizdelke to ne velja, saj so le ti dodatno mehansko ali toplotno obdelani.

Zlitine serije 5000 utrjujemo mehansko, kar predstavlja manjši strošek kot za zlitine serije 6000, ki so dodatno toplotno obdelane, da dosežemo boljše mehanske lastnosti. K temu je treba dodati še trgovske marže, ki se razlikujejo med trgovci in šele tedaj imamo tudi prave prodajne cene, tudi za polizdelke, za podjetje Gopack.

Naša analiza potrjuje trditve trgovcev na predhodno opravljene poizvedbe, da na prodajno ceno zlitine ne vplivajo bistveno cene posameznih primesi ali delež posamezne primesi v zlitini, ampak zgolj cena čistega aluminija plus premija, ki pa se razlikuje glede na končno stanje zlitine in glede na marže posameznih trgovcev.

9 PRIMERJAVA MEHANSKIH IN FIZIKALNIH LASTNOSTI ALUMINIJEVIH ZLITIN 5754, 5083 IN 6082, IZRAČUNANIH S PROGRAMOM JMATPRO

9.1 Program JMatPro

JMatPro – Java based Materials Properties – je program, ki omogoča široko paleto izračunov različnih materialnih lastnosti zlitin, še posebej tistih zlitin, ki se uporabljajo v industrijski praksi. Uporaba programa nam omogoča izračun:

- stabilne in metastabilne faze ravnotežja,
- strjevanje, transformacije in lastnosti,
- mehanske lastnosti,
- termofizikalne in fizikalne lastnosti,
- fazne transformacije,
- kemijske lastnosti.

S programom lahko računamo lastnosti naslednjih vrst materialov:

- aluminijeve zlitine,
- magnezijeve zlitine,
- železove zlitine (splošna jekla, nerjaveča jekla, lito železo),
- titanove zlitine,
- nikljeve zlitine,
- kobaltove zlitine,
- cirkonijeve zlitine,
- zlitine za spajkanje.

Za posamezno skupino zlitin lahko s pomočjo programa JMatPro izračunamo različne lastnosti. Nekaj možnosti izračuna lastnosti za posamezne zlitine so predstavljene v tabeli 19. (Sente Software, 2011)

Tabela 19: Seznam faz, elementov in možnosti izračunov snovnih lastnosti s programom JMatPro

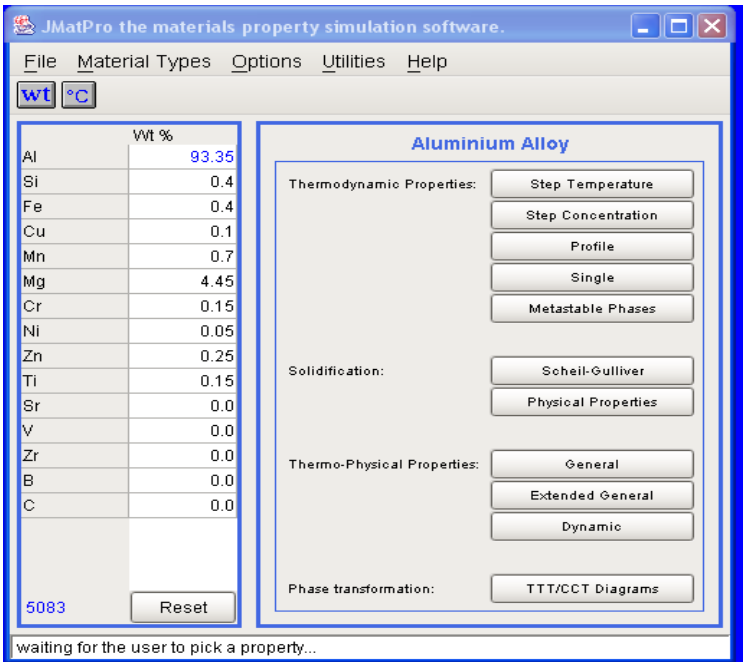
JMatPro		Al zlitine	Mg zlitine	Lito železo	Splošna jekla	Nerjavna jekla	Ni zlitine	Co zlitine	Ti zlitine	Zr zlitine	Zlitine za spajkanje
Faze	Temperaturne vrednosti	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Vrednosti koncentracije	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Metastabilne faze	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Fizikalne in termofizikalne lastnosti	Specifična toplota/entalpija	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Gostota/ Molski volumen	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Temperaturna razteznost	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Toplotna prevodnost	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Specifična (el.) upornost	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Površinska napetost	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Viskoznost / difuzija taline	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Poissonovo število	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Elastični / stržni / stisljivostni modul	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Strjevanje	Snovne in fizikalne lastnosti	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Ohlajevalne krivulje	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Trdnost litine	+		+							
Mehanske lastnosti	Trdnost / trdota				+	+	+		+		
	Napetostno - deformacijske krivulje				+	+	+		+		
	Meja lezenja				+	+	+	+	+		
	Lomna žilavost				+	+	+	+	+		
	Preizkus prekaljivosti (Jominy)				+						
Fazne transformacije	TTT / CCT diagram	+		+	+	+	+	+	+	+	
	Izotermne transformacije	+			+	+	+	+	+	+	
	Spremembe energije			+	+	+	+		+		
	Ohlajevalne krivulje				+	+			+		
	Nastanek martenzita				+	+			+		
	Notranje napetosti v martenzitu				+	+					

9.2 Računanje lastnosti aluminijevih zlitin s programom JMatPro

Za izračun lastnosti aluminijevih zlitin 5754, 5083 in 6082 smo uporabili program JMatPro 3.0, za katerega ima licenco Univerza v Novi Gorici. Ta program omogoča izračun:

- termodinamičnih lastnosti (toplotne vrednosti in vrednosti koncentracije pri določenih temperaturah, metastabilne faze),
- strjevalnih lastnosti (Scheil-Gulliver kalkulacije, strjevalne fizikalne lastnosti),
- termofizikalne lastnosti (splošne lastnosti, razširjene splošne lastnosti, dinamične lastnosti),
- fazne transformacije (TTT/CCT diagram). (Sente Software, 2011)

Pri naši analizi smo med seboj primerjali fizikalne lastnosti treh zlitin. Upoštevali smo srednje vrednosti deleža glavnih primesi posamezne zlitine. Za vsako lastnost smo analizirali tudi, kako vpliva sprememba deleža na posamezno aluminijevo zlitino. Za posamezno zlitino smo vnesli količino elementov v utežnih odstotkih, program pa je izračunal želeno lastnost. Kako je to videti na konkretnem primeru v programu prikazuje slika 27.



