

VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA

MARIBOR

**IZBOLJŠAVA VALJANJA TANKE ALU FOLIJE
NA VALJARNI B5**

Kandidat: Matic Lažeta

Vrsta študija: študent izrednega študija

Študijski program: Strojništvo

Mentor – predavatelj: mag. Jože Ravničan, univ. dipl. inž. str.

Mentor v podjetju: Miha Kapun, univ. dipl. inž. str.

Lektorica: Jasmina Vajda Vrhunec, prof. slov.

Maribor, 2025

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani Matic Lažeta sem avtor diplomskega dela z naslovom Izboljšava valjanja tanke alu folije na valjarni B5, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Jožeta Ravničana.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo izključno rezultat mojega dela,
- sem poskrbel, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oz. citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia Maribor,
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del oz. misli kot moje lastne – kaznivo po Zakonu o avtorski in sorodnih pravicah (Uradni list RS, št. 16/07 – uradno prečiščeno besedilo, 68/08, 110/13, 56/15 in 63/16 – ZKUASP); prekršek pa podleže tudi ukrepom Višje strokovne šole Academia Maribor skladno z njenimi pravili,
- skladno z 32.a členom ZASP dovoljujem Višji strokovni šoli Academia Maribor objavo diplomskega dela na spletnem portalu šole.

Slovenska Bistrica, maj 2025

Podpis študenta:

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem svojemu mentorju **mag. Jožetu Ravničanu, univ. dipl. inž. str.**, za strokovno vodenje, podporo in dragocene nasvete, ki so mi bili v veliko pomoč pri izdelavi diplomskega dela.

Posebno zahvalo namenjam tudi mentorju v podjetju **Mihi Kapunu, univ. dipl. ing. str.**, za nesebično strokovno pomoč, pridobivanje potrebnih podatkov ter nenehno spodbudo in motivacijo, ki sem ju bil deležen skozi celoten proces.

Neizmerno sem hvaležen družini in puncu za njihovo razumevanje, potrpljenje in neomajno podporo, ki so mi jo izkazovali v času študija. Brez njihove pomoči in zaupanja vame bi bil ta cilj težje dosegljiv.

Posebno zahvalo namenjam tudi podjetju **Impol FT, d. o. o.**, iz Slovenske Bistrice, ki mi je omogočilo dostop do ključnih virov in podatkov ter mi s svojo pripravljenostjo pomagalo pri realizaciji raziskovalnih ciljev.

POVZETEK

Izboljšave delovnega procesa so ključnega pomena za nenehno zagotavljanje kakovosti izdelkov, še posebej pri procesih, kot je valjanje. Pri valjanju se material preoblikuje s pomočjo delovnega stroja – valjarne, ki s svojo silo in natančno nastavitvijo valjev preoblikuje material. Izboljšave so nujne zaradi številnih dejavnikov, ki vplivajo na kakovost materiala. Prepoznavanje teh dejavnikov je bistveno, saj lahko z njihovo odpravo dosežemo boljši izkoristek strojev in zmanjšamo poškodbe materiala v procesu. Prav tako je treba identificirati ostale ključne dejavnike, ki vplivajo na končno kakovost materiala, in določiti kritične točke, kjer pogosto prihaja do poškodb ali nepravilnosti. Na podlagi analiz zbranih podatkov je mogoče poiskati optimalne rešitve za izboljšanje.

Delovni proces na valjarni vključuje več korakov, zato je natančno zbiranje podatkov nepogrešljivo. S pomočjo sodobne tehnologije se številni podatki beležijo samodejno. Z analizo odstopanj in prilagoditvijo tehnoloških parametrov je mogoče izboljšati kakovost izdelkov in zmanjšati pomanjkljivosti. Pomembno je, da so tehnološki parametri čim bolj usklajeni z idealnimi vrednostmi, saj minimalna odstopanja močno vplivajo na kakovost končnega izdelka. Pri izdelavi folij sta doslednost in natančno spremljanje procesnih parametrov še posebej pomembna, saj vsak odmik lahko povzroči večje pomanjkljivosti.

Nadaljnje operacije, kot je prenos materiala na druge proizvodne postopke, imajo prav tako velik vpliv na kakovost. Prenosi predstavljajo možnost poškodb zaradi delovne opreme ali nepravilnih ravnanj. Zaključna faza izdelave, ki vključuje razrez in pakiranje materiala, zahteva posebno pozornost. Med tem postopkom je treba pregledati in izločiti nekakovostne ali poškodovane kolobarje, da zagotovimo najvišjo kakovost za kupca. Z zmanjšanjem poškodb in nepravilnosti v vseh fazah procesa je mogoče znižati količino izmeta, kar neposredno zmanjšuje stroške podjetja.

Sistematično spremljanje delovnega procesa omogoča hitrejše izvajanje izboljšav in odpravo težav. Natančno zbiranje podatkov in njihova analiza sta zato ključnega pomena za razvoj procesov, zmanjšanje stroškov in doseganje visoke kakovosti izdelkov. S skrbnim načrtovanjem in uvajanjem sprememb je mogoče povečati učinkovitost proizvodnje in zadovoljstvo kupcev.

Ključne besede: *valjarna, tehnološki parametri, aluminij, proces.*

ABSTRACT

IMPROVEMENT OF THIN ALUMINUM FOIL ROLLING ON THE B5 MILL

Improvements in the production process are essential for consistently ensuring product quality, especially in processes such as rolling. During rolling, the material is reshaped using a rolling mill, where the machine's force and precise adjustment of the rolls transform the material. Enhancements are necessary due to numerous factors that influence the quality of the material. Identifying these factors is crucial, as their elimination can lead to better machine utilization and reduced material damage during the process. It is equally important to recognize other key elements affecting the final material quality and to determine critical points where damage or irregularities frequently occur. Based on the analysis of collected data, optimal solutions for improvement can be identified.

The rolling process involves multiple steps, making accurate data collection indispensable. With the help of modern technology, many parameters are recorded automatically. By analyzing deviations and adjusting technological parameters, it is possible to improve product quality and minimize defects. Ensuring that technological parameters are as close as possible to ideal values is critical, as even minimal deviations can significantly impact the quality of the final product. In foil production, consistency and precise monitoring of process parameters are especially important, as any deviation can lead to substantial defects.

Subsequent operations, such as transferring material to other production stages, also have a significant impact on quality. These transfers introduce the potential for damage caused by handling equipment or improper procedures. The final stage of production, which includes cutting and packaging the material, requires special attention. During this phase, it is necessary to inspect and remove substandard or damaged coils to ensure the highest quality for the customer. By reducing damage and irregularities at all stages of the process, the amount of scrap can be minimized, directly reducing company costs.

Systematic monitoring of the production process allows for faster implementation of improvements and problem resolution. Precise data collection and analysis are therefore critical for process development, cost reduction, and achieving high product quality. With careful planning and the introduction of changes, production efficiency can be increased, along with customer satisfaction.

Keywords: *rolling mill, technological parameters, aluminum, process.*

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	8
1.1	OPIS PODROČJA IN OPREDELITEV PROBLEMA	10
1.2	NAMEN, CILJI IN OSNOVNE TRDITVE	11
1.3	PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE	12
1.4	UPORABLJENE RAZISKOVALNE METODE	12
2	PREDSTAVITEV PODJETJA IMPOL.....	13
3	TEHNOLOGIJA HLADNEGA VALJANJA	17
4	FOLIJSKA VALJARNA B5	19
5	IZBOLJŠAVA PROCESA NA HLADNI VALJARNI	22
5.1	PROCESNI PARAMETRI.....	22
5.2	V-MARK	33
5.3	ADITIVI	34
5.4	PRŠILNE ŠOBE.....	39
5.5	VZORČENJE	45
5.5.1	<i>Kontrola debeline aluminijaste folije</i>	<i>47</i>
5.6	DIGITALIZACIJA IN AVTOMATIZACIJA PROCESA	50
6	TRAJNOST.....	52
7	SKLEP	54
8	VIRI	56

KAZALO SLIK

SLIKA 1: VALJARNA B5.....	21
SLIKA 2: VALJARNA B5.....	21
SLIKA 3: TOK TOPLOTE MED VALJANJEM	24
SLIKA 4: TOK TOPLOTE MED VROČIM VALJANJEM.....	25
SLIKA 5: TOK TOPLOTE MED HLADNIM VALJANJEM.....	26
SLIKA 6: V-MARK.....	34

SLIKA 7: SKICA STARIH ZASNOVANIH PRŠILNIH ŠOB	40
SLIKA 8: SKICA NOVIH ZASNOVANIH PRŠILNIH ŠOB.....	40
SLIKA 9: FIKSNA POZICIJA HLADILNE LETVE Z 52-MM RAZMIKOM	41
SLIKA 10: IZBOLJŠAVA S 26-MM HLADILNIMI CONAMI	42
SLIKA 11: 26-MM HLADILNE CONE IN PREMIČNA PRŠILNA LETEV	43
SLIKA 12: PREMIK PRŠILNE LETVE ZA 13 MM	44
SLIKA 13: PRIPRAVA KOLOBARJA ZA VZORČENJE.....	46

KAZALO TABEL

TABELA 1: PROCESNI PARAMETRI TERMIČNE OBDELAVE [°C].....	22
TABELA 2: PRIMERJAVA VALJČNEGA OLJA.....	35
TABELA 3: MENJAVA REZERVNIH DELOV NA VALJARNI B5.....	36
TABELA 4: DEBELINA ALUMINIJASTE FOLIJE IN ŠTEVILO PLASTI	47

KAZALO GRAFIKONOV

GRAFIKON 1: PORAZDELITEV TEMPERATURE PRI RAZLIČNIH DEBELINAH	27
GRAFIKON 2: PORAZDELITEV TEMPERATURE PRI RAZLIČNIH GLOBINAH	28
GRAFIKON 3: TEMPERATURA DELOVNE POVRŠINE VALJEV	29
GRAFIKON 4: TEMPERATURE NA DELOVNEM VALJU PO POVRŠINI	30
GRAFIKON 5: TERMIČNA UKRIVLJENOST NA VALJU PRI VALJANJU ALUMINIJA	31
GRAFIKON 6: TERMIČNA UKRIVLJENOST V RAVNOTEŽJU	32

1 UVOD

Izboljšave delovnih procesov so danes ključnega pomena, saj prinašajo številne pozitivne učinke. Pri sodobnih delovnih trendih sta najpomembnejša dejavnika, ki ju moramo upoštevati, kakovost izdelkov in spoštovanje dobavnih rokov. Poleg tega pa je treba paziti tudi na druge vidike, kot so stroški, neustrezen material in odgovornost podjetja do svojih kupcev. Da bi zagotovili najvišjo možno kakovost izdelkov in nemoteno izpolnjevanje dobavnih rokov, je treba nenehno spremljati in izboljševati proizvodne procese. Le s takšnim pristopom lahko podjetje doseže visoko raven kakovosti ob minimalnih stroških.

Če podjetje ne sledi novim trendom in ne vlaga v razvoj, obstaja tveganje, da čez čas ne bo več izpolnjevalo kakovostnih standardov, kar vodi v povečanje nepotrebnih stroškov. Zavedanje teh dejstev mora usmerjati podjetje pri načrtovanju prihodnosti, saj lahko le z nenehnimi izboljšavami in prilagajanjem ostane konkurenčno. Cilj vsakega podjetja je, da z delavci zagotovi nemoteno dobavo izdelkov ob doseganju najvišje kakovosti. Kakovost proizvodov pa je neposredno odvisna od sposobnosti podjetja za hitro prilagajanje in izboljšave procesov. Eden ključnih dejavnikov pri tem so izboljšave delovnih procesov, kar je tudi osrednja tema tega diplomskega dela.

V delu se bodo skozi analizo delovnih procesov valjarne v podjetju Impol iz Slovenske Bistrice iskale rešitve za zmanjšanje poškodb in neustreznosti materiala. Na podlagi zbranih podatkov bodo podani predlogi izboljšav, ki se bodo implementirali v praksi. Ob zaključku bo izvedena primerjava starih in novih podatkov, kar bo omogočilo analizo in predstavitev vpliva uvedenih izboljšav na proces valjanja.

Cilja izboljšav pri valjanju sta zmanjšanje poškodb na površini materiala in zmanjšanje količine neustreznega materiala. Doseganje teh ciljev bo podjetju omogočilo nižje stroške proizvodnje, zmanjšanje stroškov ponovne predelave aluminija in natančno določitev tehnoloških parametrov. Prav tako bodo odpravljene pomanjkljivosti pri vzorčenju materiala. Celovite izboljšave bodo zajele vse korake proizvodnega procesa. Pri vsakem koraku bo treba natančno določiti kritične točke, kjer prihaja do napak, in raziskati vzroke zanje. Na podlagi analiziranih podatkov bo mogoče predlagati ustrezne rešitve za odpravo težav, kjer je to mogoče.

Koraki proizvodnega procesa sledijo jasno določenemu postopku:

Vsak proces se začne z izdajo delovnega naloga, ki vključuje ključne informacije o surovini, zahtevani debelini in širini folije, količini, posebnih zahtevah in dobavnem roku izdelka. Nato sledi proces grobega valjanja, kjer se aluminijasta folija preoblikuje v tanjše plasti. Po zaključku grobega valjanja se izvede dvojčenje folije.

Dvojčenje folije pomeni, da se dva sloja aluminijaste folije hkrati valjata skupaj, kar omogoča izdelavo izjemno tankih folij (debeline 0,005–0,015 mm). Ena folija med valjanjem nudi podporo drugi, kar zmanjšuje tveganje za trganje. Po zaključku valjanja se dvojčeni sloji ločijo. Notranji strani folij, ki sta bili med valjanjem v stiku, sta običajno matirani, medtem ko sta zunanji strani gladki in sijoči. Ta lastnost omogoča različne funkcionalnosti, na primer toplotno odbojnost ali estetsko privlačnost embalaže.

V vseh korakih proizvodnega procesa je nujno dosledno upoštevanje delovnih navodil in informacij iz delovnega naloga. Le tako je mogoče zagotoviti kakovost izdelkov, ki jih bodo kupci lahko nadalje obdelovali. Upoštevanje kakovostnih zahtev in stalno uvajanje izboljšav sta pomembna dela obveznosti podjetja do svojih kupcev. Večina izdelkov podjetja Impol FT se uporablja v farmacevtski in prehranski industriji, kjer je visoka raven kakovosti ključnega pomena.

V diplomskem delu bo prikazano, kakšni so vplivi nepredvidenih dogodkov na kakovost površine in materiala ter kako te pomanjkljivosti vplivajo na končne izdelke, ki jih izdelajo kupci. Glavni cilj poleg zmanjšanja stroškov je tudi zmanjšanje števila reklamacij. To podjetju omogoča ohranjanje konkurenčnosti na trgu. Iskanje in odpravljanje napak sta zato ključnega pomena.

Za uspešno reševanje težav je potrebno temeljito poznavanje celotnega proizvodnega procesa, saj le tako lahko odkrijemo, kje in zakaj prihaja do napak. Natančna določitev tehnoloških parametrov in pravilno vzorčenje materiala sta nujna za doseganje kakovostnih izdelkov. S pomočjo pravilnega vzorčenja in pregledov materiala je mogoče odkriti pomanjkljivosti, ki jih nato odpravimo. Pomemben del analize je tudi pregled mikrostrukture materiala, ki prikazuje kakovost materiala na mikroskopski ravni. Ta analiza omogoča preverjanje in nadaljnje izboljševanje strukture materiala skozi čas.

Z nenehnimi izboljšavami kakovosti materialov lahko podjetje izpolni zahteve kupcev in hkrati poveča dodano vrednost svojih izdelkov.

1.1 Opis področja in opredelitev problema

V tem raziskovalnem delu bom proučeval vpliv odprave neustreznosti in poškodb materiala na valjarni B5. Trenutno se soočamo s problemom površinske neustreznosti materiala. Neustreznosti se pojavljajo tudi na ravni mikrostrukture, kar je posledica napačnega vzorčenja in obrezovanja, vendar površinske poškodbe prinašajo dodatne stroške za podjetje. Zaradi teh neustreznosti kupec ne prejme naročene količine, odpadni material pa se mora ponovno pretaliti, kar povečuje stroške podjetja.

Za raziskavo tega problema sem se odločil, ker sem bil sam zaposlen na valjarni in me zanima, kako nastanejo poškodbe in posledična neustreznost materiala, prav tako pa želim raziskati načine za njihovo odpravo. Polizdelki, proizvedeni v tej valjarni, se večinoma uporabljajo v farmacevtski in gospodinjski industriji. Ključno je poiskati rešitve in predlagati izboljšave za zmanjšanje količine neustreznega materiala, saj bi to podjetju omogočilo hitrejše dobavne roke in zmanjšalo dodatne stroške.

