

## GREŠKE I MOGUĆI UZROCI GREŠAKA KOD PROCESA ZAVARIVANJA U PROIZVODNJI PVC STOLARIJE

### ERRORS AND POSSIBLE CAUSES OF ERRORS IN THE WELDING PROCESS IN THE PRODUCTION OF PVC JOINERY

**Sabahudin Jašarević, Redovni profesor  
Politehnički fakultet Univerziteta u Zenici  
Fakultetska 1, 72000 Zenica**

**Adisa Halilović, dipl.inž.maš.  
Mašinski fakultet u Zenici  
Fakultetska 1, 72000 Zenica**

#### **REZIME**

*PVC stolarija, koja obuhvata proizvode kao što su prozori, vrata, rolete postala je ključna komponenta u modernoj građevinskoj industriji. Zbog svojih izuzetnih karakteristika, poput visoke energetske efikasnosti, otpornosti na vlagu, lakoće održavanja i dugotrajnog trajanja, PVC stolarija je postala popularan izbor u mnogim građevinskim projektima. Za postizanje optimalnih performansi i dugotrajnosti ovih proizvoda, važno je da se proces njihove proizvodnje izvodi sa visokim nivoom preciznosti i kvaliteta.*

*Rad je baziran na istraživanju grešaka koje se mogu pojaviti tokom procesa zavarivanja PVC profila, kao i mogućih uzroka tih grešaka. Zavarivanje PVC profila je specifičan proces koji zahtjeva preciznost i pažljivo upravljanje različitim faktorima kao što su temperatura, brzina zavarivanja, pritisak. U radu se analiziraju najčešće greške koje se javljaju, kao što su pucanje materijala, deformacije, nepravilnosti u spojevima. Također, razmatraju se uzroci tih grešaka. Pored toga, rad se fokusira na ispitivanje čvrstoće zavera kao ključnog parametra u osiguravanju dugotrajnog i sigurnog spajanja.*

**Ključne riječi:** PVC stolarija, zavarivanje, greške, uzroci grešaka

#### **ABSTRACT**

*PVC joinery, which includes products such as windows, doors, roller shutters, has become a key component in the modern construction industry. Due to its exceptional characteristics, such as high energy efficiency, moisture resistance, ease of maintenance and long-term durability, PVC joinery has become a popular choice in many construction projects. To achieve optimal performance and durability of these products, it is important that their production process is carried out with a high level of precision and quality.*

*The paper is based on the study of errors that can occur during the welding process of PVC profiles, as well as the possible causes of these errors. Welding of PVC profiles is a specific process that requires precision and careful management of various factors such as temperature, welding speed, pressure. The paper analyzes the most common errors that occur, such as material cracking, deformation, irregularities in the joints. It also considers the causes of these errors. In addition, the paper focuses on testing the strength of the weld as a key parameter in ensuring long-term and safe joining.*

**Keywords:** PVC joinery, welding, mistakes, causes of mistakes

## 1. UVOD

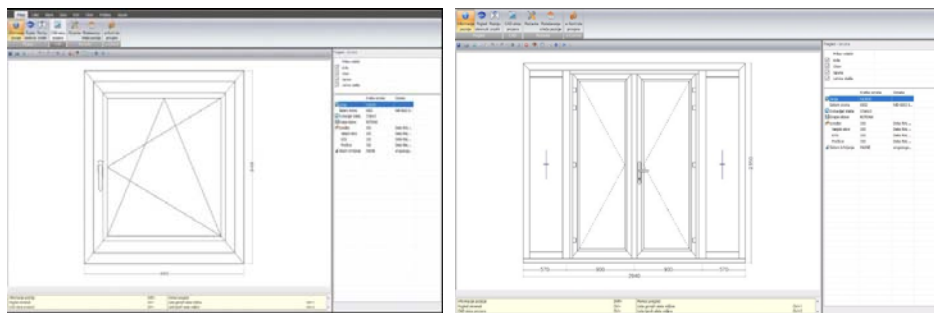
PVC je najzastupljeniji plastični materijal, od kojeg se proizvodi širok spektar proizvoda. Postoji veliki broj materijala i kombinacija materijala za izradu stolarije. Prije se za izradu stolarije najviše koristilo drvo koje kroz godine upotrebe jako gubi na energetske učinkovitosti pa su se tražila druga rješenja koja bi spriječila veliki gubitak topline zbog stolarije.