Slika 27: Okno za vnašanje in računanje lastnosti aluminijevih zlitin

9.3 Primerjava fizikalnih lastnosti aluminijevih zlitin 5754, 5083 in 6082

9.3.1 Primerjava gostote

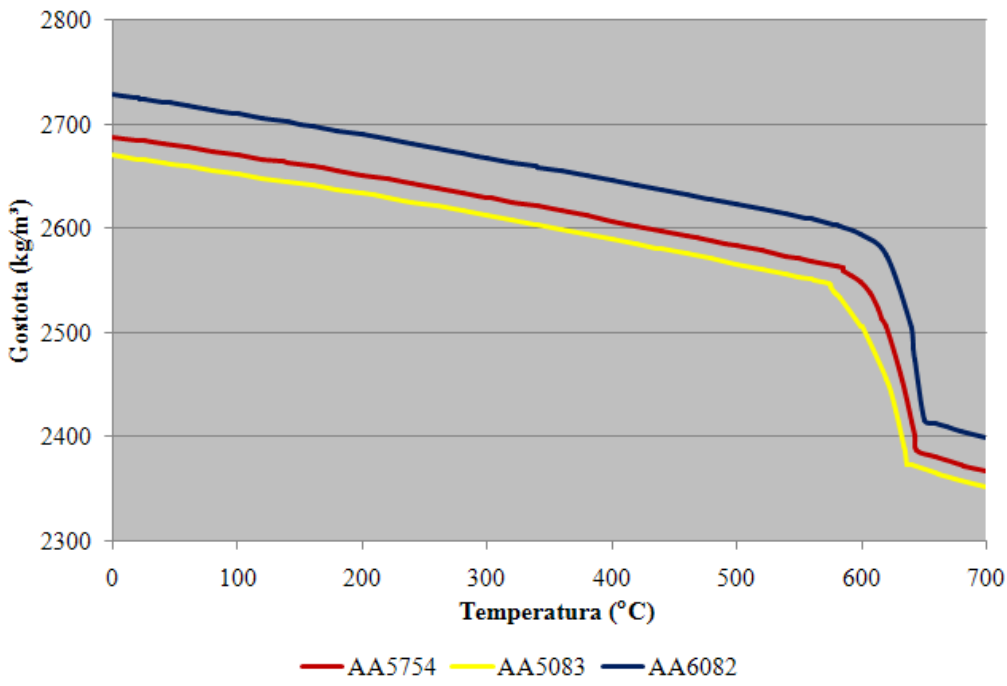
Gostota ρ je fizikalna količina, določena za homogena telesa, kot razmerje med maso m in prostornino telesa V.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad kg \;\; m^3, g \;\; cm^3 \tag{1}$$

Gostote posameznih elementov, ki sestavljajo aluminijeve zlitine, so predstavljene v spodnji tabeli 20.

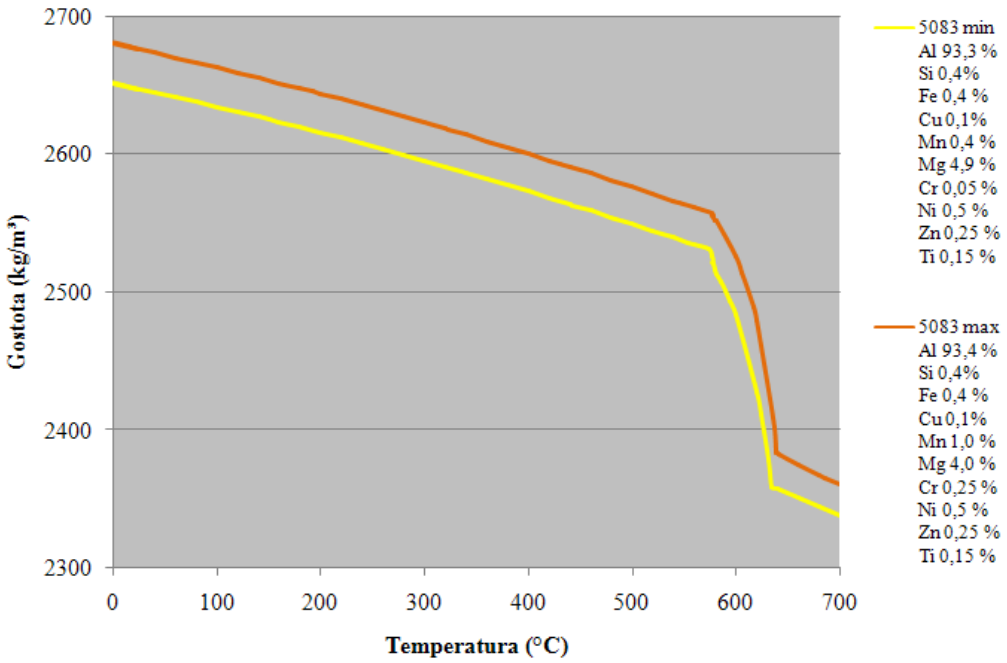
Tabela 20: Gostote elementov aluminijevih zlitin

Material	gostota (kg/m³)	Material	gostota (kg/m³)
Aluminij	2700	Magnezij	1740
Silicij	2330	Krom	7200
Železo	7870	Nikelj	8900
Baker	8960	Cink	7049
Mangan	7325	Titan	4507



Slika 28: Primerjava gostote Al zlitin 5754, 5083 in 6082

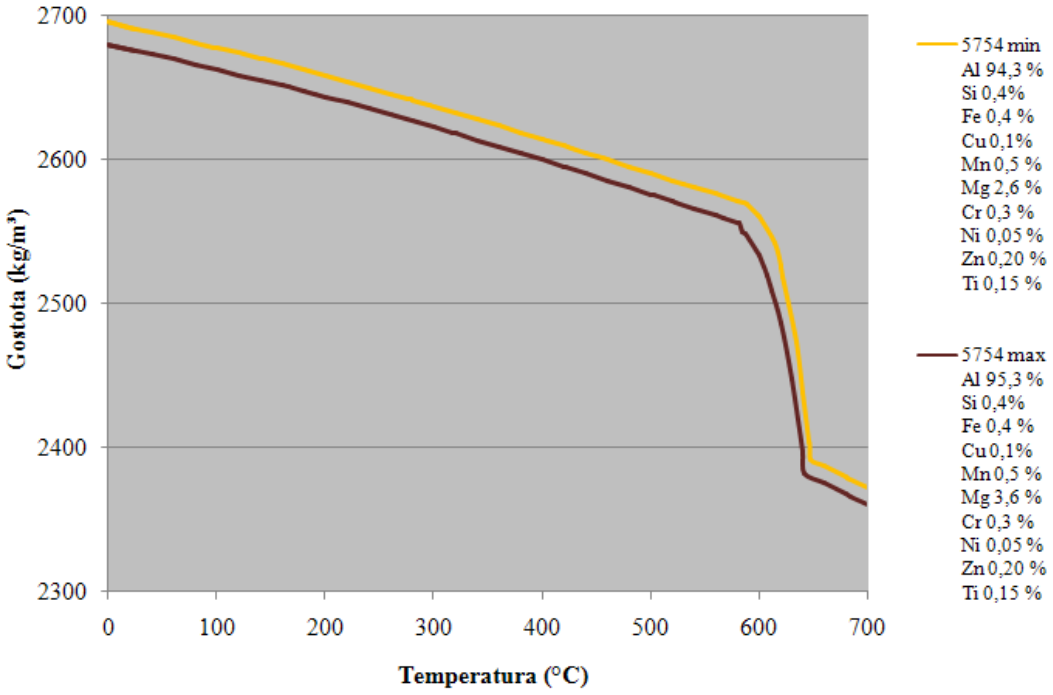
Iz slike 28 lahko vidimo, da se gostote posameznih zlitin med seboj enakomerno razlikujejo po vsem temperaturnem območju in so odvisne od deleža posameznih primesi v zlitini. Gostota pri normalnem ohlajanju konstantno narašča do točke, ko prične zlitina prehajati iz tekočega v trdno stanje. Tu se gostota nekoliko hitreje poveča, ko pa preide v trdno stanje, pa ponovno nekoliko počasneje in konstantno narašča. Že v tabeli 20 lahko vidimo, da ima večina materialov, ki sestavljajo aluminijeve zlitine, višjo gostoto od aluminija, razen magnezija, kateri ima za približno 12 % nižjo gostoto. Posledično ima izmed analiziranih zlitin najnižjo gostoto pri 20 °C zlitina 5083 (2665 kg/m³), katera ima največji delež magnezija, medtem ko ima zlitina 6082 najvišjo gostoto (2725 kg/m³). Za prvo primerjavo gostot smo upoštevali srednjo vrednost glavnih primesi, ko pa smo želeli spoznati, kolikšna je lahko maksimalna razlika v gostoti posamezne aluminijeve zlitine, smo za analizo upoštevali mejne vrednosti deleža glavnih primesi. Pri tem smo spoznali, da je lahko razlika največja pri zlitini 5083 (slika 29) in sicer do 30 kg/m³ pri temperaturi zlitine 20 °C.