Hitrejša dobava je nujna zaradi sistema 'just in time' v farmacevtski industriji, kjer je pravočasnost ključna za uspešno poslovanje. Zaradi potrebe po konkurenčnosti podjetja je pomembno proučiti vsako poškodbo materiala ter ugotoviti njen izvor in vzroke nastanka. Takšen pristop bo uporabljen tudi v tem diplomskem delu, kjer bom analiziral celoten proces valjanja aluminijske folije in podrobno proučil posamezne korake.

Z analizo procesa bodo kritični koraki natančneje proučeni, ugotovljene pomanjkljivosti pa bodo naslovljene s predlogi za izboljšave. Ti predlogi bodo prispevali k odpravi neskladnosti v kakovosti materiala. Vsaka predlagana izboljšava bo testirana, rezultati teh preizkusov pa bodo pokazali uspešnost uvedenih sprememb.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

Namen diplomskega dela je proučitev delovnega procesa na valjarni z namenom lažjega odkrivanja in odpravljanja napak. S temeljitim razumevanjem in poznavanjem procesa si prizadevam za odpravo poškodb in neustreznosti materiala z uvedbo ustreznih izboljšav.

Cilji, ki jih nameravam doseči, vključujejo zmanjšanje količine izmeta na valjarni, znižanje stroškov, povezanih z nekakovostnimi izdelki, določitev pravilnosti tehnoloških parametrov in ustreznih postopkov vzorčenja, iskanje možnih načinov za izboljšave, zmanjšanje obrabe valjev in povečanje kakovosti končnih izdelkov.

Hipoteze, ki jih bom preverjal v okviru diplomskega dela, so naslednje:

- **H1:** Tehnološki parametri igrajo ključno vlogo pri izdelavi folije.
- **H2:** Pravilno vzorčenje in natančno preverjanje materiala sta bistvena za doseganje izboljšav.
- **H3:** Sistematični pregled delovnega procesa omogoča učinkovito prepoznavanje in odpravljanje napak.
- **H4:** Optimizacija tehnoloških parametrov in uvedba izboljšav pri valjanju aluminijaste folije zmanjšata izmet, povečata kakovost izdelkov ter prispevata k trajnostnejši in energetsko učinkovitejši proizvodnji.

1.3 Predpostavke in omejitve

Pridobivanje potrebnih podatkov bo zahtevno zaradi velikosti podjetja in varovanja poslovnih skrivnosti. Omejitve se pojavljajo tudi pri dostopnosti literature, saj je težko najti vire za teoretični opis procesa valjanja, pri čemer je razpoložljiva literatura večinoma v angleškem jeziku.

Velik del podatkov, s katerimi razpolaga podjetje, je zaupne narave in zato ne bodo vključeni v diplomsko delo v svoji izvirni obliki. Tehnološki parametri bodo predstavljeni kot zaokrožene vrednosti in približki dejanskim podatkom, prav tako ne bodo podrobno opisane zlitine, ki jih podjetje proizvaja. Nekateri deli valjarne ne bodo prikazani s slikovnim gradivom. Podatki, ki niso bistveni za namen diplomskega dela, bodo ustrezno zabrisani ali prikazani v slabši kakovosti.

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

V tem diplomskem delu bom uporabil več raziskovalnih metod. Najprej bom uporabil metodo zbiranja podatkov, s katero bom pridobil informacije o delovnem procesu. Nato bom uporabil metodo primerjave podatkov, kjer bom pridobljene podatke med seboj primerjal, da bi odkril odstopanja in vzorce. Poleg tega bom uporabil tudi metodo analize, ki mi bo omogočala poglobljeno proučitev podatkov in identificiranje ključnih točk za izboljšave v procesu.

2 PREDSTAVITEV PODJETJA IMPOL

Podjetje Impol iz Slovenske Bistrice ima dolgo in bogato zgodovino, ki sega vse do leta 1825. V tem času so postavili temelje industrije, usmerjene v izdelavo kovanih bakrenih izdelkov. Podjetje je skozi 19. stoletje doživelo pomemben razvoj, saj je do leta 1914 širilo svoj proizvodni program, ki je obsegal izdelke iz bakra, medenine in bron. Že takrat je Impol veljal za pomembnega proizvajalca kovinskih izdelkov na svojem področju.

Prva velika prelomnica za podjetje je nastopila v petdesetih letih 20. stoletja, ko je svet začel prepoznavati aluminij kot 'kovino prihodnosti'. Impol se je takrat postopoma začel usmerjati iz predelave bakra v predelavo aluminija. Ta pomembni strateški premik je omogočilo tudi odprtje livnice Talum v Kidričevem, kar je pospešilo dostop do aluminija kot surovine. Podjetje se je temu prilagodilo z vlaganjem v lastno livnico in z načrtnimi naložbami v različne tehnologije za predelavo aluminija.

Šestdeseta in sedemdeseta leta so bila za Impol obdobje intenzivnega razvoja. Podjetje je posodobilo in prenovilo ključne obrate, vključno z valjarno, stiskalniškim in žičnim obratom. Ti ukrepi so znatno povečali proizvodne zmogljivosti – letna proizvodnja se je med letoma 1960 in 1970 povečala iz 17.000 ton na 30.000 ton aluminijastih izdelkov.

Z vstopom v 21. stoletje je Impol postal prepoznavno mednarodno podjetje, saj je več kot 80 % svoje proizvodnje izvažal na tuje trge. Da bi zadostili vedno večjemu povpraševanju po aluminiju, so začeli ustanavljati družbe v tujini in graditi nove proizvodne obrate. Med pomembnejšimi pridobitvami tega obdobja sta bila obrat za izdelavo in oplemenitenje aluminijastih folij ter obrat za izdelavo novih stiskanih izdelkov.

Do leta 2000 je Impol korenito prestrukturiral svoje delovanje, usmerjajoč se v programe za izdelavo tehnično zahtevnejših izdelkov na področju valjarništva in stiskalništva.

Po letu 2000 so sledile nadaljnje spremembe v poslovni strategiji. Impol je začel uveljavljati nove pristope na področju trženja in načrtovati velike naložbe v tehnologijo. Z razvojem naprednih tehnologij in nenehnimi izboljšavami je podjetje leta 2001 doseglo mejnik 80.000 ton izdelkov letno.

Ena ključnih prelomnic sega v leto 2003. To je bilo leto največjih naložb doslej – za prestrukturiranje programa valjarništva so namenili 48 milijonov evrov.

Podjetje je pridobilo folijsko proizvodnjo, ki je postala osrednji del njihovega programa posodobitev in izboljšav proizvodnje. S tem je Impol utrdil svoj položaj kot vodilni proizvajalec aluminijastih izdelkov, znan po inovacijah, trajnostni naravnosti in visokokakovostni proizvodnji. (Impol 2000, d. d., 2025)

Drugi največji mejnik podjetja Impol se je prav tako zgodil leta 2003, ko je podjetje prvič predelalo in prodalo več kot 100.000 ton aluminijastih izdelkov. S širjenjem dejavnosti na področju valjarništva in stiskalništva so se povečale tudi potrebe po surovinah, kar je vodilo v naložbe v razvoj in posodobitev livarn. Poleg izboljšav v proizvodnji je podjetje vlagalo tudi v varnost zaposlenih in okoljsko trajnost, kar dokazujeta pridobljena certifikata OHSAS 18001 in ISO 14001.

Začetek novega tisočletja je bil za Impol obdobje dinamične rasti. S strateškimi naložbami je podjetje širilo svojo prisotnost na trgu in povečalo obseg dela, vse do svetovne gospodarske krize leta 2008, ki je prizadela tudi evropsko industrijo. Kljub močnemu upadu povpraševanja in proizvodnje je podjetje leta 2010 ponovno doseglo rast ter postalo peti največji slovenski izvoznik. Prodaja in proizvodnja sta presegli prejšnje rekorde, pomembno pa je bilo tudi dokončanje naložbe v stiskalniške zmogljivosti, kar je povečalo letno proizvodnjo za dodatnih 10.000 ton aluminija.

Do leta 2014 je Impol povečal svoj tržni delež na področju avtomobilske industrije, ki je postala eno ključnih področij poslovanja. Nadaljnja širitev se je zgodila leta 2017 z nakupom TLM Aluminium iz Šibenika, kar je okrepilo njihovo regionalno prisotnost. V industrijski coni Impol so zgradili tudi nov obrat Impol Fin-Al, namenjen finalizaciji aluminijastih izdelkov. Vzporedno so začeli intenzivne priprave na industrijsko revolucijo 4.0, kar vključuje avtomatizacijo in digitalizacijo proizvodnih procesov v vseh državah.

Leta 2018 je podjetje pridobilo standard EN 9100 za letalsko industrijo, kar je pomembno priznanje za kakovost in inovativnost njihovih izdelkov. Ta standard odpira vrata v zahtevne globalne trge letalske industrije, kar še dodatno utrjuje položaj podjetja na mednarodnem trgu.

V prvi polovici leta 2022 je Impol beležil nadaljevanje izrednega povpraševanja po aluminijastih izdelkih, kar je predstavljalo pozitiven trend, ki se je začel že konec leta 2021. Vendar so zunanje okoliščine, kot so vojna v Ukrajini, rast cen aluminija in visoki stroški energentov, močno vplivale na poslovanje.

V drugem polletju leta 2022 je podjetje doživelo izrazit padec povpraševanja po hladnovaljanih izdelkih, saj so dosegli le 81,5 % proizvodnje iz leta 2021. Kljub tem izzivom je Impol dosegel rekorden poslovni izid pred obdavčitvijo, ki je znašal 100,9 milijona evrov, kar priča o sposobnosti podjetja, da se prilagaja in uspešno navigira skozi zahtevne gospodarske razmere.

Eden ključnih elementov njihove stabilnosti je širok proizvodno-prodajni program, ki omogoča razpršitev tveganj v obdobjih gospodarskih recesij. Pomembno vlogo pri tem igrajo tudi lastne livarne, ki povečujejo samozadostnost pri proizvodnji vhodnih surovin, s čimer znižujejo stroške in izboljšujejo kakovost izdelkov.

Leta 2022 je Impol zagnal tudi trajnostno pobudo z registracijo blagovne znamke InfiniAL, ki označuje izdelke z zmanjšanim ogljičnim odtisom, skladno s cilji trajnostnega razvoja. To kaže na dolgoročno zavezanost podjetja k okoljskemu napredku in inovacijam.

Hkrati je podjetje intenzivno razvijalo področje kakovosti in trajnostnega razvoja, kar vključuje tudi neodvisno preverjanje kakovosti izdelkov in procesov. Impol s tem potrjuje svojo vlogo kot vodilnega proizvajalca aluminijastih izdelkov, ki je usmerjen v trajnostno prihodnost in zadovoljstvo vseh deležnikov. (Impol 2000, d. d., 2025)

Podjetje Impol ponuja izjemno širok spekter aluminijastih izdelkov, ki so namenjeni različnim industrijskim panogam. Njihova proizvodnja vključuje stiskane, valjane, finalizirane in lite izdelke ter odkovke in rondele, kar omogoča prilagoditev potrebam številnih sektorjev. Ti izdelki so nepogrešljivi v avtomobilski, farmacevtski in prehrabni industriji, transportu, elektroindustriji, gradbeništvu ter na visokotehnoloških področjih, kot sta letalska in vesoljska industrija.

V sklopu teh segmentov Impol izdeluje več kot 100.000 različnih izdelkov, ki vključujejo palice, cevi, profile, folije, pločevine, rebrasto pločevino, trakove, barvane in tudi končne izdelke, kar dodatno krepi njihov tržni položaj. Takšna raznolikost omogoča podjetju, da zadovolji širok spekter potreb kupcev po vsem svetu.

Podjetje oskrbuje številne pomembne trge, med katerimi izstopajo Nemčija, Italija, ZDA, Madžarska, Belgija, Nizozemska, države Latinske Amerike, Francija in Avstralija. Ta raznolikost trgov je ključna za ohranjanje stabilnosti in zagotavljanje konkurenčnosti podjetja na globalnem trgu.

Poleg široke ponudbe in močne prisotnosti na mednarodnih trgih Impol temelji svoj uspeh na delu in zavzetosti svojih zaposlenih. Trenutno podjetje zaposluje več kot 2.500 ljudi, ki skupaj letno proizvedejo približno 280.000 ton aluminija. Ključni delež k uspehu pripisujejo ne le delovni sili, temveč tudi strokovnemu vodilnemu kadru, ki podjetju omogoča nenehen razvoj in prilagodljivost.

Vizija podjetja Impol je usmerjena v proizvodnjo izdelkov z dodano vrednostjo, pri čemer se osredotočajo na nenehno izboljševanje procesov predelave in dodelave aluminija. Njihov cilj je ustvarjati izdelke, ki zagotavljajo najvišjo možno vrednost za kupce, ob tem pa izpolnjevati pričakovanja zaposlenih, lastnikov, okolja in drugih deležnikov.

Z zavezanostjo k inovacijam, kakovosti in trajnosti Impol ostaja eno vodilnih podjetij v industriji aluminijastih izdelkov, ki s svojo strategijo postavlja trdne temelje za nadaljnji razvoj in uspeh. (Impol 2000, d. d., 2025)

3 TEHNOLOGIJA HLADNEGA VALJANJA

Postopek hladnega valjanja aluminijaste tuljave je metoda obdelave kovin, ki vključuje valjanje aluminijeve zlitine skozi več prehodov, da se dosežeta zahtevana oblika in dimenzijska natančnost. Ta postopek je znan po visoki natančnosti, energetski učinkovitosti, odličnih materialnih lastnostih, dobri ponovljivosti in široki uporabi, hkrati pa prispeva k varstvu okolja.

Najprej je treba pripraviti surovine, vključno z aluminijevimi zlitinami in ingoti iz taljenega aluminija. Zahteve za material so visoka čistost, ustrezna kemična sestava ter dobre mehanske in predelovalne lastnosti. Toplotna obdelava aluminijaste tuljave izboljša njeno gostoto, duktilnost in žilavost. Postopek valjanja obsega več prehodov, vmesno ogrevanje in čiščenje, pri čemer je mogoče površino tudi polirati. Med hladnim valjanjem aluminijasta tuljava prehaja skozi več faz valjanja, kjer je temperatura natančno nadzorovana. Parametre je treba prilagajati, da se zagotovita ravnost površine in enakomernost debeline. Uporablja se tudi tehnologija oljnega premaza za zaščito pred oksidacijo. Po zaključenem valjanju tuljava prestane postopek žarjenja za obnovo notranjih napetosti in trdote, pri čemer se temperatura giblje med 200 in 250 °C. Po žarjenju je tuljavo treba natančno razrezati in zviti glede na zahteve kupcev, pri čemer je treba strogo nadzorovati odstopanja dimenzij, da se zmanjša količina odpadnega materiala. Za ta namen se uporabljajo merilni sistemi, ki omogočajo stalno spremljanje debeline in širine traku v realnem času ter s tem zagotavljajo, da izdelek ustreza tehničnim specifikacijam.

Postopek hladnega valjanja aluminijaste tuljave zahteva natančno kontrolo parametrov in strokovno upravljanje. Ključni procesni in nadzorni dejavniki vključujejo:

1. izbiro in nastavitev valjarne: pravilna izbira strojev in njihova natančna nastavitev sta ključni za stabilnost in natančnost valjanja;
2. načrtovanje in izdelavo valjev: kakovost in oblika valjev pomembno vplivata na končni izdelek;
3. uporabo maziv: pravilna izbira maziv zmanjša trenje in izboljša kakovost površine;
4. nadzor temperature: temperaturo je treba natančno prilagajati, da se preprečijo deformacije ali razpoke;
5. površinsko obdelavo: odstranjevanje napak in izboljšanje videza izdelka z brušenjem, poliranjem ali peskanjem;
6. testiranje kakovosti: redno preverjanje dimenzij, mehanskih lastnosti in kakovosti površine.

Značilnosti postopka hladnega valjanja aluminijaste tuljave:

- visoka natančnost: majhna deformacija in visoka dimenzijska stabilnost;
- visoka učinkovitost: nizka poraba energije in manjša delovna intenzivnost;
- odlične materialne lastnosti: povečana trdota, natezna trdnost in kakovost površine;
- dobra ponovljivost: stabilen in zanesljiv proizvodni proces;
- širok obseg uporabe: primeren za različne kovine in zlitine;
- varstvo okolja: proces se izvaja pri sobni temperaturi, kar zmanjša porabo energije in onesnaževanje.