PVC stolarija, koja obuhvata proizvode kao što su prozori, vrata, rolete postala je ključna komponenta u modernoj građevinskoj industriji. Zbog svojih izuzetnih karakteristika, poput visoke energetske efikasnosti, otpornosti na vlagu, lakoće održavanja i dugotrajnog trajanja, PVC stolarija je postala popularan izbor u mnogim građevinskim projektima. Za postizanje optimalnih performansi i dugotrajnosti ovih proizvoda, važno je da se proces njihove proizvodnje izvodi sa visokim nivoom preciznosti i kvaliteta.

U početku razvoja plastične stolarije profili su se proizvodili od različitih polimernih materijala. Mnogi od tih materijala imali su puno bolja svojstva od poli (vinil-hlorida), ali u kombinaciji s različitim aditivima PVC se pokazao kao najbolji, ne samo zbog prihvatljive cijene nego i sa stajališta kvalitete i energetske učinkovitosti u stambenim objektima. [1]

## 2. TEHNOLOGIJA IZRADE PVC STOLARIJE U “BN STEP”

Proizvodnja PVC stolarije vrlo je jednostavna. Prvo dobijamo nalog od kupca. Nakon toga napravi se novi nalog u programu Klaes pod nazivom kupca. Zatim se crtaju pozicije (vrata ili prozori) redosljedom. Potrebno je da se prati vrsta okvira, krila, vrsta stakla, količina pozicije (vrata ili prozori) i dodatna oprema. Slika 1a) i 1b). [2]



a) prozor

b) dvokrilna vrata

Slika 1. Crtež u programu Klaes

Program Klaes je povezan sa mašinama u proizvodnom pogonu i nakon puštanja naloga u pogon automatski se na mašinama prikaže broj radnog naloga i radnici znaju šta je potrebno da režu, obrađuju i spajaju, zavisi koja mašina je u pitanju. Operacije koje je potrebno obraditi su: rezanje (Slika 1.a), HFL obrada (Slika 1.b), ojačavanje (Slika 1.c), izrada otvora (Slika 1.d), zavarivanje i čišćenje vara (Slika 1.e), okivanje krila i okvira (Slika 1.f i 1.g), ostakljivanje (Slika 1.h) i pakovanje (Slika 1.i). [2]

Industrijski gotovi profili režu se pod uglovima, u njih se ubacuju ojačanja, zatim profili zavaruju. Jedan od ključnih faktora u proizvodnji PVC stolarije je proces zavarivanja. Zavarivanje PVC materijala omogućava čvrsto spajanje dijelova stolarije, kao što su okviri i krila prozora, čime se obezbeđuje čvrstoća, stabilnost i funkcionalnost proizvoda. Međutim, kvalitet zavarivanja direktno utiče na mehanička, termička i estetska svojstva gotovih proizvoda. Nepažljivo izvedeni zavarivački spojevi mogu dovesti do različitih problema, uključujući smanjenu čvrstoću spoja, lošu termoizolaciju i povećanu sklonost oštećenju zbog spoljnih faktora poput temperature, vlage ili UV zračenja.

Pravilnom i kvalitetnom ugradnjom PVC stolarije dobiva se proizvod na stambenom objektu koji će dugi niz godina osigurati jednostavnu i kvalitetnu upotrebu, uz postizanje značajne uštede na energiji. Najmoderniji PVC profili su proizvedeni zavarivanjem profila prema zahtjevanim dimenzijama i oblicima prozora. Za ojačavanje profila koriste se čelične i aluminijske šipke. Staklo se održava u žlijebu lajsni koje djeluju kao spojnice. Ove lajsne za staklo se ekstrudiraju na isti način kao glavni profili. Između PVC-a i stakla je zaptivač napravljen od gume. Sve ove osobine i rang mehaničkih karakteristika omogućavaju da PVC profili nude značajne sigurnosne prednosti.



Slika 2. Osnovne tehnološke faze izrade PVC stolarije

### **3. SPAJANJE MATERIJALA - OPERACIJA ZAVARIVANJA**

Spajanje građevinskih materijala je važna operacija u procesu proizvodnje proizvoda. To je određeno povećanjem upotrebe plastike koji je uočeno posljednjih godina. Kao rezultat toga, postoji potražnja za pouzdanim i efikasnim tehnologijama spajanja takvih materijala kako bi se osigurao visok kvalitet spojeva. Ovisno o načinu opskrbe toplinom, postoji nekoliko metoda zavarivanja [3,4,5], kao što su zagrijavanje unutrašnjosti površina koje se spajaju (grejni element u obliku klina, šipke ili ploče); zagrijavanje površina koje se spajaju s vanjske strane (kontaktno zavarivanje, impulsno zavarivanje) i također stvaranje topline unutar elemenata koji se spajaju (ultrazvuk, visokofrekventna struja). Za svaku od gore navedenih metoda mogu se identificirati ključni faktori koji utječu na konačnu čvrstoću spoja, a koji se odnose na optimizaciju procesa [5,6]. Posebno važno pitanje za kompaniju je odgovarajući kvalitet proizvoda koji se proizvode i nude kupcima po prihvatljivoj cijeni [7,8]. U slučaju proizvodnje prozora bitna je pouzdanost komponenti koje se koriste u finalnoj montaži. Prilikom izrade prozora najčešći proces spajanja PVC profila je metoda zavarivanja. Ne zahtijeva upotrebu dodatnih materijala. Ova metoda se može uspješno koristiti za polietilen, tvrdi i meki PVC, ABS kopolimere, poliamide, PMMA, a također i polikarbonat. [1,8,9]