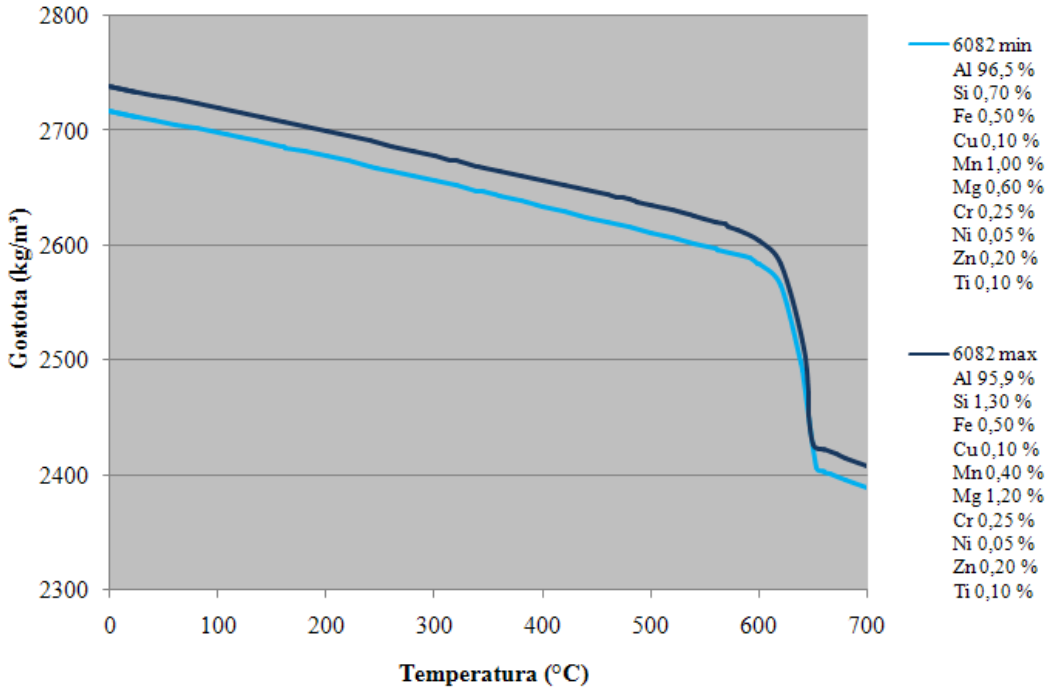
Slika 29: Razlika gostote Al zlitine 5083 glede na delež elementov v zlitini

Razlika pri ostalih dveh aluminijevih zlitinah je nekoliko manjša in sicer 14 kg/m³ pri zlitini 5754 (slika 30), in 22 kg/m^3 pri zlitini 6082 (slika 31). To potrjuje prejšnjo trditev, da ima največji vpliv na gostoto zlitin serije 5000 delež magnezija v zlitini,

kateri zmanjšuje skupno gostoto zlitine. Pri zlitini 6082 je delež magnezija manjši, zato je skupna gostota zlitine nekoliko večja od gostote čistega aluminija.



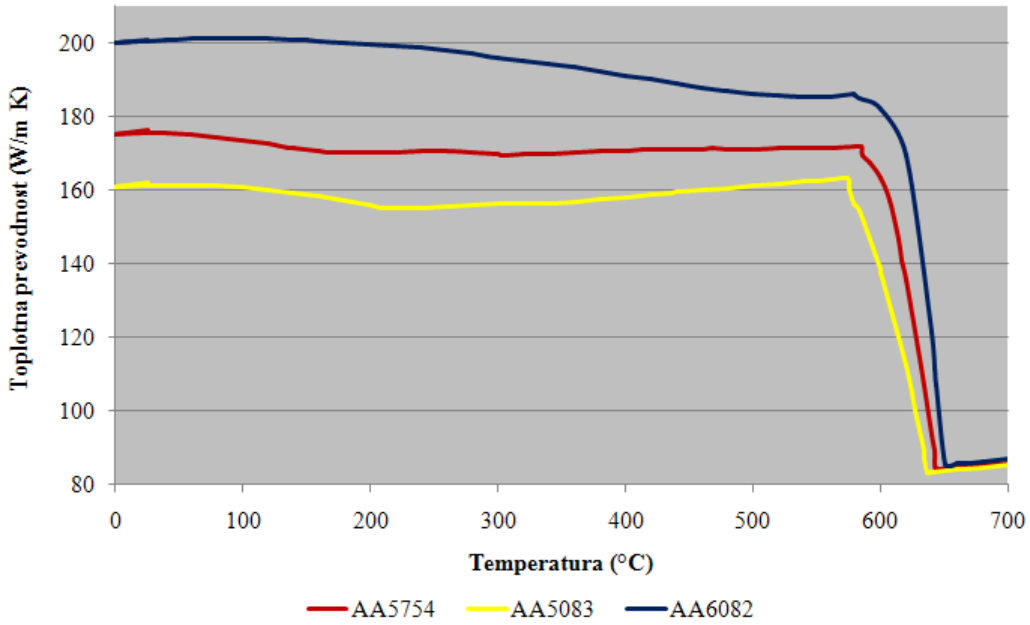
Slika 30: Razlika gostote Al zlitine 5754 glede na delež elementov v zlitini



Slika 31: Razlika gostote Al zlitine 6082 glede na delež elementov v zlitini

9.3.2 Primerjava toplotne prevodnosti

Toplotna prevodnost λ je snovna lastnost, pomembna pri prevajanju toplote in predstavlja sorazmerni koeficient med gostoto toplotnega toka in gradientom temperature. Merimo jo z enoto W/m K. Toplotna prevodnost snovi je količina, ki pove koliko toplote lahko preide skozi snov s presekom 1 m^2 v dolžini 1 m v času 1 s pri temperaturni razliki 1 °K.