Poleg teh ključnih značilnosti hladno valjanje aluminijaste tuljave omogoča znatno izboljšanje mehanskih lastnosti končnih izdelkov. Natančno nadzorovani pogoji deformacije prispevajo k večji površinski trdoti, zmanjšani notranji napetosti ter večji odpornosti materiala na mehanske obremenitve, kar je še posebej pomembno pri nadaljnji mehanski obdelavi. Postopek je zaradi svoje natančnosti in ponovljivosti posebej primeren za izdelavo zelo tankih, kompleksnih in visoko zahtevnih polizdelkov, ki se uporabljajo v industriji embalaže, elektronike, transporta in gradbeništva. V zadnjih letih se v tehnologijo hladnega valjanja vse bolj vključujejo tudi digitalne rešitve, kot so napredni senzorji, avtomatizirani nadzorni sistemi, ter analiza velikih količin podatkov (Big Data), ki omogočajo sprotno optimizacijo parametrov, zmanjšanje odstopanj in povečanje trajnosti proizvodnje. Digitalni nadzor zagotavlja višjo ponovljivost postopka in zmanjšuje izmet, kar vodi v večjo učinkovitost in konkurenčnost. Poleg tega ta tehnologija vpliva tudi na mikrostrukturo materiala – s pravilnim nadzorom žarjenja in deformacije je mogoče vplivati na velikost in porazdelitev kristalnih zrn, kar bistveno povečuje odpornost materiala proti utrujanju, izboljšuje korozijsko obstojnost ter povečuje sposobnost za nadaljnjo obdelavo, kot so litje, prebijanje ali spajkanje. Postopek hladnega valjanja aluminijaste tuljave je torej napredna, večplastna in visokotehnološka metoda izdelave materialov z velikim tržnim potencialom, ki z ustreznim znanjem, digitalno podporo in stalnim razvojem omogoča trajnostno proizvodnjo visoko kakovostnih izdelkov z minimalnim vplivom na okolje ter z optimalnim izkoristkom vhodnih virov.. (Process element control and key process of cold-rolled aluminum alloy coil., 2025)

4 FOLIJSKA VALJARNA B5

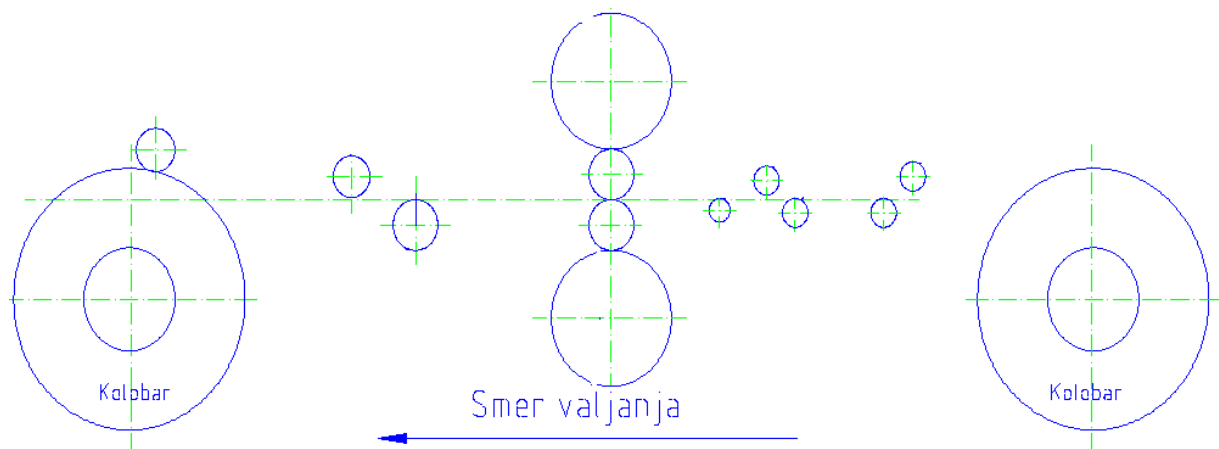
Kvarto končna folijska valjarna znamke Achenbach je visoko specializirana industrijska naprava, namenjena natančnemu valjanju aluminijaste folije do izjemno tankih dimenzij. Proizvajalec Achenbach Buschhütten GmbH & Co. KG je priznано nemško podjetje, specializirano za tehnologijo valjanja in rezanja folij, predvsem aluminijevih, in je znano po svojih tehnološko dovršenih in zanesljivih sistemih. Njihove valjarne predstavljajo sinonim za natančnost, robustnost ter prilagodljivost sodobnim industrijskim zahtevam.

Kvarto konfiguracija valjarne vključuje štiri valje – dva delovna valja z manjšim premerom, ki skrbita za natančno oblikovanje debeline folije, ter dva podporna valja z večjim premerom, ki zagotavljata stabilnost in preprečujeta upogibanje delovnih valjev. Ta postavitev omogoča valjanje aluminijastih folij do debelin manj kot 8 mikronov, ne da bi pri tem prišlo do zmanjšanja kakovosti površine ali mehanskih lastnosti materiala. Valjarna je zasnovana z izrazitim poudarkom na energetski učinkovitosti in trajnostnem delovanju – vključuje sisteme za rekuperacijo toplote, recikliranje valjčnega olja ter digitalno optimizacijo porabe energije.

Poleg tega je valjarna opremljena z naprednimi sistemi za nadzor debeline in ravnosti traku v realnem času, kar omogoča takojšnje popravke in zagotavlja izredno stabilnost procesa. Integrirani sistemi za diagnostiko in vzdrževanje omogočajo prediktivno spremljanje obrabe komponent, kar zmanjšuje tveganje za nenačrtovane izpade. Zaradi svoje izjemne natančnosti, zanesljivosti in možnosti za visoko prilagojeno proizvodnjo se uporablja v zahtevnih sektorjih, kot so embalažna, avtomobilska, letalska in farmacevtska industrija, kjer so kakovost površine, debelinska enakomernost in mehanske lastnosti folije ključnega pomena. (aluminium-exhibition, 2025)

Kvarto končna folijska valjarna

Φ 750/280 x 1750 mm



Skica 1: Folijska valjarna B5

Vir: (Lastni vir)

Debelina vhodnega traku: 0,3 – 0,150 mm

Debelina izhodnega traku: 0,15 – 0,012 mm; 2 x 0,006 mm

Širina: 800–1650 mm

Hitrost valjanja: 0–1500 m/min

Zunanji premer kolobarja: max. 1900 mm

Absolutna teža kolobarja: max. 12 000 kg

Specifična teža: 6,10 kg/mm

Proizvajalec: ACHENBACH BUSCHHÜTTEN

Leto nakupa: 2003

(Achenbach Buschhütten GmbH & Co. KG, 2025)



Slika 1: Valjarna B5

Vir: (Lastni vir)



Slika 2: Valjarna B5

Vir: (Lastni vir)

5 IZBOLJŠAVA PROCESA NA HLADNI VALJARNI

5.1 Procesni parametri

Tabela 1: Procesni parametri termične obdelave [°C]

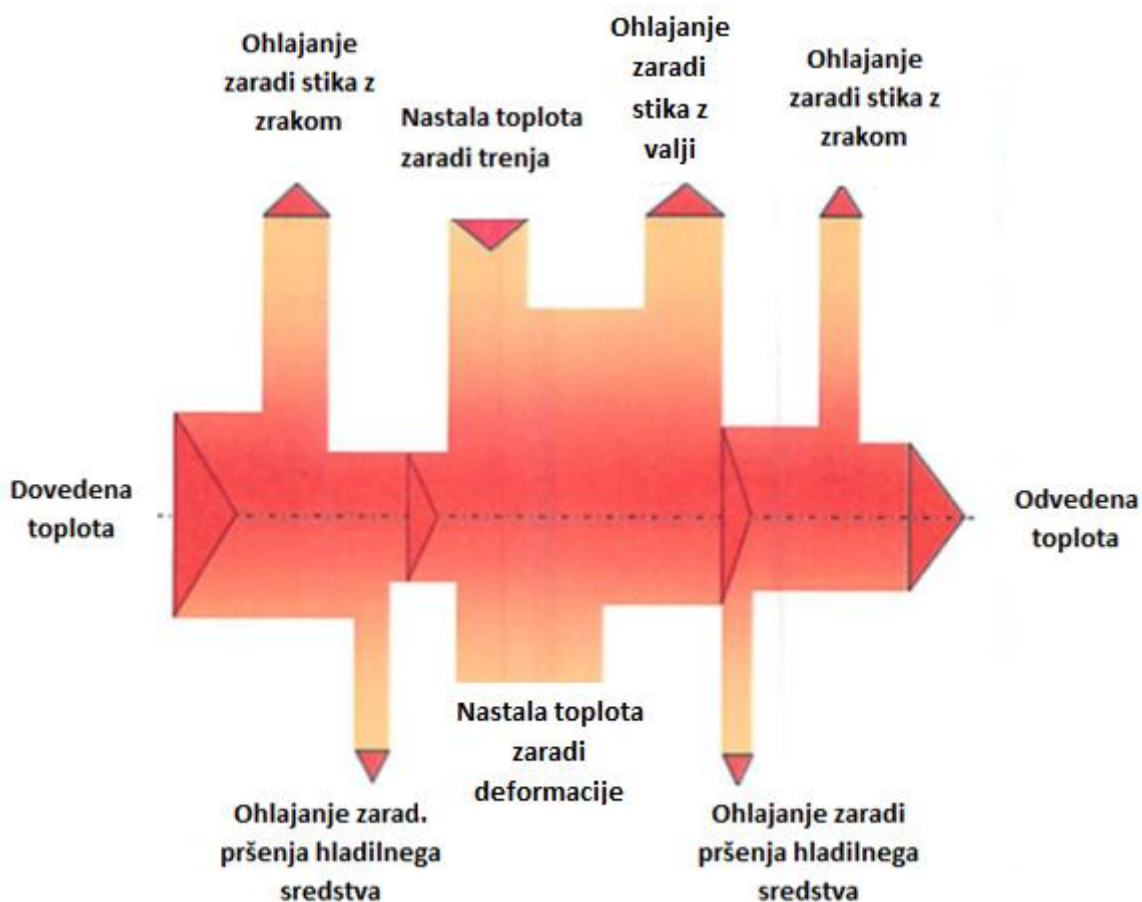
Zlitina	Temperatura žarjenja [°C]	Temperatura raztopnega žarjenja [°C]	Staranje (T6)
2014	350–370	505	175/8 h
2024	350–370	495	175/12 h
5083	350–370	–	–
6061	350–370	530	175 h/8 h
6063	350–370	525	175/8 h
6082	350–370	535	180/10 h
7010	290–300	475	T6 135/12 h
7020	290–300	475	T73 110/8 h + 63/24 h
7075	290–300	460	Stanje odvisno od izdelka

Vir: (Lastni vir)

Pokanje na robovih aluminijaste pločevine je kompleksen pojav, ki je predvsem posledica procesa valjanja. Mehanizem pokanja poteka v več fazah: najprej se praznine nukleirajo na vključkih, napakah in mejah kristalnih zrn, nato zaradi plastične deformacije rastejo, dokler pri kritični deformaciji ne pride do povezave praznin v razpoko. Ta proces je zelo odvisen od predhodnih pogojev, zato ga ni mogoče natančno napovedati. Ključne napake, ki se pojavijo na robovih pred valjanjem, vključujejo mikrorazpoke, nepravilnosti na robu, nazobčanja in

valovitost, medtem ko materialne napake, kot so zmanjšana žilavost, prisotnost vključkov in praznine zaradi neenakomernega taljenja, dodatno vplivajo na končno kakovost izdelka. Lastnosti aluminijaste pločevine so rezultat zapletene interakcije med kemijsko sestavo in procesnimi pogoji. Čeprav so mnoge povezave že dobro raziskane pri obstoječih zlitinah in rutinskih preoblikovalnih postopkih, lahko spremembe v procesnih parametrih vplivajo na končno kakovost. Zato je ključnega pomena natančno razumevanje posameznih korakov procesa in njihovega vpliva na lastnosti pločevine. Učinkovito upravljanje znanja v podjetju omogoča optimizacijo proizvodnje in izboljšanje mehanskih lastnosti, kakovosti površine, ustreznosti dimenzij in konkurenčnosti cene končnega izdelka. Poleg tega je pomemben tudi toplotni vidik valjanja, saj dovedena toplota v valje in trakove vpliva na preoblikovalne lastnosti materiala. Hladilni sistem valjev, izbira ustreznih hladil, učinkovitost izmenjave toplote ter pravilna konfiguracija šob in ventilov igrajo ključno vlogo pri nadzoru temperature v procesu. Prav tako je bistvena aplikacija za kontrolirano ohlajanje, vključno s spreji za vroče robove in dušilke, ki omogočajo enakomerno porazdelitev toplote. Ohlajanje trakov in plošč, znano kot gašenje, zagotavlja pravilne mehanske lastnosti materiala, medtem ko natančne meritve in nadzor temperature traku omogočajo optimizacijo procesnih parametrov in zmanjšanje napak v končnem izdelku. Učinkovit sistem hlajenja in nadzora temperature je ključen za doseganje visoke kakovosti aluminijastih izdelkov ter za zmanjšanje proizvodnih izgub in izmeta. (E. T. Smith, 2022)

Tok toplote med valjanjem



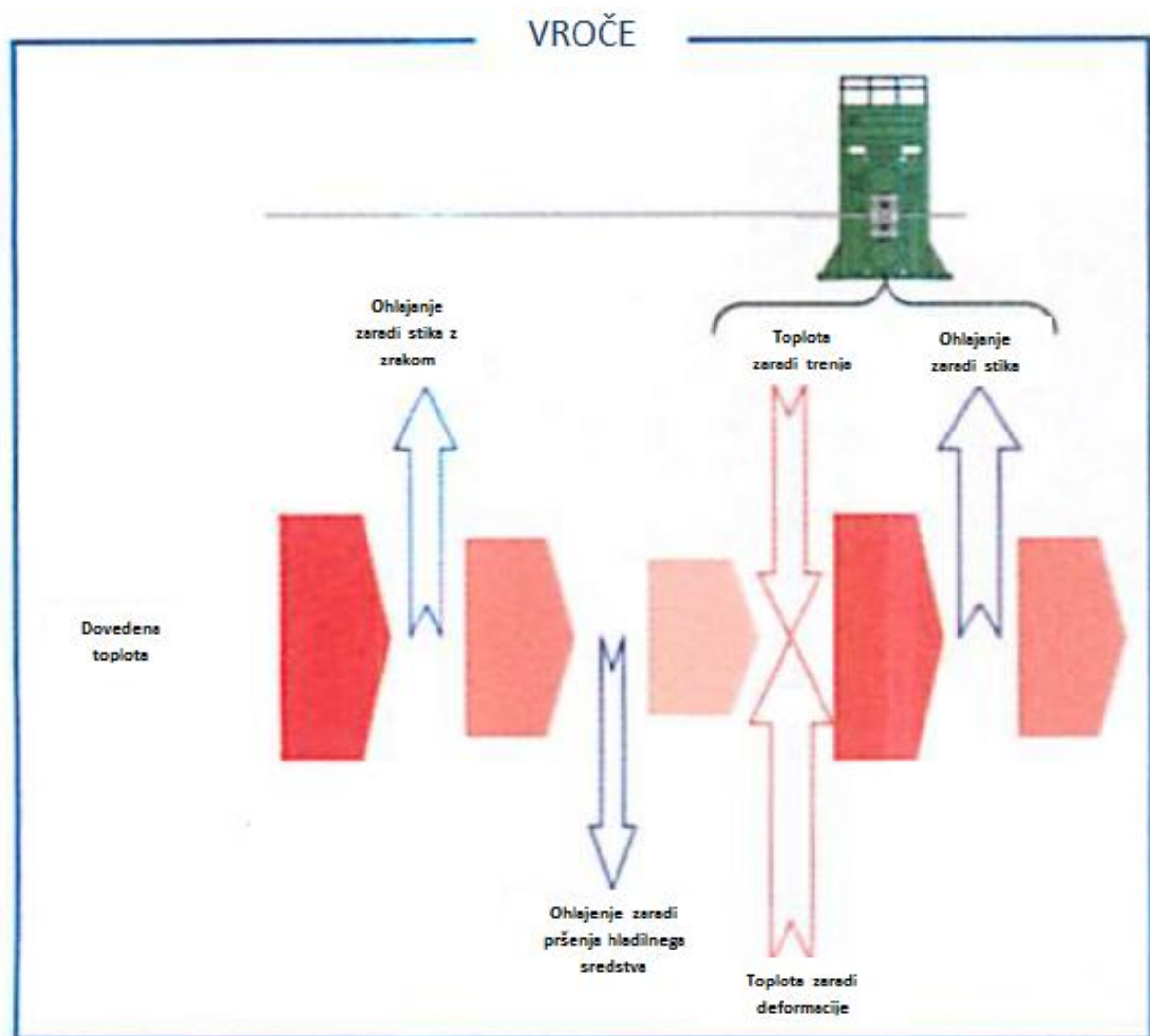
Slika 3: Tok toplote med valjanjem

Vir: (Lastni vir)