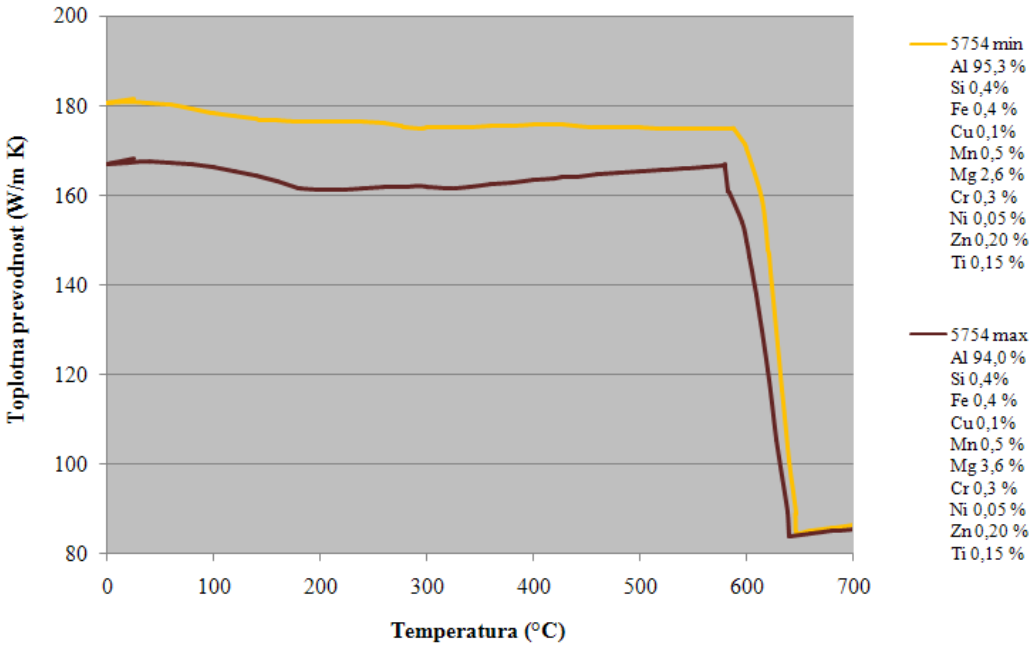


Slika 32: Primerjava toplotne prevodnosti Al zlitin 5754, 5083 in 6082

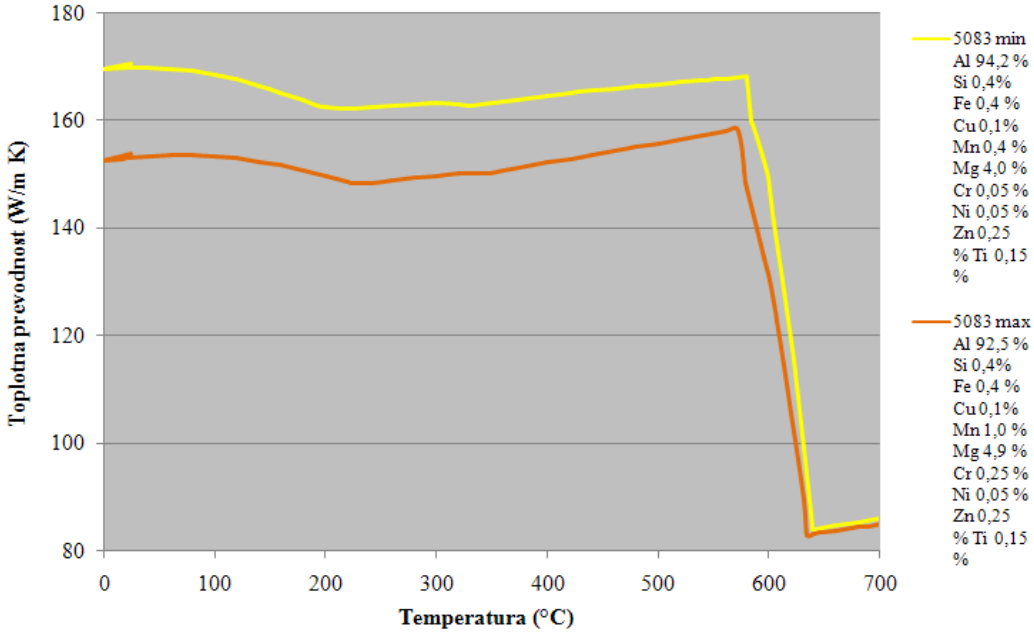
Iz slike 32 lahko vidimo, da ima največjo toplotno prevodnost pri temperaturi 20 °C izmed analiziranih zlitin, zlitina 6082 (202 W/m K), medtem ko imata zlitini 5754 (175 W/m K) in 5083 (161 W/m K) nekoliko nižjo prevodnost. Toplotna prevodnost zlitin serije 5000 se z višanjem temperature giblje enakomerno zaradi podobne sestave. Obema se prevodnost najprej rahlo zniža, nato pa ostaja konstantna,oziroma rahlo naraste do prehoda trdne snovi v kapljevino, kjer prevodnost za vse tri zlitine skokovito upade. Toplotna prevodnost zlitine 6082 do temperature 80 °C malenkostno naraste, nato pa za razliko od ostalih dveh zlitin pada do začetne talilne temperature.

Koliko vpliva sprememba deleža glavnih primesi na toplotno prevodnost zlitine, nam prikazujeta slika 33 in slika 34 na primeru zlitin 5754 in 5084. Iz obeh slik lahko

vidimo, da je toplotna prevodnost zlitine večja, ko je tudi delež aluminija v zlitini večji. Primesi in nečistoče zlitini znižujejo prevodnost. Prevodnost čistih kovin z rastočo temperaturo praviloma pada, zlitinam pa prevodnost narašča.



Slika 33: Razlika toplotne prevodnosti glede na delež primesi za Al zlitino 5754



Slika 34: Razlika toplotne prevodnosti glede na delež primesi za Al zlitino 5083

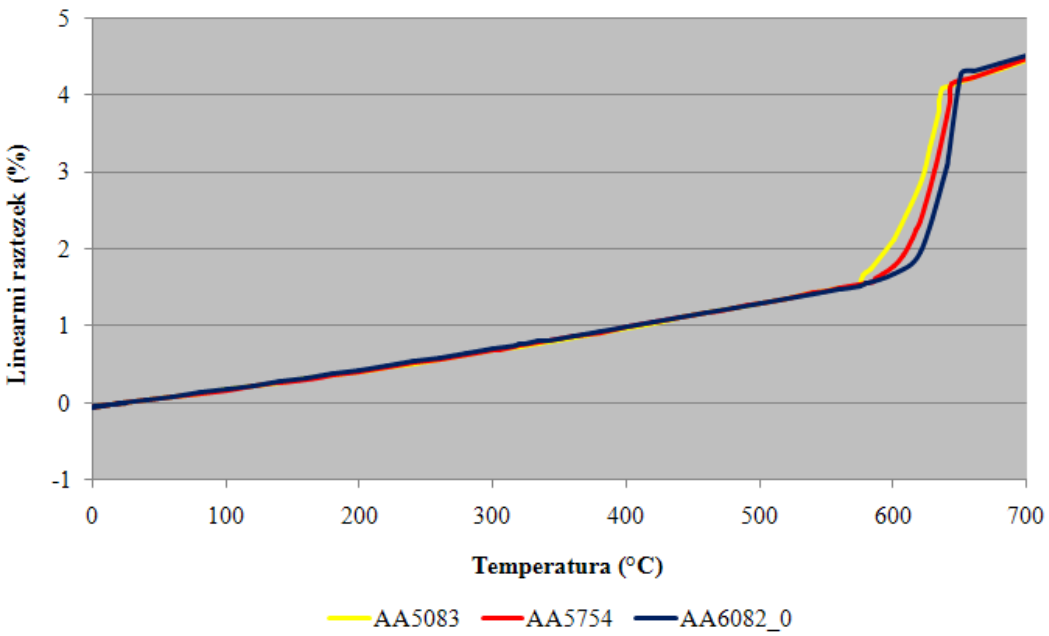
9.3.3 Primerjava linearnega temperaturnega raztezka

Z dovajanjem toplote materialom se delci pričnejo hitreje gibati (kinetična energija se veča). To povzroči, da se pričnejo materiali raztezati. Linearni temperaturni raztezek zaradi povišanja temperature za dT je

$$dL = \alpha L_0 dT \tag{2}$$

kjer sta: α – linearna temperaturna razteznost (K^{-1}), L_0 – prvotna dolžina

Spremembo dolžine lahko zapišemo tudi kot: $\frac{dL}{L} = \alpha_L dT$ …… (%)



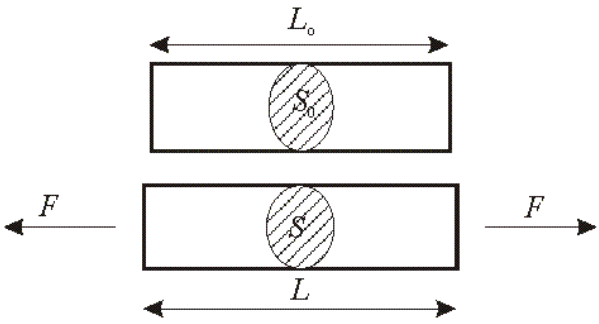
Slika 35: Primerjava linearnega raztezka Al zlitin 5754, 5083 in 6082

Na sliki 35 vidimo, da je linearni temperaturni koeficient za vse tri zlitine enak, ne glede na sestavo zlitin. Pri 100 °C je raztezek 0,17 %, pri 200 °C 0,42% in tako z višjo temperaturo raztezek konstantno narašča do talilnega območja posamezne zlitine. V talilnem območju s temperaturo raztezek hitro naraste, nato pa raste ponovno počasneje in konstantno.

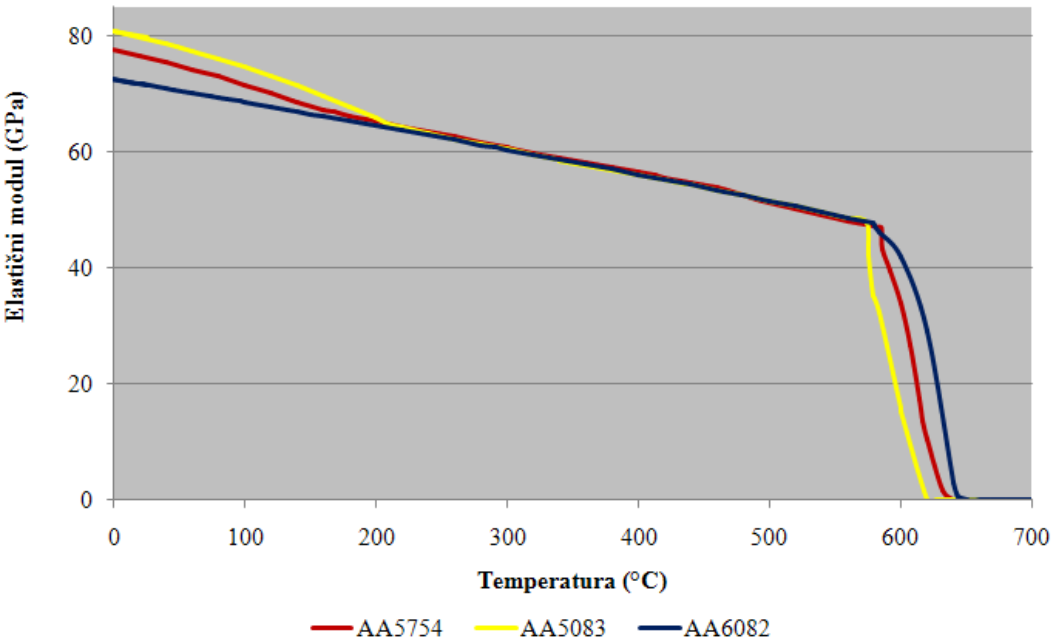
9.3.4 Primerjava modula elastičnosti

Modul elastičnosti E (Youngov modul) je razmerje med razliko dveh napetosti in ustreznim raztezkom v elastičnem območju. Pri tem je ε relativni raztezek in σ natezna napetost. Čim manjši je modul elastičnosti, tem bolj je material elastičen. Določanje elastične deformacije prikazuje slika 36.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F\, l_0}{S_0 \Delta l} \; \dots\dots\dots\dots\dots\dots \; Pa = \frac{N}{m^2} \tag{3}$$



Slika 36: Določanje elastične deformacije (Wikipedija, 2012)

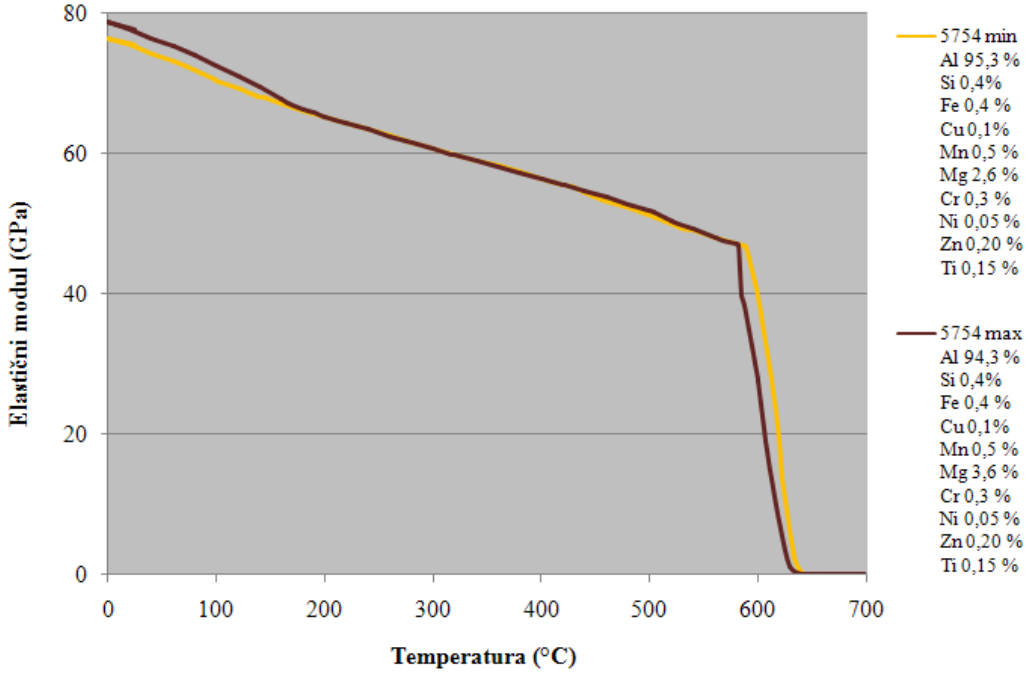


Slika 37: Primerjava elastičnega modula Al zlitin 5754, 5083 in 6082

Iz slike 37 lahko vidimo, da imajo vse tri analizirane zlitine praktično enak elastični modul vse do nastanka vmesne spojine βAl_3Mg_2, katera je zalo trda, hkrati pa zelo

krhka, kar povečuje modul elastičnosti in zmanjšuje elastičnost zlitine. Topnost v trdnem stanju Mg v Al narašča s temperaturo in doseže maksimalno vrednost 17,4 mas.% pri evtektični temperaturi 450 °C. Pri zlitini 5083, ki ima delež Mg (do 4,9 %) prične vmesna spojina βAl_3Mg_2 nastajati pri temperaturi 210 °C in doseže 7,32 mas.% pri temperaturi 25 °C. Od tu izhaja odmik modula elastičnosti od zlitine 6082, ki je viden v sliki 37. Pri zlitina 5754 prične vmesna spojina βAl_3Mg_2 nastajati pri temperaturi okrog 136 °C in doseže 3,4 mas. % pri temperaturi 25 °C, zato je tudi modul elastičnosti nekoliko nižji (77 GPa) kot pri zlitini 5082 (80 GPa) in višji od zlitine 6082 (70 GPa).

Slika 38 prikazuje koliko se spremeni modul elastičnost pri spremembi deleža magnezija v zlitini 5754. Kot lahko vidimo se edina sprememba zgodi ob nastanku βAl_3Mg_2, pa tudi ta je zelo majhna.