Diagram (imenujemo ga tudi Sankeyjev diagram) prikazuje dovedeno in odvedeno toploto na traku pri posameznem prehodu. Premer 'kanalov' je sorazmeren s tokom. Toplota je dovedena s trakom. Nekaj se je izgubi zaradi stika z zrakom in mazalnim sredstvom pred prehodom skozi valje. Pri prehodu skozi valje toplota nastaja zaradi trenja med valjem in trakom ter zaradi deformacije kovine. Tudi pri stiku z valjem se toplota izgublja. Tukaj se uporabljajo mazalna sredstva, ki toploto razporedijo po celotnem valju. Pri toplem valjanju aluminija je toplotni tok, ki nastane, 500 kW/m po širini. Po prehodu traku trak izgublja toploto zaradi stika z zrakom in

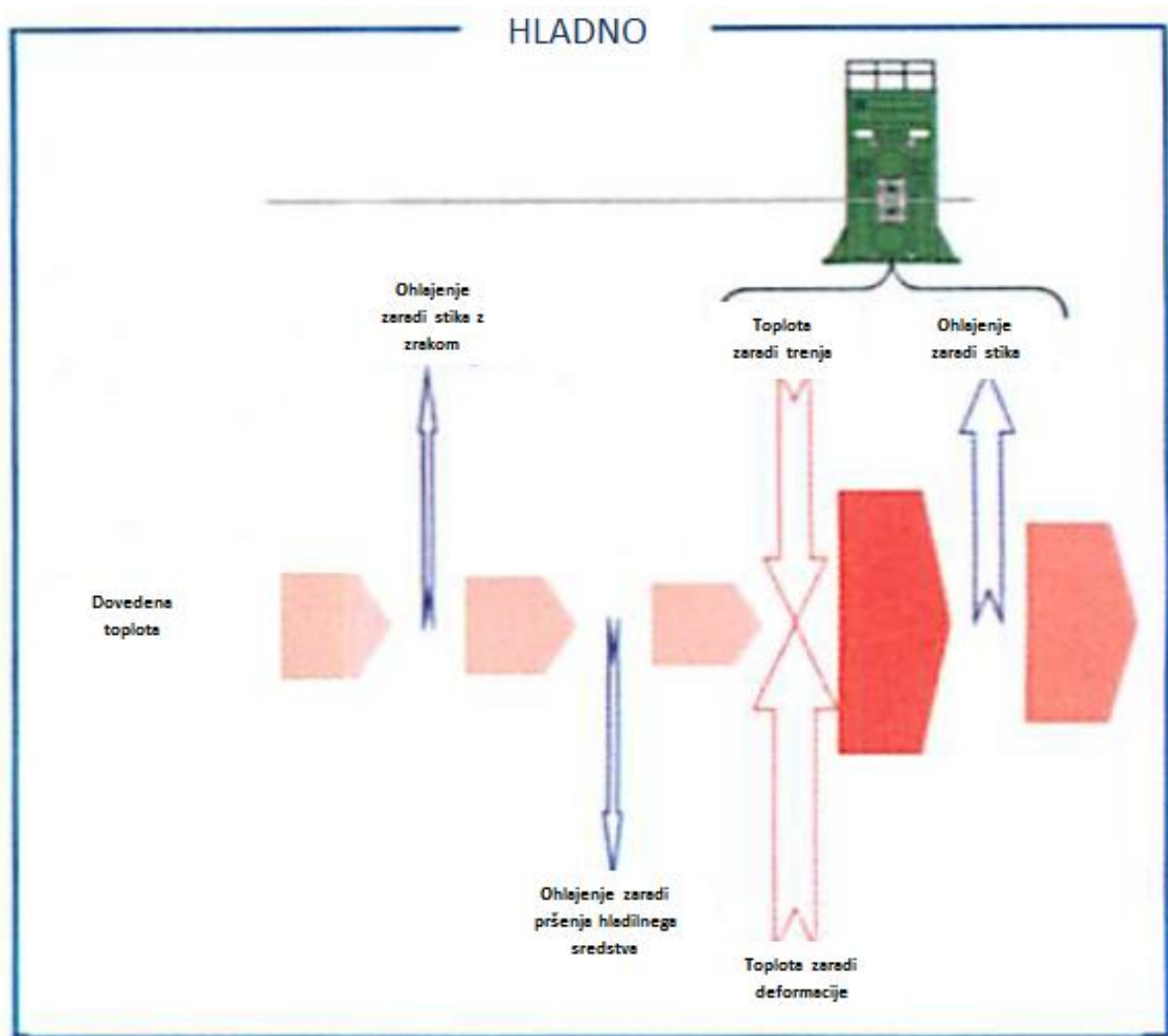
pršenja mazalnega sredstva. Trak lahko v valje vstopa z višjo ali nižjo temperaturo, odvisno od nastanke toplote in toplotnih izgub. Pri hladnem valjanju je toplota zaradi trenja in deformacije po navadi velika v primerjavi z izgubami zaradi prenosa na valj. Zato se trak po navadi segreje bolj. (McCulloch, 1998)

- Tok toplote med vročim/hladnim valjanjem



Slika 4: Tok toplote med vročim valjanjem

Vir: (Lastni vir)



Slika 5: Tok toplote med hladnim valjanjem

Vir: (Lastni vir)

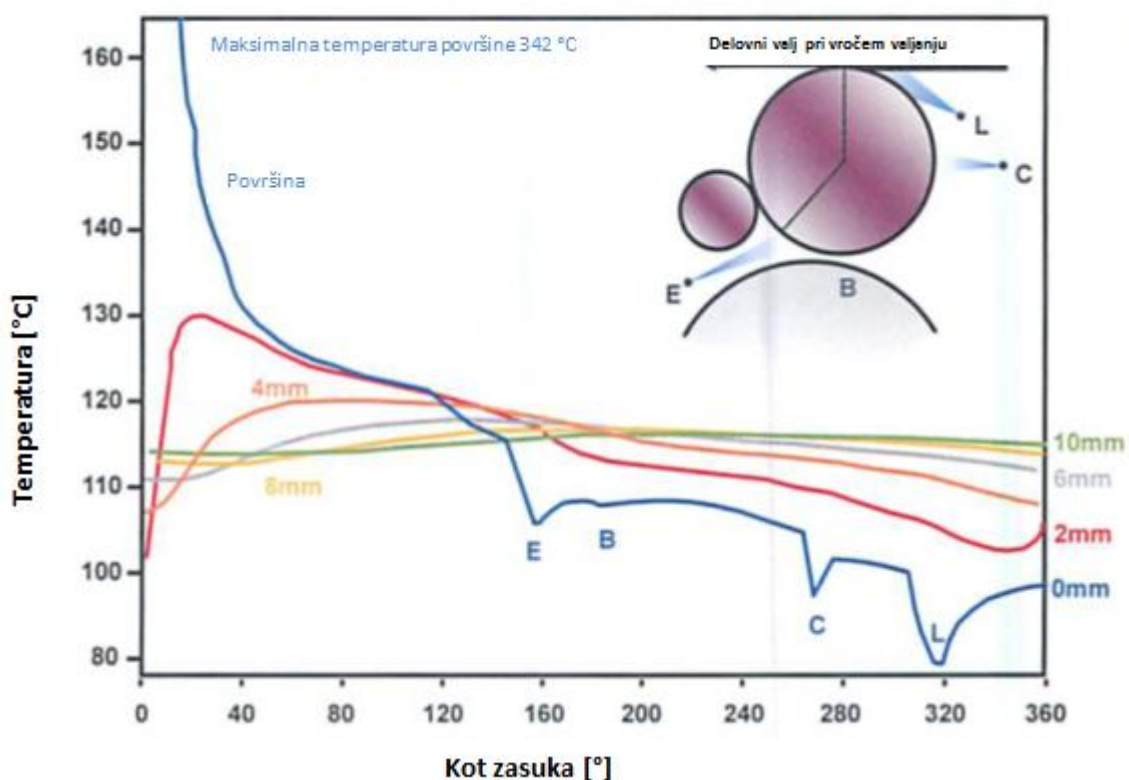
Sliki prikazujeta toplotne procese, ki se dogajajo med valjanjem materiala, pri čemer prva slika, označena kot 'VROČE', predstavlja vroče valjanje, druga slika, označena kot 'HLADNO', pa hladno valjanje. Glavna razlika med njima je v količini dovedene in odvedene toplote ter v načinu hlajenja. Pri vročem valjanju je vhodna temperatura materiala visoka, zato se sprošča več toplote zaradi trenja in deformacije, kar zahteva intenzivnejše hlajenje s hladilnim sredstvom in zračnim hlajenjem. Hladno valjanje poteka pri nižjih temperaturah, zato je celoten toplotni proces manj intenziven in potreba po hlajenju manjša. Pri vročem valjanju je material mehkejši, kar pomeni večjo sproščeno toploto pri deformaciji, medtem ko je pri hladnem valjanju material trši, zaradi česar se več toplote sprošča zaradi trenja med valji in materialom.

Posledično se pri vročem valjanju uporablja bolj agresivno hlajenje, medtem ko je pri hladnem valjanju hlajenje manj izrazito. Oba postopka imata različne vplive na končne lastnosti materiala in zahtevata prilagojen pristop k nadzoru temperature v procesu valjanja.

Pri toplem valjanju aluminija je tok toplote med 500 in 1500 kW/m širine. Ko trak zapusti valje, izgubi toploto zaradi zraka in pršenja mazalnega sredstva. Trak lahko v valje vstopa z višjo ali nižjo temperaturo, odvisno od nastanke toplote in toplotnih izgub. Po navadi se temperatura traku zniža pri vsakem prehodu.

Pri hladnem valjanju aluminija je toplotni tok 10–250 kW/m širine. Po navadi se temperatura traku dviguje pri vsakem prehodu. (George E. Totten, 2003)

- **Temperatura delovnega valja**



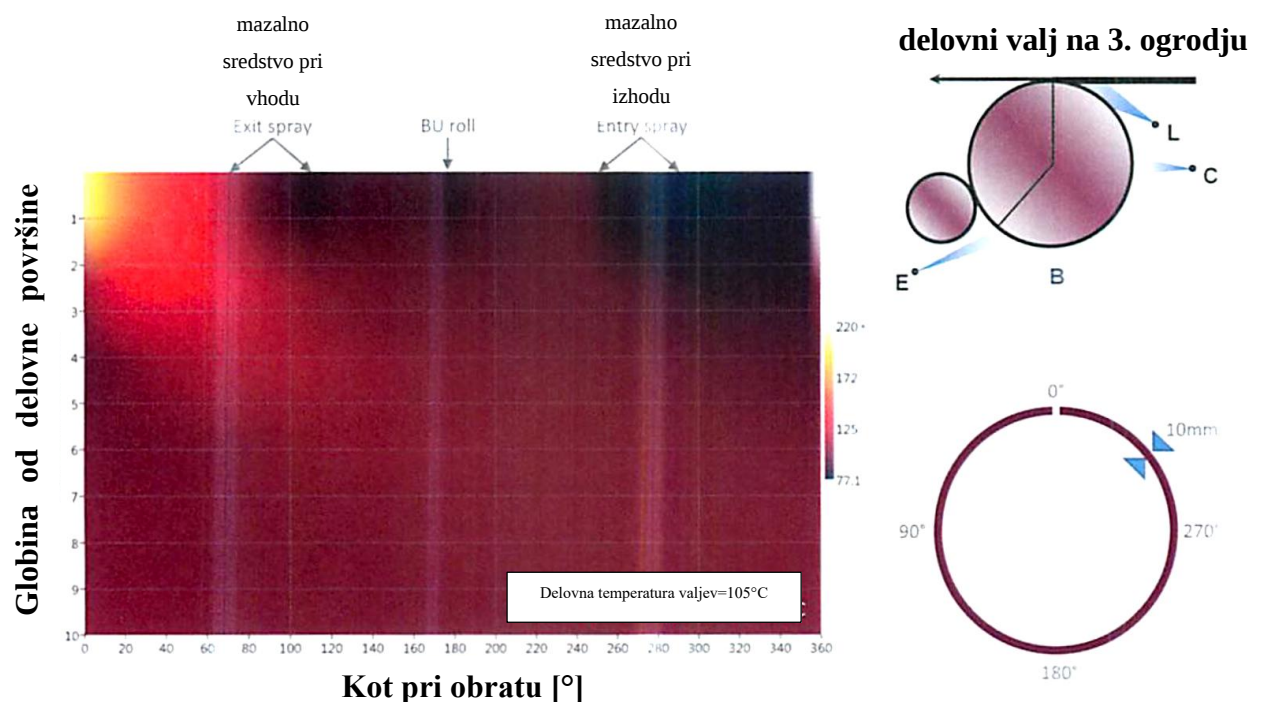
Grafikon 1: Porazdelitev temperature pri različnih debelinah

Vir: (Lastni vir)

Slika prikazuje porazdelitev temperature pri različnih debelinah pri obratu pri toplem valjanju aluminija. Površina valja se po stiku s trakom hitro ohladi zaradi prevoda toplote do hladnejših, bolj notranjih delov valja. Ko se površina sreča s mazalnim sredstvom, temperatura hitro pade in potem naraste.

Pod površino so porazdelitve temperature zelo različne in manj variirajo. Vrhovi najvišjih temperatur zaostajajo za tistimi na površini zaradi časa, ki ga potrebuje toplota, da preide globlje v material. Povprečna temperatura na vseh globinah je enaka, ko valj deluje uravnoteženo.

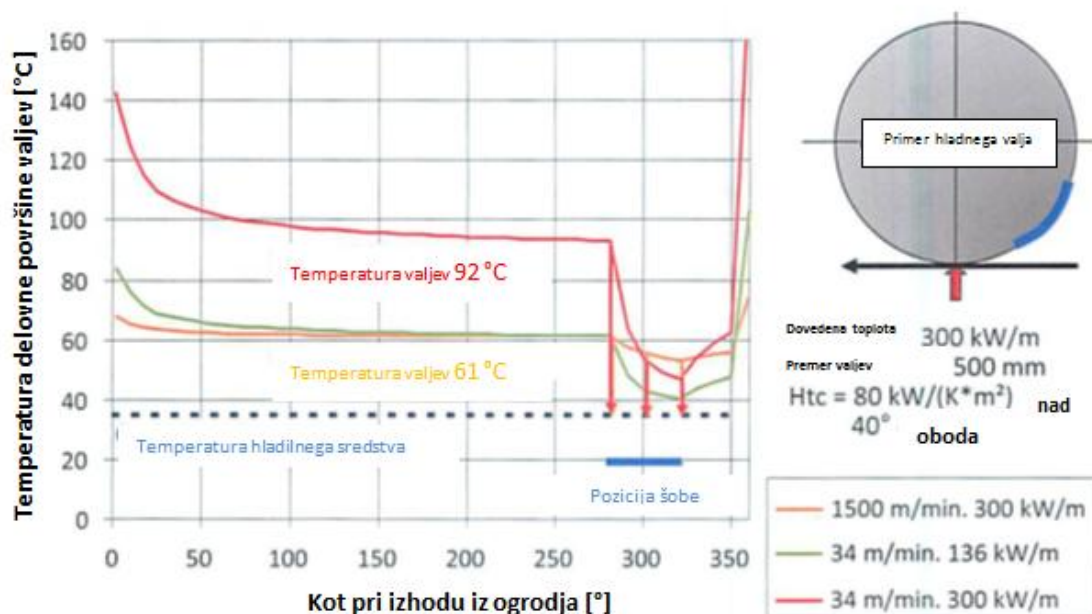
Veliki temperaturni gradienti na različnih globinah valja lahko povzročijo toplotni šok v valju, ki se zaradi sprememb pri vsakem obratu lahko razvije v utrujenostni lom materiala valja, imenovan 'fire cracking' (ognjeno pikanje). Toplotni šoki so večji pri valjanju jekla zaradi višjih temperatur. Zaradi tega imajo delovni valji za valjanje aluminija daljšo življenjsko dobo kot tisti za valjanje jekla. (Barten, 2002)



Grafikon 2: Porazdelitev temperature pri različnih globinah

Vir: (Lastni vir)

- Učinek hitrosti valjanja na ohlajanje



Grafikon 3: Temperatura delovne površine valjev

Vir: (Lastni vir)

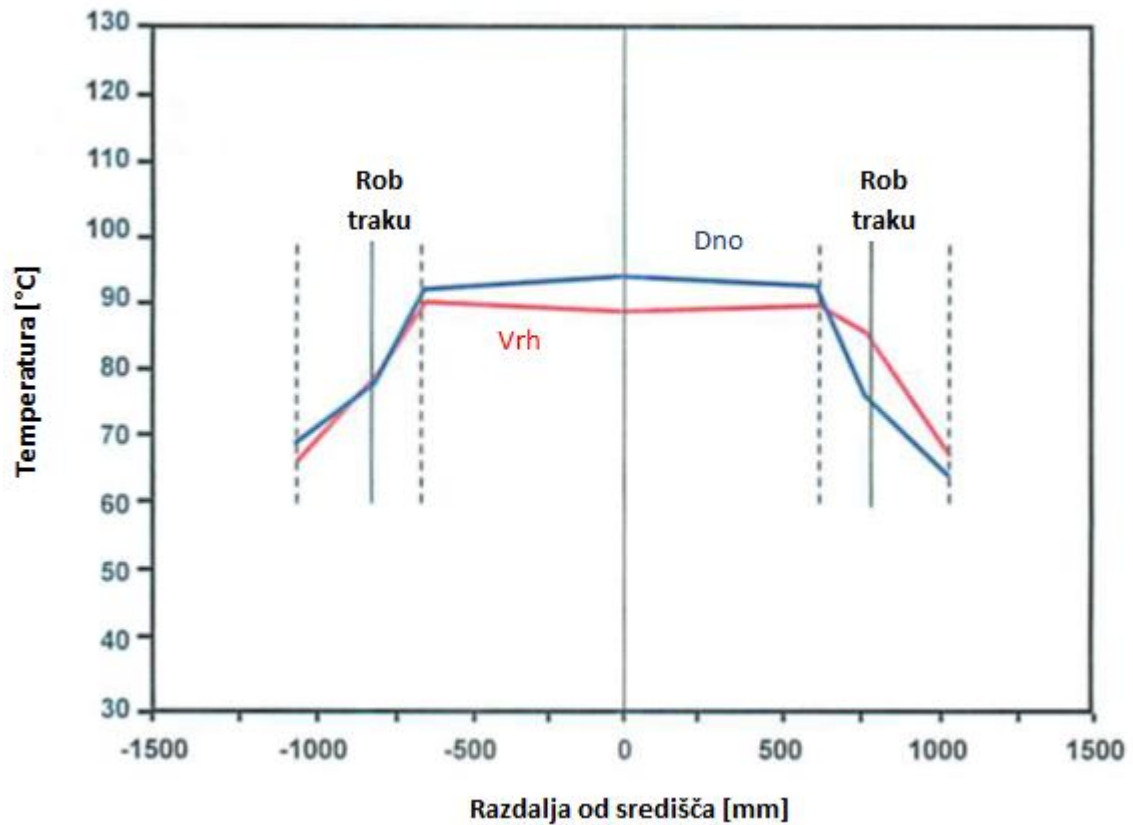
toplotni tok (Q) = htc (koeficient toplotne prestopnosti $\times$ površina $\times \Delta T$)

Hlajenje površine valja pri prehodu pod mazalnim sredstvom ima velik učinek na sredstvo in posledično na temperaturo preoblikovanja. To se dogaja, ker velika temperaturna razlika, ki je gonilna sila za tok toplote, lahko močno pade. Enačba, ki opisuje tok toplote, je: $Q = \text{površina} \times htc \times dT$, kjer je htc koeficient toplotne prestopnosti (meritev za učinkovitost mazalnega sredstva) in dT razlika med temperaturo valja in mazalnega sredstva. Ko ni temperaturne razlike, je tudi najmočnejše (najboljše) mazalno sredstvo neučinkovito. To je prikazano na sliki zgoraj, ko se hitrost valjev spremeni iz 34 m/min na 1500 m/min pri enakih pogojih hlajenja. Pri majhni hitrosti je velik padec temperature na površini pod mazalnim sredstvom, pri velikih hitrostih pa je padec temperature še komaj viden.

Padec temperature na površini zmanjša razliko v temperaturi med površino in mazalnim sredstvom, kar posledično zmanjša prenos toplote. Najboljše, kar lahko naredi hladilni sistem pri nizkih temperaturah pri isti temperaturi, je odstranitev 136 kW/m toplote. Sistem mora

odstraniti 300 kW/m toplote, ki prehaja na trak. Valji morajo tako obratovati pri višjih povprečnih temperaturah, kar je prikazano na zgornjih slikah. Pri nižjih hitrostih je ta temperatura 92 °C, pri večjih hitrostih pa 61 °C.

- **Delovna temperatura valjev po površini**



Grafikon 4: Temperature na delovnem valju po površini

Vir: (Lastni vir)

Zgoraj so izmerjene temperature na delovnem valju na zadnji postavitvi pri tandemskem valjarniškem ogrodju nekaj minut po valjanju aluminija. Na robu traku vidimo padec temperature. Ta se ne pojavlja le za robom, ampak tudi med robovi.

- **Tipične temperature delovnih valjev**

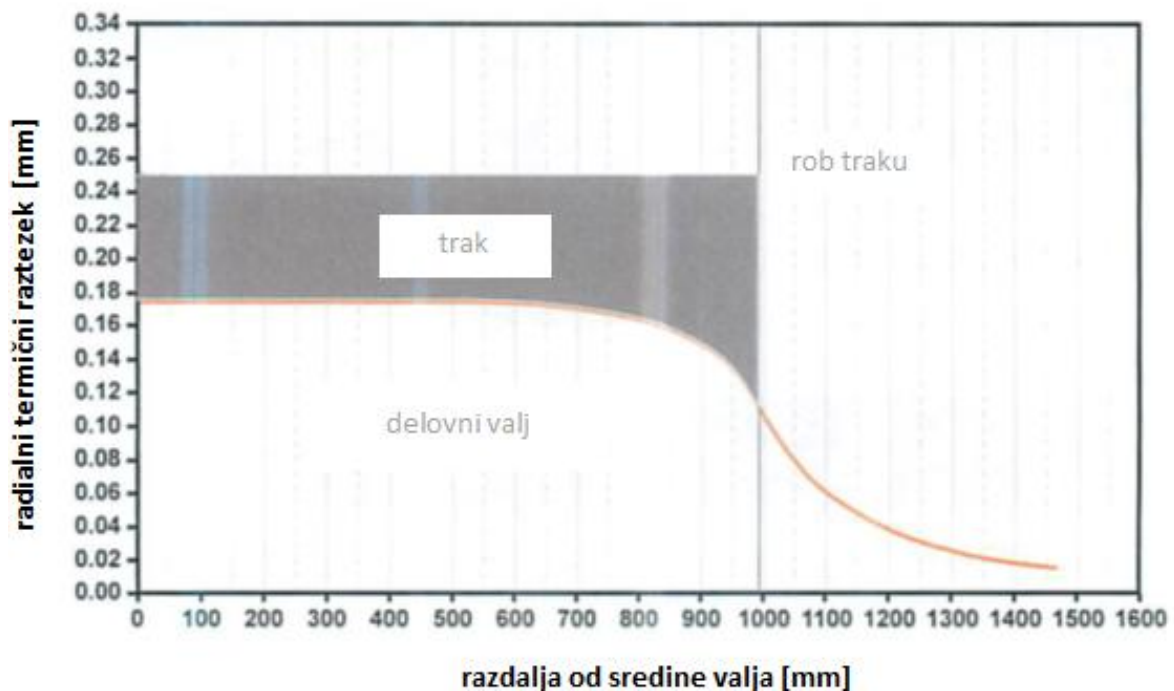
Toplo valjanje:

- optimiranje hlajenja za doseganje temperature valjev, pri kateri ne bo oljnih madežev, in za izogibanje pokanju;
- tipične delovne temperature: 85–110 °C.

Hladno valjanje:

- optimiranje hlajenja za doseganje delovne temperature 10–20 °C stopinj nad mazalnim sredstvom;
- tipične delovne temperature: 50–65 °C.

- **Termični raztezek po valju**

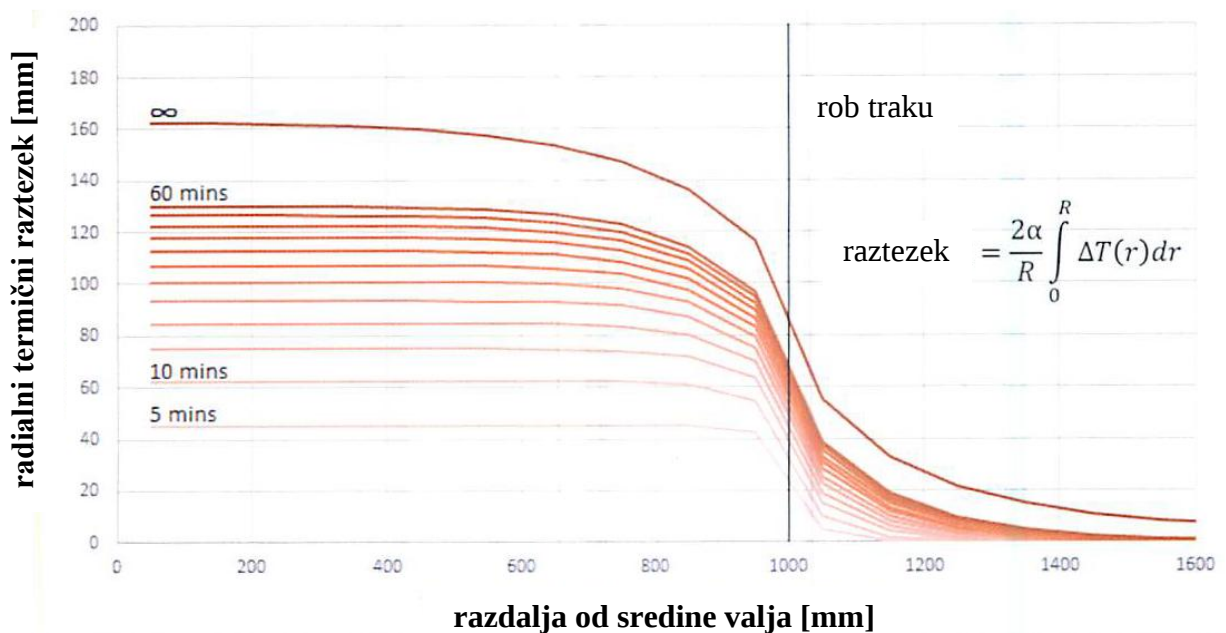


Grafikon 5: Termična ukrivljenost na valju pri valjanju aluminija

Vir: (Lastni vir)

Slika prikazuje izračunano termično ukrivljenost na valju v ravnotežnem stanju pri valjanju aluminija. Spremembe v dolžini so najvidnejše v bližini roba traku. Delno so vidne zaradi stranskega prevoda toplota iz vročih delov na sredini traku k hladnejšim delom na zunanji strani in delno zaradi pršenja mazalnega sredstva čez rob traku. Osenčeni del prikazuje položaj traku in razvidno je, da je ukrivljenost robov razlog za prekomerno debelino ali v primeru hladnega valjanja zelo oster rob. Pojav termične ukrivljenosti konstantno otežuje doseganje enakomernega profila. Metoda, ki se uporablja za odpravljanje omenjenega problema, je uporaba sprejev za vroče robove traku.

- **Rast termične ukrivljenosti**



Grafikon 6: Termična ukrivljenost v ravnotežju

Vir: (Lastni vir)

Prejšnja slika prikazuje termično ukrivljenost v ravnotežju. Diagram zgoraj pa kaže, kako nastaja ukrivljenost od začetne enakomerne temperature valja. Vidno je, da so spremembe v ukrivljenosti na začetku hitre in se potem z nadaljevanjem ukrivljanja upočasnijo. To se dogaja, ker se valji asimptotično bližajo ravnotežni temperaturi. Če ne upoštevamo aksialne termične obremenitve, se raztezek izračuna po naslednji enačbi:

$$Exp = \frac{2\alpha}{R} \int_0^R \Delta T(r) dr$$

Pri tem so:

- Exp = radialni raztezek glede na dimenzijo pri temperaturi mazalnega sredstva;
- α = koeficient termičnega raztezka;
- ΔT = lokalna razlika temperatura glede na mazalno sredstvo;
- R = polmer valjev.

V praksi valji zelo redko dosežejo ravnotežno temperaturo. Najbliže temu se pojavi pri valjanju folij, ko valjanje enega kolobarja traja do eno uro.

5.2 V-mark

V-mark oziroma 'iceberg' deformacija na aluminijasti foliji je specifična površinska napaka, ki nastane med proizvodnim procesom, predvsem zaradi nepravilnosti pri valjanju, neenakomerne napetosti folije ali oksidacije materiala. Gre za subtilne mikrostrukturne nepravilnosti, ki niso vedno vidne s prostim očesom, vendar lahko vplivajo na mehansko trdnost, fleksibilnost in splošno kakovost folije. Takšne napake so problematične predvsem v živilski, farmacevtski in elektronski industriji, kjer aluminijasta folija služi kot zaščitna pregrada pred vlago, svetlobo in kisikom. Če je površina folije neenakomerna ali oslabljena, lahko pride do razpok, zmanjšane odpornosti na zunanje vplive in težav pri nadaljnji obdelavi, kot sta tisk ali laminacija. V farmacevtski industriji lahko takšne nepravilnosti vplivajo na zaščito zdravil, medtem ko v embalažni industriji lahko povzročijo slabše tesnjenje ali zmanjšano vzdržljivost materiala. Da bi preprečili pojav V-marke, je ključen strogi nadzor proizvodnega procesa, vključno z natančno kalibracijo valjev, spremljanjem napetostnih razlik in uporabo optičnih pregledov za

odkrivanje mikroskopskih nepravilnosti. Poleg tega sta priporočljiva redno čiščenje strojev in pravilno vzdrževanje proizvodnih linij, da se prepreči onesnaženje materiala z ostanki maziv, prahu ali oksidov, ki lahko vplivajo na končno kakovost folije.



Slika 6: V-mark

Vir: (Lastni vir)

5.3 Aditivi

Namen zamenjave aditivov

Na valjarni B5 smo preizkusili nov aditiv LUBRO ALF5/SL za valjčno olje, ki vsebuje mešanico alkoholov C₁₃-C₁₅ (100 %).

Namen je bil preizkus novega dobavitelja aditivov in izboljšati površino folije oziroma eliminirati pojav V-marka oziroma 'iceberg' deformacije na površini foliji, pri čemer bi ohranili

ostale lastnosti folije (omočljivost in prosto odvijanje, adhezivnost, svetlost folije in izgled folije po žarjenju). Hkrati se parametri na valjarni ob valjanju ne smejo poslabšati.

Kratek opis testiranj na valjarni B5

Izvedena je bila menjava valjčnega olja na valjarni B5. Po čiščenju delovne cisterne se je ta napolnila s 26.000 l rektifikata, 490 kg Lubro Al F5/SL. Začetna koncentracija alkohola Lubro AL-F5 SL je znašala 2,25 %. Pri aditiviranju smo imeli manjše težave, kajti na dnu sodov je bil aditiv še v trdem stanju in smo ga morali dodatno raztapljati v toplem valjčnem olju, kajti Lubro Al-F5 SL ima tališče pri 20 °C.

Občasno so se na foliji pojavili V-mark in prečne 'rebre' – napako na foliji smo reševali z višanjem koncentracije alkohola (Lubro Al F5/SL) v valjčnem olju, vendar povišana koncentracija aditivov v valjčnem olju ni vedno rešila problemov na površini folije.

Na valjarni B5 smo imeli tri kompletne menjave in 10 delnih menjav valjčnega olja, ob tem smo porabili skupno z rednim dolivanjem 9793 kg Lubro AL F5/SL. 5075 l AL F5/SL smo porabili za redna dolivanja, 2132 kg za menjave olja in 2586 kg za tretjinske menjave olja.

Med valjanjem na valjarni B5 smo spremljali naslednje parametre in naredili primerjavo med aditivi Lubitalie in ExxonMobil:

Tabela 2: Primerjava valjčnega olja

	Lubro Al-F5/SL	Wyrol 6, lavrinska kislina
Omočljivost A, B, C, D, E	A	A
Prosto odvijanje (m)	0,3	0,3
	Adhezivnost, povezana z % aditiva v valjčnem olju:	Ustrezna pri

Adhezivnost informacija kupca (testiranje kupca)	3,5 % Lubro Al F5	10–15 % nižja adhezivnost – kupec ne potrjuje kakovosti	0,65 % L. K in 2,9–4,0 % estra
	2,85 % Lubro Al F5	Ustrezna	
Izgled folije po žarjenju	Ustrezna		Ustrezna
Vpliv aditivov na hitrosti valj	Hitrost pada z višanjem koncentracije aditivov		Hitrost pada z višanjem koncentracije aditivov
Cena	~ 25 % nižja glede na Wyrol		

Vir: (Lastni vir)

V enakem časovnem obdobju smo primerjali število zamenjav rezervnih delov, ki so ali pa občasno prihajajo v stik z valjčnim oljem na valjarni B5.