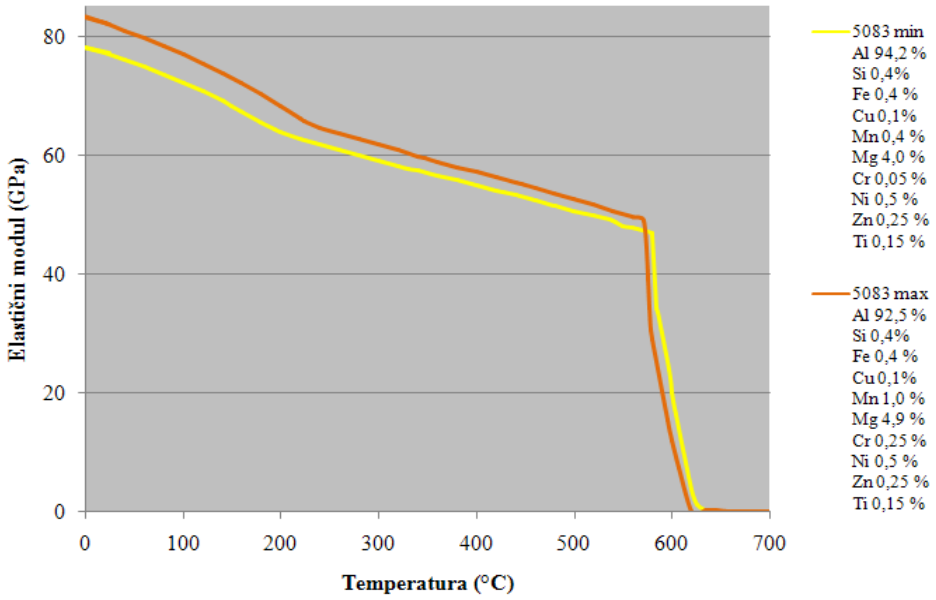


Slika 38: Razlika v elastičnem modulu glede na delež primesi za Al zlitino 5754

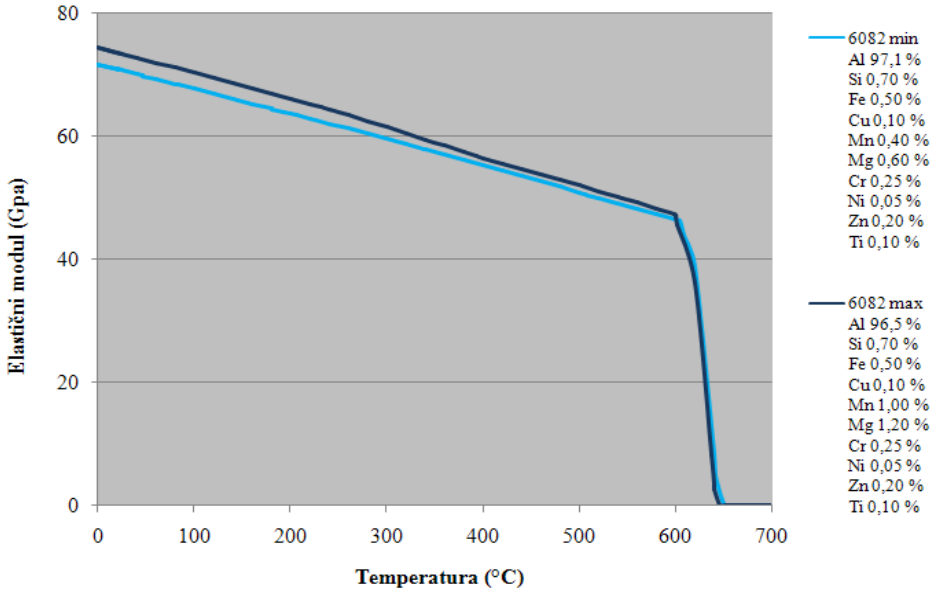
Slika 39 za primer zlitine 5083 dokazuje, da nekoliko večjo spremembo dosežemo s spreminjanjem ostalih primesi. S spreminjanjem deleža mangana in kroma v zlitini se tudi razlika v elastičnem modulu zlitine nekoliko poveča.

Za zlitino 6082 smo z analizo različnih razmerji deležev posameznih primesi poiskali največjo razliko med maksimalnim in minimalnim elastičnim modulom zlitine.

Izkazalo se je, da ko je delež vseh treh glavnih primesi minimalen, dosežemo najmanjši modul elastičnosti zlitine, ko pa deleža mangana (1 %) in magnezija (1,2 %) povečamo do maksimalne vrednosti, ob tem pa ostaja delež silicija (0,7 %) nespremenjen, dobimo maksimalen modul elastičnosti zlitine. Razlika v posameznih primerih, prikazana na sliki 40, je minimalna (2,7 GPa).



Slika 39: Razlika v elastičnem modulu glede na delež primesi za Al zlitino 5083

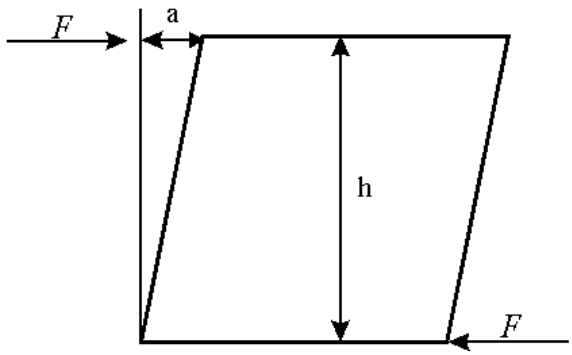


Slika 40: Razlika v elastičnem modulu glede na delež primesi za Al zlitino 6082

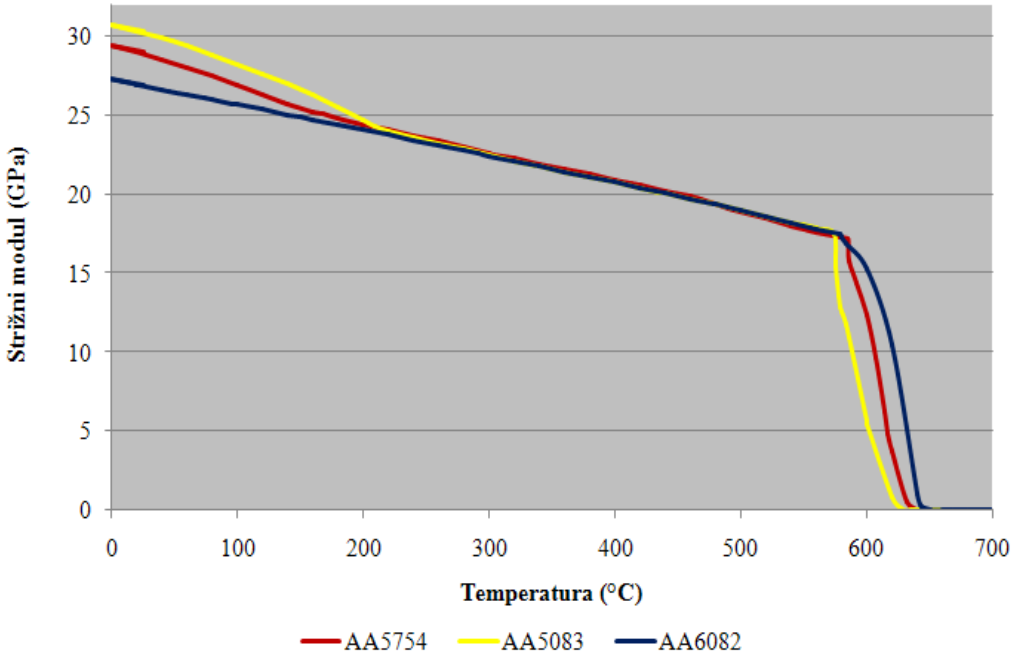
9.3.5 Primerjava strižnega modula

Strižni modul (G) je fizikalna količina, opredeljena kot razmerje med strižno napetostjo τ in strižno deformacijo (γ). Predstavlja merilo odpornosti telesa proti spremembi oblike pri strižni deformaciji. Določanje strižne deformacije prikazuje slika 41.