Tabela 3: Menjava rezervnih delov na valjarni B5

Naziv rezervnega dela	Število zamenjanih rezervnih delov na valjarni B5
Senzor za pozicijo podpornih valjev NJ15 + U1 + A2	2
Senzor za zaklepanje delovnih valjev NJ2-12GM40-E2-V1	4
Senzor za pretrg folije OWV EG5 / SG52200	2 Po vgradnji drugega tipa nismo več imeli problemov z njim.
Laserski merilec premera DME 2000	1

	Po menjavi smo novi laser prestavili izven valjarne – zdaj je v redu.
Senzor za pozicijo podpornih vreten NJ15 + U1 + A2	4
Senzor za dvig podajalne mize na vstopni strani NJ15 + U1 + A2	2
Senzor za pozicijo vstopne naprave NJ15 + U1 + A2	2
Senzor za pozicijo brisalca spodnjega podpornega valja NJ15 + U1 + A2	1
Senzor za zasedenost skladišča tuljav NJ15 + U1 + A2	1
Ventili šob	20 kom zamenjanih, 12 kom popravljenih

Vir: (Lastni vir)

Na valjarni B5 je število menjav rezervnih delov in s tem povezanih zastojev na valjarni občutno povišano, za kar sta lahko vzrok aditiv Lubro Al F5 in/ali višja delovna temperatura valjčnega olja.

Naš osnovni cilj testiranja novih aditivov je bil povečanje redukcijske sposobnosti valjčnega olja in s tem izboljšanje površine folije (površina brez 'iceberg' deformacije), vendar nam aditiv Lubro Al F5/SL ni eliminiral posameznih defektov na površini folije.

Ocenjujem, da ima aditiv Lubro Al-F5/SL v splošnem dobre karakteristike, vendar v celoti za našo proizvodnjo ni sprejemljiv zaradi nižje vrednosti adhezivnosti pri določenih, malo višjih koncentracijah, ki pa so občasno nujne za zagotavljanje brezhibne površine folije. V primeru nadaljnje uporabe teh aditivov bi morali poskrbeti za dodatno ogrevanje sodov, kajti v zimskem času imamo probleme z doziranjem teh aditivov v valjčno olje zaradi visokega tališča. Ocenjujem tudi, da bi lahko bili aditivi s povišano temperaturo valjčnega olja vzrok za določene nujne menjave rezervnih delov na valjarni B5 in s tem povezane zastoje.

Dodatna tehnična analiza kaže, da aditivi, kot je Lubro Al-F5/SL, vplivajo na mehanske lastnosti procesa valjanja predvsem prek sprememb v trenju med valji in aluminijasto folijo. Z nižanjem koeficienta trenja se zmanjšajo sile, potrebne za deformacijo materiala, kar olajša proces, vendar lahko hkrati povzroči večjo občutljivost za drsne napake na foliji. Poleg tega se lahko spremeni prenos toplote, kar vpliva na hlajenje traku in porazdelitev napetosti v materialu, posledično pa lahko povzroči pojav površinskih defektov.

Z vidika ekonomike je treba poudariti, da vsak izpad proizvodnje zaradi menjave rezervnih delov pomeni znatno finančno izgubo. Ocenjeno je, da ena ura zastoja na valjarni B5 povzroči od 500 do 1000 evrov stroškov. V obdobju testiranja aditiva Lubro Al-F5/SL so bili zastoji pogostejši, kar kaže na morebitno povezavo med aditivom in delovanjem občutljivih mehanskih komponent, kot so senzorji in ventili.

Za prihodnja testiranja bi bilo smiselno uvesti bolj strukturiran pristop, ki vključuje fazno uvajanje novih aditivov, začetno testiranje v laboratorijskih pogojih (npr. na triboloških napravah), spremljanje stabilnosti aditiva pri različnih temperaturah ter zagotavljanje enotnih pogojev za primerjavo. Poleg tega bi morala biti uporaba grelnih sistemov za sode z aditivom standardna praksa, zlasti v zimskih mesecih, ko se pojavljajo težave z doziranjem zaradi visoke tališčne točke.

V mednarodni industriji aluminijaste folije se podobna testiranja običajno izvajajo z uporabo naprednih metod karakterizacije olj, kot so FTIR-analiza (Fourierjeva transformacijska infrardeča spektroskopija), analiza obrabe valjev ter spremljanje lastnosti oljnega filma med obratovanjem. V večjih evropskih podjetjih testiranja pogosto trajajo več mesecev in vključujejo sprotno statistično obdelavo procesnih podatkov za objektivno oceno rezultatov.

Poleg teh vidikov je pomembno tudi razumevanje okoljskih in varnostnih vplivov uporabe določenih aditivov. Alkoholna baza v Lubro Al-F5/SL lahko poveča hlapnost in s tem prispeva k večji eksplozijski nevarnosti pri neustreznem skladiščenju. Vsebnost aditiva lahko vpliva tudi na delovanje čistilnih naprav, če pride do izlitja ali kontaminacije odpadne vode. Zato je uporaba takšnih snovi smiselna le v strogo nadzorovanih pogojih in ob upoštevanju ustreznih ukrepov za zaščito okolja ter varnosti osebja.

Na podlagi izvedenih testiranj lahko zaključimo, da aditiv Lubro Al-F5/SL kljub nekaterim pozitivnim lastnostim (kot sta dobra omočitvena sposobnost in ustrezen videz po žarjenju) v danem primeru ni predstavljal optimalne rešitve. Nadaljnji razvoj bi moral biti usmerjen v iskanje aditiva, ki združuje visoko adhezivnost, temperaturno stabilnost in združljivost z obstoječo opremo ter zagotavlja dolgoročno stabilno proizvodnjo brez dodatnih negativnih vplivov na stroje ali kakovost izdelka.

5.4 Pršilne šobe

Pri zasnovi nove pršilne šobe je bila posebna pozornost namenjena simetrični porazdelitvi odtisov v zgornji in spodnji pršilni šobi. Obenem je bil povečan celoten pretok valjčnega olja proti pršilnim šobam. Z uporabo novih ventilov šob sta se bistveno izboljšali operativna varnost in splošna funkcionalnost sistema.

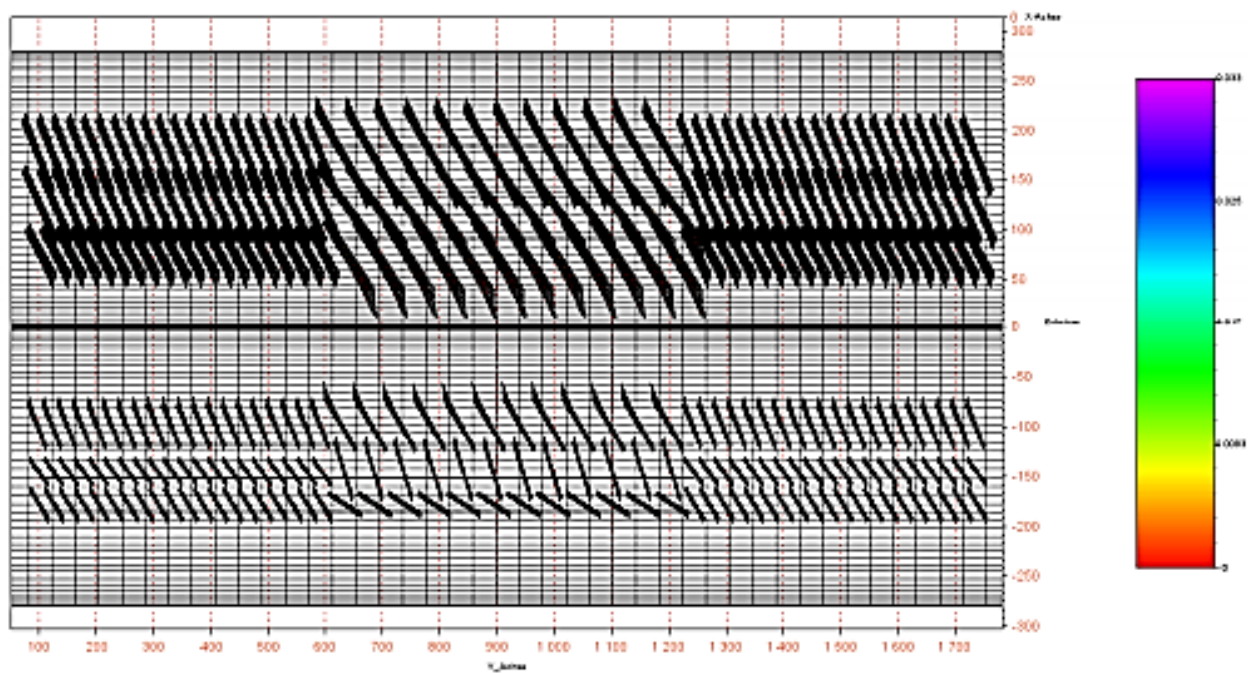
Zaradi zelo omejenega prostora v valjarniški enoti ni mogoče poljubno nameščati šob zgornje in spodnje pršilne leve. Stare zasnove, ki so temeljile na prostorninskem pretoku, so povzročale nepravilno odvajanje toplote.

Pri novi zasnovi šob je bilo upoštevano dejansko odvajanje toplote, kar je prilagojeno spremenjeni izbiri šob. Zato so prisotne manjše razlike med zgornjo in spodnjo pršilno šobo.

Sistem omogoča nanos in porazdelitev valjčnega olja iz hladilnega sistema na vhodni strani valjarne, tako na valje kot na material, ki ga je treba valjati, s pomočjo nadzorovanih šob.

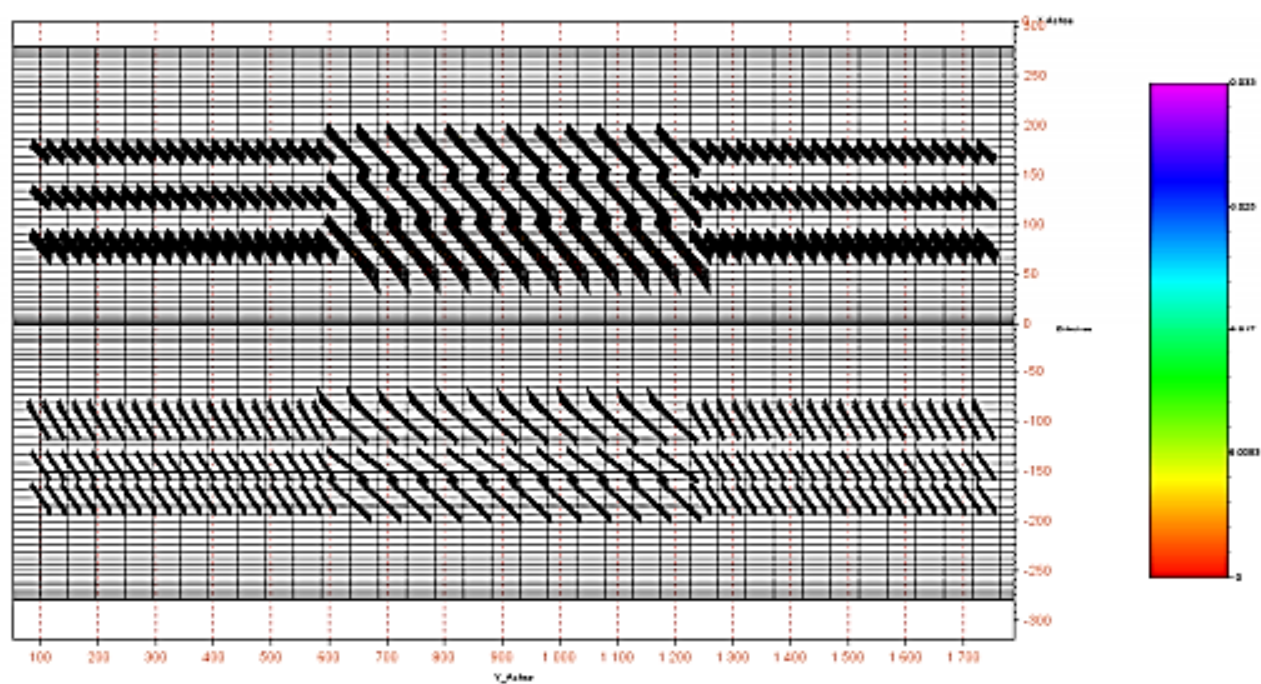
Šobe na podpornih in delovnih valjih so razporejene v cone in so opremljene z daljinsko upravljanimi vklopno-izklopnimi kontrolami. Razmik med šobami na delovnih valjih je enak kot pri obstoječi namestitvi. Nadzor delovanja se izvaja ročno prek monitorja na nadzornem pultu ali samodejno prek sistema za nadzor ravnosti.

Šobe, ki se nahajajo ena nad drugo na podpornih in delovnih valjih, so povezane v skupni nadzorni sistem. Vse šobe so V-curek linearne tipa s fiksnim naklonom, da se curki med seboj ne križajo.



Slika 7: Skica starih zasnovanih pršilnih šob

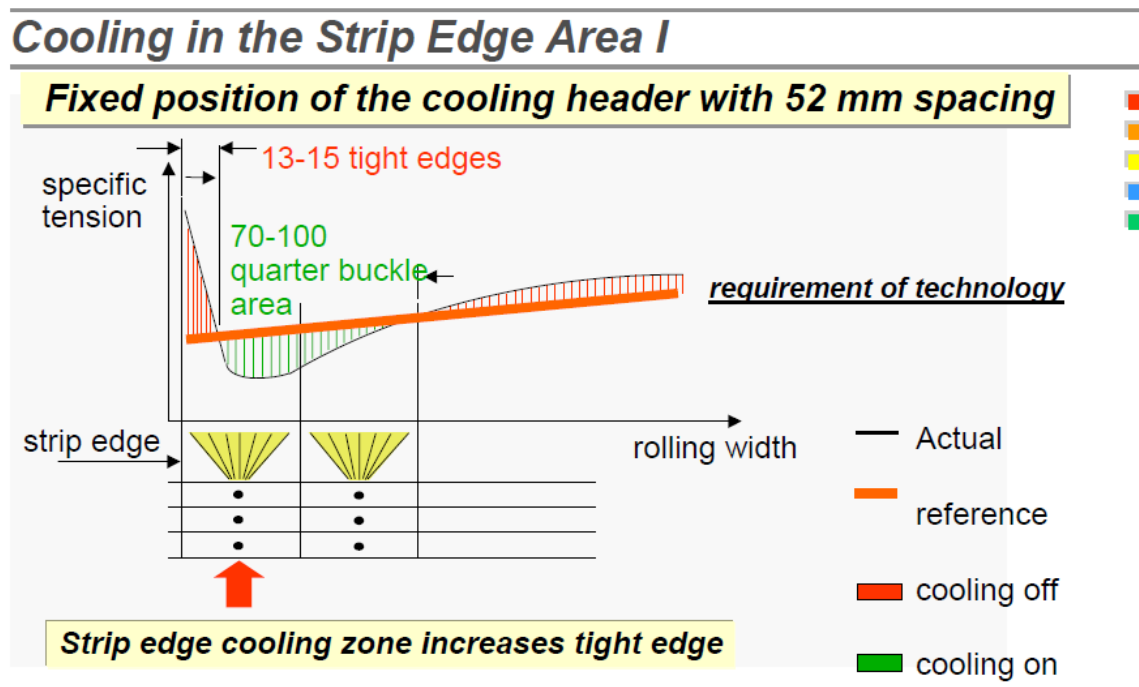
Vir: (Lastni vir)



Slika 8: Skica novih zasnovanih pršilnih šob

Vir: (Lastni vir)

Z uvedbo novih hladilnih con se bistveno izboljša enakomernost hlajenja delovnih valjev, kar vodi do boljše kakovosti valjanega materiala z zmanjšanjem površinskih napak, kot sta 'iceberg' deformacija in valovitost. Enakomerna porazdelitev toplotnih obremenitev zmanjšuje tveganje za toplotne šoke in utrujenostni lom valjev, s čimer se podaljša njihova življenjska doba in zmanjša potreba po vzdrževanju. Novi ventili šob omogočajo natančnejše doziranje valjčnega olja, kar poveča operativno varnost in zanesljivost procesa, hkrati pa omogoča večje hitrosti valjanja brez tveganja za deformacije materiala. Rezultati so večja proizvodna učinkovitost, doslednejša kakovost izdelkov ter zmanjšanje stroškov zaradi manj odpadnega materiala in krajših zastojev v proizvodnji.

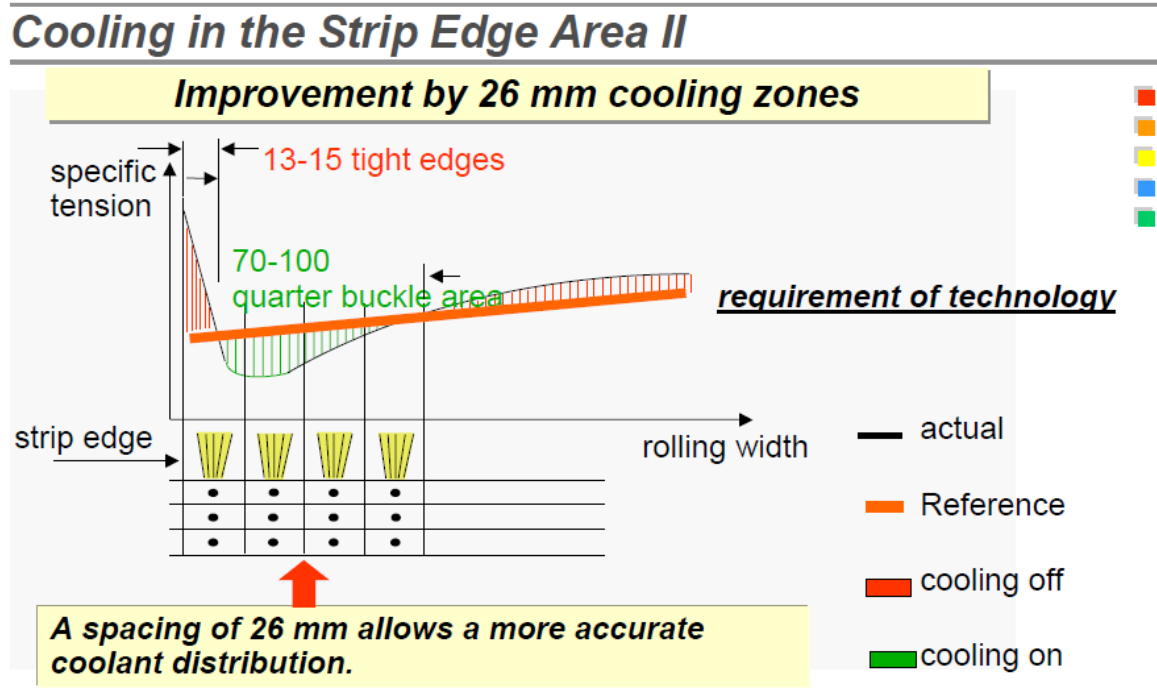


Slika 9: Fiksna pozicija hladilne letve z 52-mm razmikom

Vir: (Lastni vir)

Tradicionalni sistem hlajenja robov traku s fiksno pozicijo hladilne letve in 52-mm razmikom med šobami ni omogočal enakomerne porazdelitve hladilnega sredstva. Zaradi prevelikega razmika so se na robovih traku pojavljale povečane toplotne napetosti. Prehod iz fiksne sistema z 52-mm razmikom med šobami na 26-mm razmik omogoča enakomernejšo

porazdelitev hladilnega sredstva po celotni širini traku. To zmanjšuje temperaturne razlike med robovi in sredino traku, kar preprečuje deformacije, kot so valovitost ali napetostne cone.

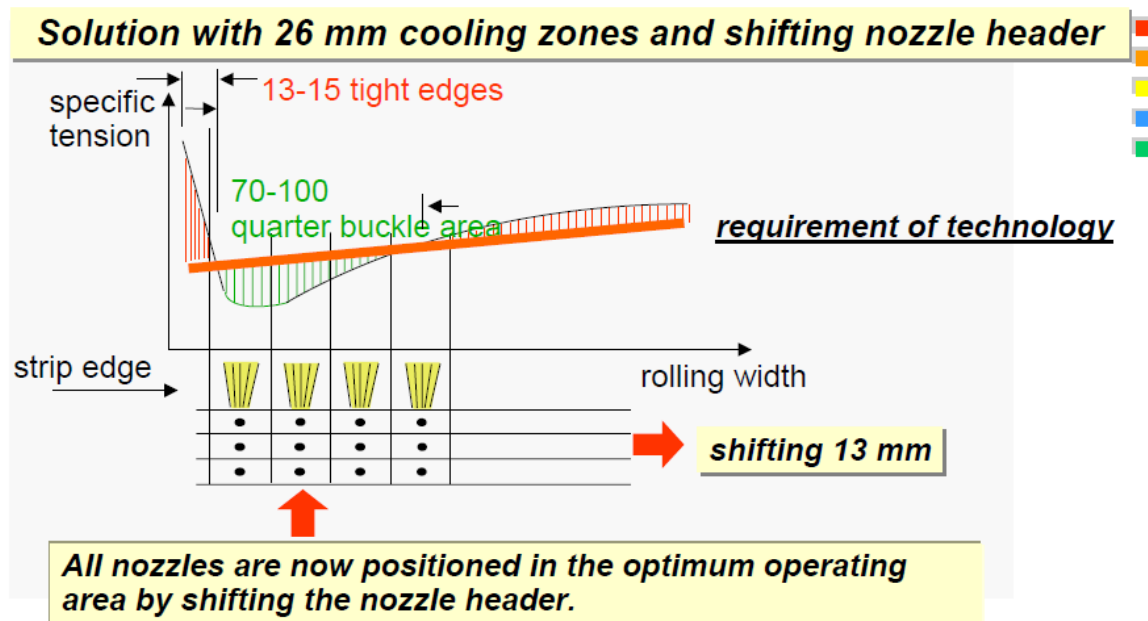


Slika 10: Izboljšava s 26-mm hladilnimi conami

Vir: (Lastni vir)

Nadgradnja sistema z uvedbo 26-mm hladilnih con je bistveno izboljšala porazdelitev hladilnega sredstva po robovih traku. Manjši razmik med šobami omogoča natančnejše hlajenje, kar zmanjšuje temperaturne razlike in napetostne cone, ki so bile značilne za prejšnji sistem z 52-mm razmikom. S tem se zmanjša možnost nastanka 'tight edges' in 'iceberg' deformacij, kar pomeni bolj ravno in homogeno strukturo traku.

Cooling in the Strip Edge Area III

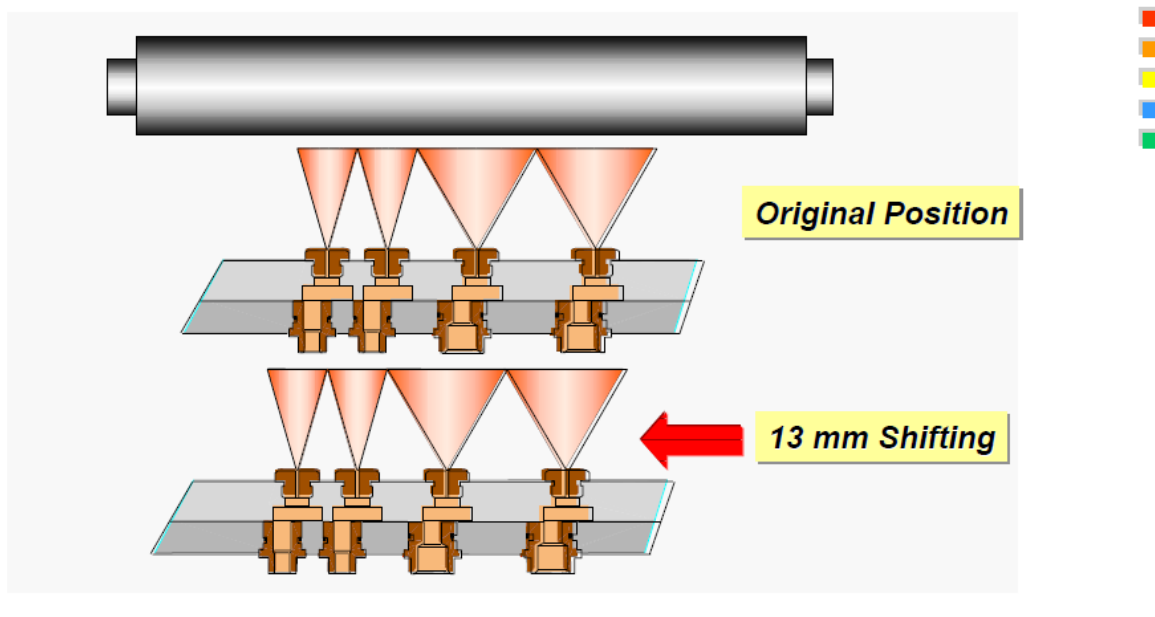


Slika 11: 26-mm hladilne cone in premična pršilna letev

Vir: (Lastni vir)

Kombinacija 26-mm hladilnih con in premične pršilne letve omogoča dodatno optimizacijo hlajenja robov traku. Sistem omogoča premik pršilne letve za 13 mm, kar omogoča natančno usmeritev hlajenja na kritična območja traku. S tem so vse šobe postavljene v optimalno delovno območje, kar izboljša enakomernost hlajenja in zmanjša napetost na robovih traku. Ta prilagodljivost omogoča boljši nadzor nad temperaturo traku, kar zmanjšuje deformacije, izboljšuje kakovost valjanja in povečuje stabilnost proizvodnega procesa.

Spray Area at Work Rolls with shiftable Spray Header



Slika 12: Premik pršilne letve za 13 mm

Vir: (Lastni vir)

V prejšnji konfiguraciji so bile šobe nameščene na fiksni poziciji, kar ni omogočalo optimalnega hlajenja celotnega traku. Z nastavitvijo pršilne letve za 13 mm so šobe zdaj natančno usklajene s širino traku, kar zagotavlja enakomerno hlajenje in zmanjšanje temperaturnih razlik med robovi in sredino traku. To vodi do manj napetostnih con, manj deformacij in boljše kakovosti končnega izdelka. Poleg izboljšane kakovosti valjanja sistem zmanjšuje tudi izmet materiala in stroške proizvodnje.

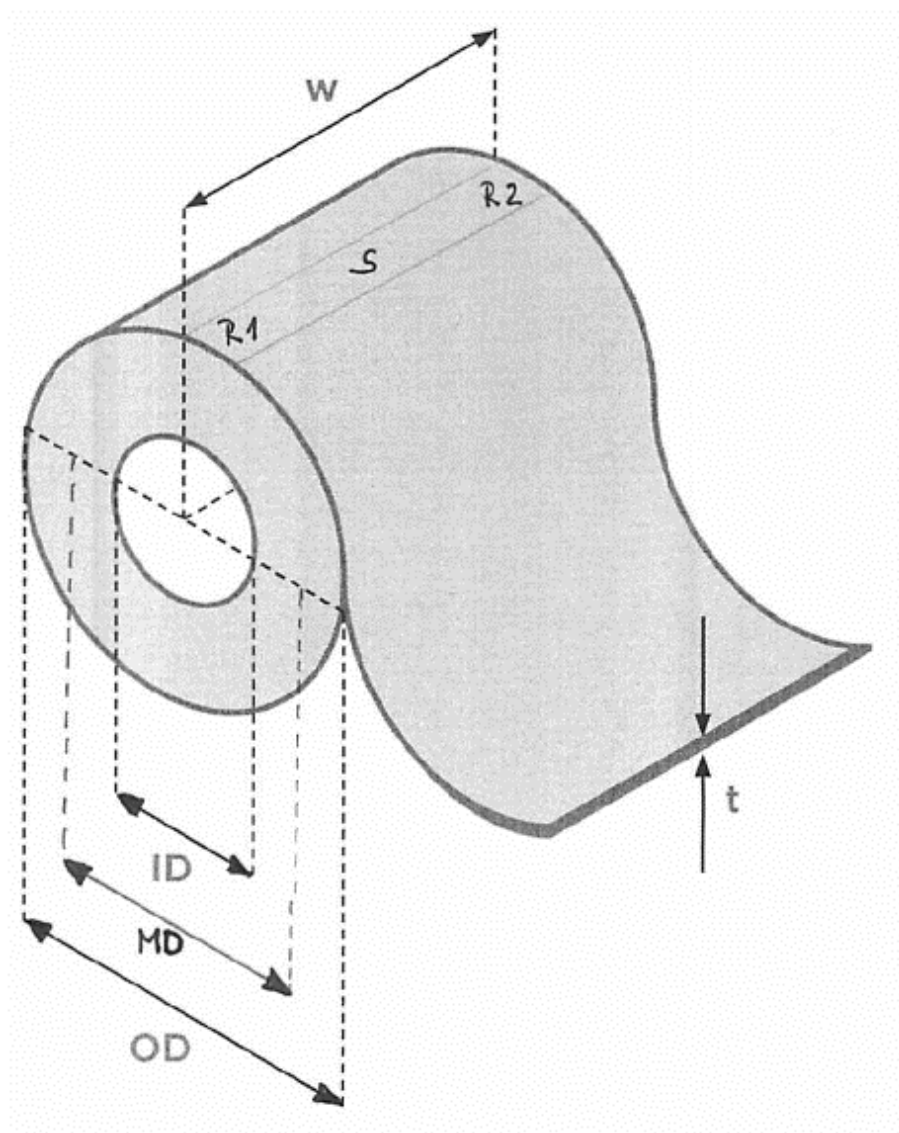
Nov sistem je zanesljiv. Do sedaj je bila zamenjana po 1 šoba na sistem (od 7 dovoljenih), kar ni povzročilo zastojev zaradi preprostejšega načina vzdrževanja. Iz naslova vzdrževanja bosta naložbi povrnjeni v 7 letih (zmanjšanje zastojev in nakup rezervnih delov za vzdrževanje – 100.000 EUR letno, naložba 700.000 EUR). Zanesljivejše delovanje novih sistemov je omogočilo osnove za obrat trendov padanja hitrosti. Tako so se hitrosti na B5 v primerjavi z letom 2023 povečale za 6 %.

5.5 Vzorčenje

Pravilno vzorčenje aluminijastih kolobarjev in natančno preverjanje materiala sta ključna za zagotavljanje konsistentne kakovosti in odkrivanje morebitnih napak, preden pride do nadaljnje obdelave ali dostave končnim uporabnikom. Proces vzorčenja vključuje sistematičen odvzem vzorcev iz različnih delov kolobarja, da se preverijo homogenost mikrostrukture, mehanske lastnosti in površinska kakovost. S tem se identificirajo morebitne nepravilnosti v legiranju, prisotnost vključkov, poroznost ali razpoke, ki bi lahko vplivale na končne lastnosti izdelka.

Natančno preverjanje materiala vključuje analizo kemične sestave, merjenje debeline in ravnosti folije, preizkušanje mehanskih lastnosti (npr. natezne trdnosti, razteznosti) ter vizualni pregled površinskih defektov. Prav tako se lahko uporabljata ultrazvočna ali rentgenska analiza, ki omogočata odkrivanje notranjih napak, ki jih s prostim očesom ni mogoče zaznati.

S pravilnim vzorčenjem in preverjanjem se izboljša sledljivost proizvodnega procesa, kar omogoča pravočasno ukrepanje v primeru odstopanj. To zmanjšuje količino izmeta, izboljšuje stroškovno učinkovitost in povečuje zadovoljstvo kupcev, saj se zagotovi, da so dobavljeni aluminijasti izdelki skladni z zahtevanimi standardi in specifikacijami.



Slika 13: Priprava kolobarja za vzorčenje

Vir: (Lastni vir)

ID – notranji premer kolobarja

MD – sredina kolobarja, ki je polovica dolžine traku

ID – zunanji premer kolobarja

R1 – rob 1, gledano na širino kolobarja

S – sredina kolobarja, gledano na širino kolobarja

R2 – rob 2, gledano na širino kolobarja

W – širina kolobarja

t – debelina valjanega materiala

Vzorci čez celotni matični kolobar se vzorčijo na mestih OD, MD in ID v primeru, ko gre kolobar na previjanje, in sicer na treh mestih vzdolž širine: R1, S in R2. Vzorci se odvzamejo čez celotno širino kolobarja, v višini 30 cm. Odvzete vzorce je treba primerno zaščititi s kartonom ali PVC-folijo, da med plasti ne prideta zrak in vlaga, ter jih takoj po vzorčenju dostavimo v kemijski laboratorij. Vzorci se označijo z DN, TRE, zlitino in dimenzijo vzorca (debelina in širina) ter lokacijo odvzetega vzorca (ID, MD, OD).

Vzorci za analizo pripravljamo sproti z rokavicami in pincetami. Izmerimo vzorec (prib. format A4) in preštejemo število plasti vzorca (odvisno od debeline).

Tabela 4: Debelina aluminijaste folije in število plasti

Debelina Al folije	Št. plasti odvzete folije
< 20 μm	16 plasti-2*
$\geq 20 - 25 \mu\text{m}$	12 plasti-2*
$\geq 26 - 50 \mu\text{m}$	10 plasti-2*
$\geq 51 - 100 \mu\text{m}$	6 plasti-2*
$\geq 100 \mu\text{m}$	3 plasti-2*

Vir: (Lastni vir)

2* – dve plasti, zgornjo in spodnjo, odstranimo, ker je bila v stiku z drugimi površinami (škarje, rokavice, delovno orodje itd.).

Na očiščeno površino standardiziranih škarij položimo vzorec A4 in z njimi odrežemo večplastni trak. Trak iz škarij nato odvezamo s pinceto. Z drugo pinceto odstranimo zgornjo in spodnjo plast vzorca (kontaminirani plasti). Vzorec previdno, s pincetama, prepognemo/zložimo, da se prilega ladjici. Tako pripravljen vzorec je primeren za vzorčenje.