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad Pa = \frac{N}{m^2} \tag{4}$$



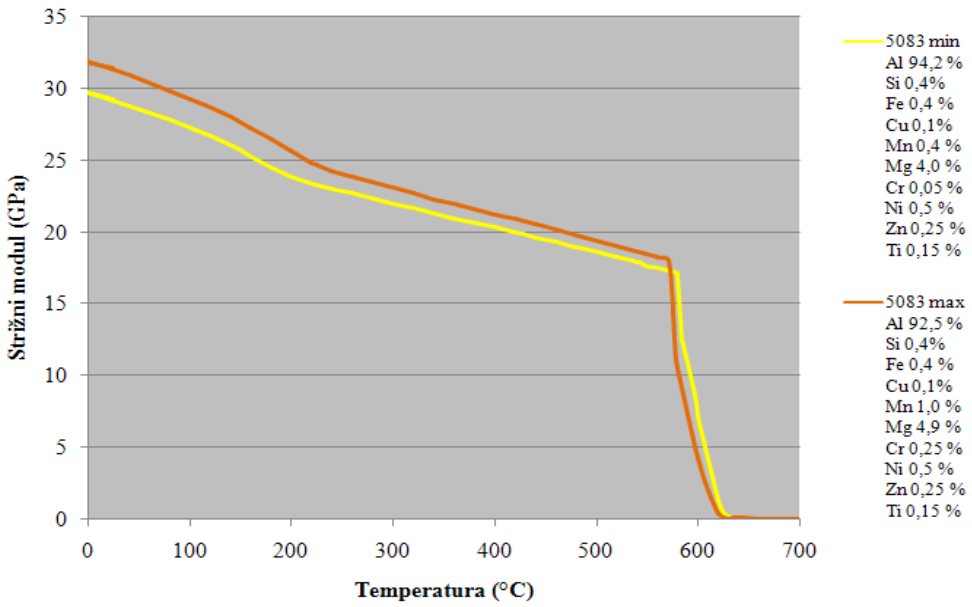
Slika 41: Določanje strižne deformacije (Wikipedija, 2012)



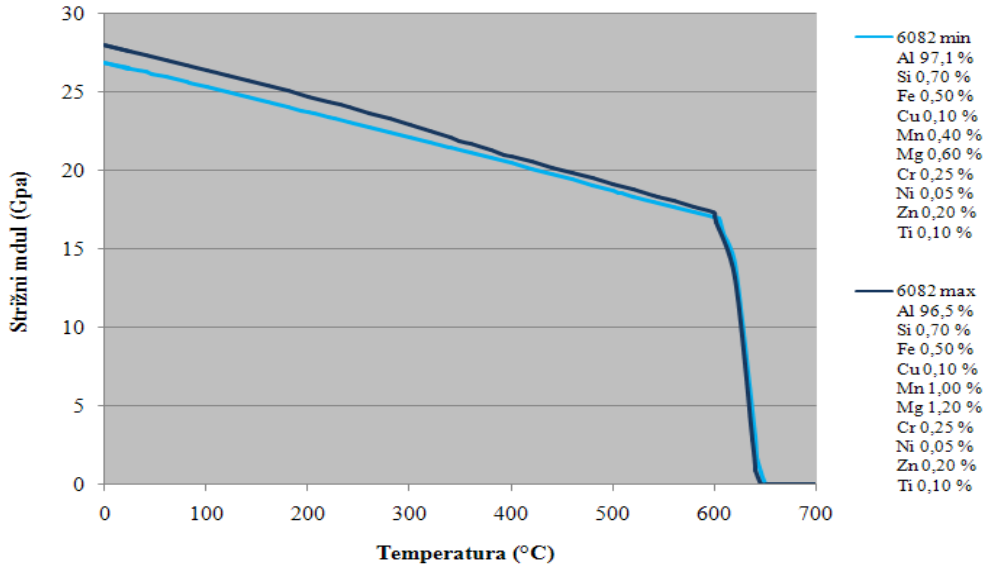
Slika 42: Primerjava strižnega modula Al zlitin 5754, 5083 in 6082

Že ob pogledu na sliko 42 lahko vidimo, da je razmerje strižni modul, temperatura praktično enako kot pri elastičnem modulu (slika 37). Tudi strižni modul analiziranih

zlitin se nekoliko razlikuje v talilnem območju, nato pa je za vse tri zlitine enak in se enakomerno dviguje s padanjem temperature vse do nastanka krhke spojine βAl_3Mg_2. Kot smo že spoznali, ima zlitina 5083 največji delež magnezija, zato se tu najprej pojavi βAl_3Mg_2, posledično tudi strižni modul prične pri temp okrog 210 °C nekoliko bolj naraščati v primerjavi z ostalima dvema zlitinama. Pri temperaturi 25 °C ima zlitina 5083 najvišji modul elastičnosti 30,25 GPa, zlitina 5754 28,99 GPa in najnižjega zlitina 6082 26,85 GPa.



Slika 43: Razlika v strižnem modulu glede na delež primesi za Al zlitino 5083

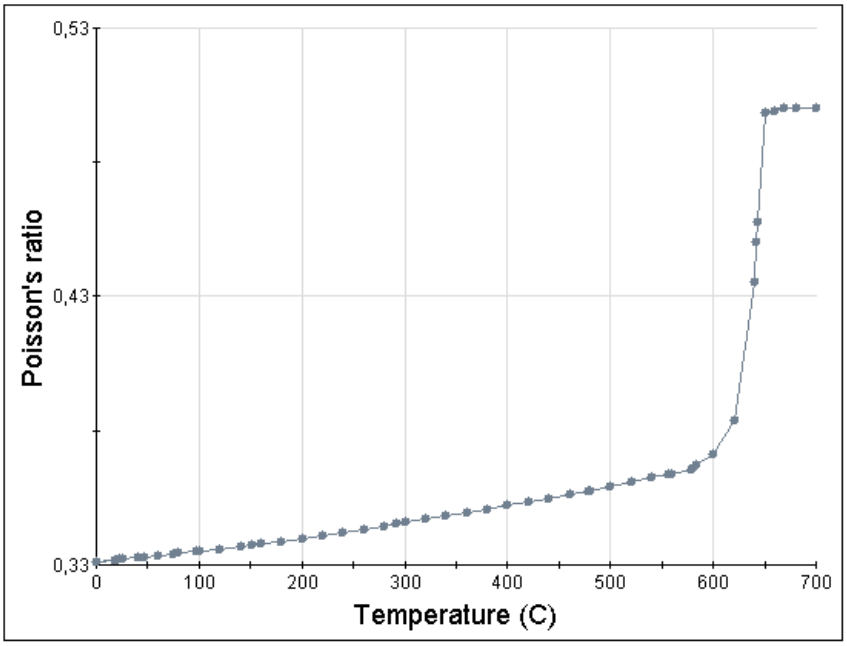


Slika 44: Razlika v strižnem modulu glede na delež primesi za Al zlitino 6082

Tudi sliki 43 in 44 nam potrjujeta ugotovitev, da se strižni modul z nižanjem temperature povečuje podobno, kot modul elastičnosti, ob enakem deležu glavnih primesi v posamezni zlitini. Razmerje med modulom elastičnosti in strižnim modulom podaja Poissonovo število. Definirano je kot:

$$\mu = \frac{E}{2G} - 1 \tag{5}$$

kjer je E elastični modul, Gstrižni modul in μ Poissonovo število. Tudi Poissonovo število lahko izračunamo s pomočjo programa JMatPro in se spreminja glede na sestavo aluminijeve zlitine, vendar so razlike, vsaj v našem primeru, zanemarljive. Poissonovo število za zlitino 6082 je pri 25 °C okrog 0,33. S temperaturo tudi Poissonovo število rahlo narašča do talilnega območja, kjer je skok nekoliko večji. Slika 45 prikazuje spreminjanje Poissonovega število s spremembo temperature za zlitino 6082.