5.5.1 Kontrola debeline aluminijaste folije

Določa postopek merjenja in izračunavanja, na osnovi katerega dobimo točne podatke o debelini, merjeni na izbranem mestu.

Debelino folij merimo s pomočjo mikrometra ali preračuna krožnega izseka po opisu spodaj.

S pomočjo naprav za izsekovanje (pnevmatske ali ročne) iz kontrolnega vzorca izrežemo krožni izsek velikosti 1 dm². Vzorec mora biti brez gub, olja na površini in mehanskih poškodb. Tako omogočimo, da so tehtane vrednosti točne.

Odčitane vrednosti tehtanja s pomočjo formule, v katero vstavimo zahtevane vrednosti, preračunamo v debelino folije v mikronih [μm].

Debelina folije se določi na osnovi formule:

$$h = \frac{100 \times T}{G}$$

h debelina [μm]

T rezultat tehtanja [g]

G specifična teža [g/cm³]:

- 2,66 za P30
- 2,68 za P32
- 2,70 za A30
- 2,71 za AF11, AF40, AF60, AF62, AF65, AF66, KF40, AF21, M13T
- 2,72 za M15, AF44, AF46, M12K
- 2,725 za P15
- 2,73 za AF42, AF43, TF43, M11, M11T, M14F, M14K
- 2,74 za KF43, PD10
- 2,75 za PD11

Sodobna industrijska praksa vse bolj vključuje digitalizirano spremljanje vzorčenja, kjer se vsak odvzem beleži v sistem za kakovost z datumom, časom, lokacijo in odgovornim operaterjem. Tak način evidentiranja omogoča popolno sledljivost in takojšnje ukrepanje ob zaznanih odstopanjih. Napredni pristopi vključujejo tudi označevanje vzorcev z QR-kodami, kar dodatno poenostavi arhiviranje in obdelavo podatkov.

Poleg tehničnih vidikov ima pravilno vzorčenje tudi organizacijski pomen. V proizvodnih obratih z visoko stopnjo avtomatizacije je natančno določena frekvenca vzorčenja (npr. vsakih 2000 metrov traku) del sistema za zagotavljanje kakovosti. S tem se zagotavlja stalno spremljanje kakovosti izdelka brez nepotrebnega zmanjševanja pretočnosti procesa. Pogostost vzorčenja mora biti uravnotežena med operativno učinkovitostjo in statistično zanesljivostjo podatkov.

Dodatno vrednost pri vzorčenju prinaša povezava s kakovostnimi analizami, kot so analiza trendov v laboratorijskih meritvah. Če se na več zaporednih vzorcih pokaže trend poslabšanja mehanskih lastnosti ali površinske kakovosti, je mogoče preventivno ukrepati še pred nastopom defekta. Takšen pristop omogoča proaktivno vodenje proizvodnje in zmanjšuje odvisnost od reaktivnega odpravljanja napak.

Poleg tega se v laboratorijski praksi pogosto izvajajo tudi medlaboratorijske primerjave, s katerimi se preverja ponovljivost rezultatov. To pomeni, da se isti vzorec pošlje v različne laboratorije, kjer se primerja skladnost rezultatov, kar povečuje zanesljivost in verodostojnost analiz.

5.6 Digitalizacija in avtomatizacija procesa

Digitalizacija proizvodnih procesov postaja ključni dejavnik pri doseganju večje učinkovitosti, kakovosti in sledljivosti v industriji valjanja. V okviru valjarne B5 se postopoma uvajajo elementi avtomatizacije in digitalnega nadzora, ki omogočajo boljše upravljanje s podatki, zmanjšujejo človeške napake ter omogočajo hitro odzivanje na spremembe procesnih parametrov.

Med ključne komponente digitalnega nadzora sodijo sistemi SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), ki omogočajo centraliziran nadzor nad delovanjem strojev, spremljanje ključnih parametrov v realnem času in oddaljeno upravljanje. S pomočjo teh sistemov se na valjarni B5 beležijo podatki o temperaturah, tlakih, hitrosti valjanja, porabi valjčnega olja in delovanju šob. Ti podatki se arhivirajo in so osnova za kasnejšo analizo ter optimizacijo procesov. Pomemben vidik avtomatizacije je tudi uporaba senzorjev in merilnih sistemov, ki so nameščeni neposredno na ključnih točkah valjarne. Ti senzorji omogočajo hitro zaznavanje odstopanj, kot so tresljaji, pregrevanje, nepravilna porazdelitev maziva ali nenadna sprememba napetosti folije. Takojšen odziv na te dogodke bistveno zmanjša tveganje za nastanek poškodb materiala ali izmeta.

V prihodnje se predvideva nadgradnja z digitalnim dvojnim modelom valjarne B5. Digitalni dvojček je virtualni model fizičnega sistema, ki v realnem času odraža njegovo stanje, s čimer omogoča simulacije, analize in napovedovanje možnih napak, še preden se te dejansko zgodijo. To podjetju omogoča preventivno vzdrževanje, zmanjšanje nenačrtovanih zastojev in boljšo uporabo obstoječih zmogljivosti. Digitalizacija v kombinaciji z naprednimi analiznimi orodji omogoča uvajanje koncepta pametne tovarne, kjer se odločitve sprejemajo na podlagi podatkov in umetne inteligence. V okviru valjarne B5 bi to pomenilo bolj optimalno razporejanje virov, zmanjšanje porabe energije ter izboljšano kakovost izdelkov z manj napakami in izmeti.

Poleg operativnih koristi digitalizacija prispeva tudi k boljši sledljivosti materialov. Vsak kolobar aluminijaste folije je mogoče opremiti z unikatno identifikacijsko kodo, ki omogoča sledenje vseh ključnih parametrov v proizvodnem ciklu, od vhodne surovine do končnega izdelka. Tako je omogočeno hitro ukrepanje v primeru reklamacij ali analize vzrokov napake.

Digitalni pristopi omogočajo tudi povezavo z ERP sistemi (Enterprise Resource Planning), s čimer se doseže celovit vpogled v poslovne in proizvodne procese. Na ta način je mogoče sinhronizirati proizvodnjo z dobavno verigo, zmanjšati zaloge in izboljšati odzivni čas na spremembe naročil.

Za uspešno implementacijo digitalnih rešitev je ključna tudi kultura podjetja. Zaposleni morajo biti ustrezno usposobljeni za delo z novimi tehnologijami, poleg tega pa mora biti prisoten tudi pozitiven odnos do sprememb. Le celostni pristop, ki vključuje tehnologijo, procese in ljudi, lahko vodi v dolgoročno uspešno digitalno transformacijo proizvodnje na valjarni B5.

6 TRAJNOST

Trajnost v okviru diplomskega dela se osredotoča na tehnološke izboljšave in optimizacijo proizvodnih procesov na valjarni, ki neposredno vplivajo na zmanjšanje okoljskega odtisa, večjo energetsko učinkovitost in povečano trajnost izdelkov. Z uvedbo optimiziranega sistema pršilnih šob, ki omogoča enakomernejše hlajenje in zmanjšanje temperaturnih gradientov, smo dosegli zmanjšano porabo hladilnega sredstva in posledično manjšo obremenitev okolja. Natančno usmerjeno hlajenje omogoča manjši izmet materiala, kar pomeni večji izkoristek vhodnih surovin in manjšo količino odpadkov v proizvodnem procesu.

Poleg zmanjšanja proizvodnih izgub smo s premično pršilno letvijo in izboljšano regulacijo hlajenja dosegli povečano energetsko učinkovitost, saj se sedaj hlajenje prilagaja realnim potrebam, namesto da bi delovalo enakomerno čez celotno širino traku. To pomeni zmanjšano porabo energije in optimizacijo delovanja hladilnega sistema, kar prispeva k trajnostni proizvodnji in nižjim emisijam toplogrednih plinov. Z uvedbo natančnega nadzora procesov, ki omogoča boljšo ponovljivost valjanja in zmanjšanje napak, smo povečali kakovost izdelkov, kar vodi v daljšo življenjsko dobo aluminijastih materialov in manjšo potrebo po ponovnih predelavah. Hkrati je izboljšana kakovost aluminijastih izdelkov pomemben korak k širši uporabi recikliranih materialov, saj omogoča večji delež sekundarnih surovin v proizvodnem procesu, kar prispeva k vzpostavitvi krožnega gospodarstva. Povečana zanesljivost novega sistema pomeni tudi manj zastojev in manjšo potrebo po vzdrževanju, kar zmanjšuje potrošnjo rezervnih delov in s tem povečuje trajnost opreme. Na podlagi ekonomske analize se bo investicija v sistem povrnila v sedmih letih, pri čemer bodo letni prihranki zaradi zmanjšanja zastojev in optimizacije vzdrževanja znašali 100.000 letno, kar dokazuje ekonomsko in okoljsko trajnost uvedenih izboljšav.

Na splošno trajnostne pridobitve teh tehnoloških izboljšav zajemajo zmanjšanje porabe surovin in energije, zmanjšanje količine proizvodnih odpadkov, optimizacijo hlajenja in povečano življenjsko dobo valjčne opreme, kar vse skupaj vodi v učinkovitejšo, ekonomsko vzdržno in okoljsko odgovorno proizvodnjo aluminijastih folij.

V širšem kontekstu industrije valjanja aluminija trajnost vključuje tudi koncept življenjskega cikla izdelka, kjer se že v fazi načrtovanja upoštevajo okoljski vplivi skozi celotno življenjsko dobo izdelka. To vključuje izbiro materialov, ki omogočajo lažje recikliranje, uporabo proizvodnih postopkov z nižjo energetsko intenzivnostjo ter zmanjševanje embalaže in

transportnih zahtev. Poleg tehnoloških ukrepov se uveljavlja tudi načelo trajnostnega upravljanja z viri, ki vključuje učinkovito rabo vode, ravnanje z odpadnimi materiali, ter zmanjševanje emisij v zrak in tla. S tem se proizvodnja aluminijastih folij vse bolj približuje načelom zelenega prehoda in podnebne nevtralnosti.

Dolgoročno gledano trajnost pomeni tudi povečanje konkurenčnosti industrije, saj okoljsko odgovorni postopki postajajo vse pomembnejši dejavnik pri odločanju kupcev. Uporaba tehnologij, ki temeljijo na zmanjšanju okoljskih vplivov, prinaša koristi ne le okolju, temveč tudi proizvajalcem, saj omogoča nižje stroške, boljšo skladnost z zakonodajo in večje zaupanje trga.

V prihodnosti bo trajnostni razvoj v industriji valjanja zahteval nadaljnje inovacije, interdisciplinarno sodelovanje in celovit pristop, ki bo poleg tehnoloških rešitev upošteval tudi družbene in ekonomske vidike trajnostne proizvodnje.. (Impol 2000, d. d., 2025)

7 SKLEP

Zaključek diplomskega dela potrjuje, da so bili zastavljeni cilji izboljšave valjanja tanke aluminijaste folije na valjarni B5 doseženi. S celovito analizo proizvodnega procesa, proučitvijo tehnoloških parametrov in implementacijo predlaganih izboljšav smo dosegli bolj homogeno valjanje, zmanjšali deformacije materiala in izboljšali kakovost končnega izdelka. Uvedene optimizacije, kot so zamenjava pršilnih šob, uvedba 26-mm hladilnih con in prilagodljive hladilne letve, so omogočile boljše hlajenje robov traku, kar je neposredno vplivalo na zmanjšanje napetostnih razlik po širini traku.

Postavljena hipoteza, da pravilno vzorčenje aluminijastih kolobarjev in natančno preverjanje materiala omogočata doseganje izboljšav, je bila potrjena. S skrbno analizo vzorčenih aluminijastih kolobarjev, kontrolo mikrostrukture, kemične sestave in mehanskih lastnosti smo identificirali kritične točke v procesu valjanja ter jih uspešno naslovili. Rezultati analiz so pokazali, da se ob doslednem nadzoru kakovosti že v začetnih fazah proizvodnje lahko pravočasno prepoznajo potencialne napake, kar omogoča njihovo odpravo pred nadaljnjo obdelavo. To ne prispeva le k višji kakovosti izdelkov, temveč tudi k zmanjšanju količine izmeta in posledično nižjim proizvodnim stroškom.

Ključne ugotovitve raziskave kažejo na znatno zmanjšanje površinskih napak, kot so V-mark in 'iceberg' deformacije, izboljšanje ravnosti folije ter boljše obvladovanje temperaturnih razlik po širini traku. Uvedba novih pršilnih šob je omogočila enakomerno porazdelitev hladilnega sredstva, kar je vodilo k zmanjšanju temperaturnih gradientov in posledično k stabilnejšemu proizvodnemu procesu. Prav tako so bile s pravilnim vzorčenjem in nadzorom tehnoloških parametrov preprečene napake, ki so se prej pogosto pojavljale zaradi neenakomernega hlajenja in neustreznih nastavitev strojev.

Predlagane izboljšave, kot so premične hladilne letve, so omogočile prilagodljivo hlajenje robov traku in zmanjšanje napetostnih con, kar je privedlo do večje konsistence kakovosti po celotni širini traku. Ta prilagodljivost je omogočila boljšo prilagoditev hlajenja različnim širinam materiala, kar je pomembno za doseganje optimalnih rezultatov pri različnih vrstah proizvodnje. S tem smo izboljšali tudi ponovljivost procesa in zmanjšali potrebo po ročnih prilagoditvah, kar je prispevalo k večji produktivnosti in manjšim stroškom dela.

Iz analize rezultatov je razvidno, da optimizacija tehnoloških parametrov ni izboljšala le kakovosti končnih izdelkov, temveč je tudi zmanjšala stroške proizvodnje in izboljšala energetske učinkovitost. Z natančnejšim hlajenjem in doslednejšim nadzorom procesa smo zmanjšali količino izmeta, kar pomeni manjšo porabo surovin in nižje stroške ponovne obdelave. To ima pomemben vpliv tudi na okoljsko trajnost proizvodnje, saj se z manj izmeta zmanjšajo tudi potrebe po energiji in materialu za ponovno obdelavo.

Dolgoročno gledano bodo te izboljšave pripomogle k večji konkurenčnosti podjetja na trgu, saj bodo omogočile stabilno proizvodnjo izdelkov visoke kakovosti, ki izpolnjujejo zahteve kupcev in standarde industrije. Nadaljnje izboljšave lahko dosežemo z nadaljevanjem sistematičnega spremljanja procesnih parametrov, rednim vzdrževanjem nove opreme in nadgradnjo sistemov za avtomatizirano spremljanje kakovosti v realnem času. Priporočamo tudi nadaljnje izobraževanje operaterjev in vzdrževalnega osebja, da bodo lahko kar najbolje izkoristili nove tehnološke rešitve in s tem še dodatno povečali učinkovitost proizvodnje.

Zaključimo lahko, da je celovit pristop k analiziranju, prilagajanju parametrov in uvajanju novih tehnologij omogočil doseganje višje produktivnosti, nižjih stroškov in boljše kakovosti aluminijaste folije. Diplomsko delo potrjuje, da so natančne analize, skrbno vzorčenje in pravilno nastavljeni tehnološki parametri ključni za doseganje visoke kakovosti izdelkov in za dolgoročno konkurenčnost podjetja na trgu.

8 VIRI

Achenbach Buschhütten GmbH & Co. KG. (9. februar 2025). *Achenbach*. Pridobljeno iz <https://www.achenbach.de/en/>

aluminium-exhibition. (9. februar 2025). *Aluminium*. Pridobljeno iz aluminium-exhibition: <https://www.aluminium-exhibition.com/en-gb/visitors/exhibitorlist/Ausstellerdetails.achenbach%20buschh%C3%BCtten%20gmbh%20%20co%20kg.org-3c49a6cf-5c1f-4ab2-a7f0-8241b8d8a8a6.html#/>

Barten, A. E. (2002). *Aluminium rolling mill techonolgy*. TMS, USA.

E. T. Smith, L. H. (2022). The Impact of Rolling Parameters on the Properties of Aluminum Foil. *Materials Science and Engineering: A*, 1440-02.

George E. Totten, D. S. (2003). *Handbook of Aluminum: Volume 2: Materials and Finishing*. New York, NY: Marcel Dekker.

Impol 2000, d. d. (29. januar 2025). *Impol*. Pridobljeno iz Politika trajnostni razvoj: https://www.impol.si/app/uploads/2020/03/SLO_politika_trajnostni_razvoj.pdf

McCulloch, J. C. (1998). *Aluminum Rolling: Principles, Practices, and Applications*. New York, NY: ASM International.

Process element control and key process of cold-rolled aluminum alloy coil. (8. februar 2025). Pridobljeno iz EA Machine: <http://m.si.eamachine.com/info/process-element-control-and-key-process-of-col-89352820.html>