Slika 45: Poissonovo število za zlitino 6802

10 ZAKLJUČEK

V diplomskem delu smo najprej spoznali glavne lastnosti in načine pridobivanje čistega aluminija. Osnovna surovina za pridobivanje aluminija je boksit, iz katerega se najprej loči aluminijev oksid, nato pa s postopkom elektrolize pridobimo primarni aluminij. Proizvodnja sekundarnega aluminija temelji na reciklaži novih in starih odpadkov in nadaljnji predelavi le teh z različnimi postopki. Velika prednost sekundarnega aluminija je nižji strošek pridobivanja, žal pa zaradi raznih nečistoč ni primeren za nadaljnje pridobivanj vseh aluminijevih zlitin.

Aluminijeve zlitine, glede na sestavo in delež legirnih elementov, ločimo na več skupin. Od tega je odvisna tudi nadaljnja možnost toplotne ali mehanske obdelave, s čimer spreminjamo mehanske in tehnične lastnosti posamezne zlitine. Analizirali smo kvaliteto, uporabnost in ceno treh aluminijevih zlitin, katere največ uporabljajo v podjetju Gopack. Pri primerjavi borzne cene aluminija in nabavne cene zlitine smo spoznali, da sta nabavno ceno zlitine pred gospodarsko krizo določala predvsem ponudba in povpraševanje, medtem ko se je po krizi nabavna cena zlitine za podjetje gibala bolj skladno z borzno ceno aluminija. Na borzno ceno aluminija vplivajo tudi stroški pridobivanja, kjer igra glavno vlogo cena nafte in gibanje tečaja dolarja, s katerim se na borzi trguje.

Pri analizi vplivala cene in deleža legirnih elementov na aluminijeve zlitine 5754, 5083 in 6082, smo spoznali, da je glavni element, ki vpliva na končno ceno zlitine cena čistega aluminija. Manjši vpliv ima še cena in delež magnezija, kateri je glavni legirni element za zlitine serije 5000. Delež ostalih elementov na ceno zlitine bistveno ne vpliva, kar smo spoznali tudi s primerjavo cen za obdobje med letoma 2006 in 2011.

Kolikšen je vpliv legirnih elementov in deleža posameznega elementa na zlitino pa smo spoznali s programom JMatPro. Primerjali smo fizikalne lastnosti in spoznali, da se zlitine med seboj najbolj razlikujejo v gostoti in toplotni prevodnosti, kjer so vrednosti zlitine 6082 višje od ostalih dveh zlitin. Linearni temperaturni raztezek je praktično enak za vse tri zlitine, medtem ko sta elastični in strižni modul višja pri zlitinah 5754 in 5083, predvsem zaradi nastanka vmesne spojine βAl_3Mg_2. S spreminjanjem deležev legirnih elementov, dosežemo največje razlike pri lastnostih

zlitine v zlitini 5083, kar je posledica največjega deleža magnezija v zlitini. Prav magnezij pa je tisti element, ki pri analiziranih zlitinah vpliva na vrsto dodatnega utrjevanja in spreminjanja mehanskih lastnosti zlitin. V prihodnosti bi bilo smiselno raziskati tudi te lastnosti, kar pa nam omogočajo le novejše različice programa JMatPro.

Ugotovitve, ki izhajajo iz tega diplomskega dela, bodo koristile pri nadaljnji nabavi aluminijevih zlitin za potrebe podjetja Gopack, saj se je brez dobrega poznavanja surovine težje odločati za nabavo primerne surovine, tako po kakovosti, kot po ceni, s tem pa dosego našega osnovnega cilja, nižanja stroškov nabave aluminijevih zlitin.

11 LITERATURA

aluMATTER. Prosto dostopna spletna stran o znanosti in tehnologiji aluminija. Pridobljeno 9. 10. 2011 s svetovnega spleta: http://www.alumatter.info

Aluminium Intelligence report (2011) Laredo, Texas, USA: Harbor intelligence

Alusuisse distribuzione (1992). (prodajni katalog).Bologna

Altenpohl, D.E. (1998). Aluminum: Technology, Applications and Environment: A Profile of a Modern Metal Aluminum from Within. Washington: Aluminium Association

ECB, European Central Bank, Pridobljeno 2. 12. 2011 s svetovnega spleta: http://www.ecb.int/stats/exchange/eurofxref/html/index.en.html

EIA, U.S. Energy Information Administration, Pridobljeno 2. 12. 2011 s svetovnega spleta:
http://www.eia.gov/dnav/pet/hist/leafhandler.ashx?n=PET&s=WTOTWORLD&f=W

ELES Letno poročilo 2009. Pridobljeno 25. 2. 2012 s svetovnega spleta: http://www.eles.si/files/userfiles/SLO/O_Elesu7Letna_porocla/ELES_Letno-porocilo-2009.pdf

Gopack, d. o. o. Pridobljeno 20. 10. 2011 s svetovnega spleta: http://www.gopack.si

HARBOR Aluminum. Pridobljeno 29. 11. 2011 s svetovnega spleta: http://www.harboraluminum.com/service.php

Hatch, J.E. (1984). Aluminium: Properties and Physical Metallurgy. Ohio: ASM International

Schmitz, C. (2006). Handbook of aluminium recycling. Essen: Vulkan

International Aluminium Institute (statistika cen kovin). Pridobljeno 9. 10. 2011 s svetovnega spleta: http://www.world-aluminium.org/Statistics

Interno gradivo (2010). podjetja Gopack, Solkan.

iStockAnalyst (zbirka orodij za investicijske skupnosti). Pridobljeno 27. 10. 2011 s svetovnega spleta: http:/www.istockanalyst.com/article/viewarticle/articleid/4859767

London Metal Exchange (Londonska borza kovin), Market data. Pridobljeno 9. 10. 2011 s svetovnega spleta: http://www.lme.com/dataprices.asp

London Metal Exchange (Londonska borza kovin), About the LME. Pridobljeno 5. 4. 2012 s svetovnega spleta: http://www.lme.com/who.asp

Metalurški priročnik (1972). Ljubljana: Tehniška založba Slovenije.

Metal Pages – daily news, analysis, information and prices (borza kovin). Pridobljeno 9. 10. 2011 s svetovnega spleta: http://www.metal-pages.com/

OEA, Organisation of the European Aluminium Recycling Industry. Pridobljeno 25. 1. 2012 s svetovnega spleta:
http://www.oea-alurecycling.org/de/verband/oea_eaa_aluminium_recycling.pdf

Sente Software Ltd. (program JmatPro). Pridobljeno 9. 10. 2011 s svetovnega spleta: http://www.sentesoftware.co.uk/downloads/other-documents.aspx

Westmetall. Pridobljeno 29. 11. 2011 s svetovnega spleta:
http://www.westmetall.de/en/markdaten.php?action=show_table_average&field=LME_Al_cash

Wikipedija. Pridobljeno 11. 9. 2011 s svetovnega spleta:
http://sl.wikipedia.org/wiki/Aluminij

World Aluminium, International Aluminium Institute. Pridobljeno 30. 11. 2011 s svetovnega spleta: http://www.world-aluminium.org/statistics/#data