#### **3.1 Opis alata i mašina koje se koriste za zavarivanje**

Mašina za zavarivanje je opremljena: termostatom koji omogućavaju održavanje podešene temperature na određenom nivou, uređajima za izvlačenje i skidanje grijača i uređajima za stezanje koji stvaraju pravi pritisak fuzije između dijelova koji se zavaruju, što stvara trajni spoj. To utiče na konačni učinak na spoju i osigurava visok kvalitet i trajnost spoja.

U procesu zavarivanja PVC-a koriste se tri vrste mašina za zavarivanje. To uključuje mašinu za zavarivanje sa jednom glavom (SH), mašina sa dvije glave (DH) i mašina za zavarivanje sa četiri glave (QH). Svaka od njih je na različitom nivou automatizacije, ali je princip zavarivanja isti. Viši nivo automatizacije i više glava omogućava skraćivanje vremena zavarivanja sa četiri koraka na jedan. [4,5,8,9]

Jednoglava stanica je najmanje napredna mašina i samo jedan PVC ugao se može zavariti tokom jednog ciklusa rada mašine. Za proizvodnju kompletnog okvira potrebna su četiri takva koraka. Dvoglava stanica je automatizovanija sa podesivim rastojanjem između glava. To znači da se može podesiti na potrebnu dimenziju između dva ugla PVC okvira. Proces izrade jednog kompletnog prozorskog okvira moguć je u dva koraka. Četveroglava stanica je moderan i potpuno automatski aparat za zavarivanje sa podesivim vodilicama. Ovom funkcijom je moguće ubrzati proces zavarivanja okvira prozora četiri puta. Glavna prednost je što se cijeli okvir izrađuje u jednoj operaciji. Firma BN STEP posjeduje dvoglave i četvoroglave mašine za zavarivanje.

Za naše potrebe korištena je dvoglava varilica URBAN AKS 4300 (slika 3).

#### **3.2. Faktori koji određuju kvalitet procesa zavarivanja**

Ugaoni spojevi u PVC prozorskim okvirima izrađuju se metodom zavarivanja. Kod ove metode, grijač zagrijan na odgovarajuću temperaturu se ubacuje između elemenata koji se spajaju. Na taj način se toplina ravnomjerno raspoređuje po površinama koje se spajaju. Kao rezultat ovog postupka, materijal postiže plastično stanje. Zatim, brzim presovanjem zagrijanih materijala, dolazi do procesa spajanja dva dijela. Na kraju procesa dobija se gotovi trajni spoj u obliku vara.

S tim u vezi može se izdvojiti nekoliko faktora, a to su tehnološki parametri zavarivanja koji određuju konačni kvalitet zavarenih PVC komponenti.

- Prvi od njih je temperatura, koja ne bi trebala prelaziti 250°C. Važno je održavati temperaturu grijača tokom cijelom procesa zavarivanja.
- Drugi faktor je pritisak pri kojem se komponente pritiskaju zajedno tokom

zagrijavanja i u trenutku zavarivanja.

- Treći faktor je vrijeme presovanja. Važno je u momentu zagrijavanja profila grijačom kao i pri završnom zavarivanju komponenti koje se spajaju.



*Slika 3. Dvoglava varilica AKS 4300 – Urban*

Ovi faktori direktno utiču na kvalitet zavarenih spojeva. To se pretvara u čvrstoću spoja, što je važno za osiguravanje potrebne minimalne čvrstoće na savijanje. Ostali faktori koji mogu uticati na kvalitet zavarenog spoja na vrućoj ploči uključuju toplinsko širenje materijala i kondicioniranje materijala. Kondicioniranje materijala znači da je materijal ostavljen na temperaturi okoline 24 sata prije početka zavarivanja. Drugi faktor koji je indirektno vezan za maksimalnu vrijednost sile savijanja je vlažnost zraka, kao i starenje materijala pod uticajem sunčevog zračenja (UV). Ostali mogući uzroci nepravilnosti su ljudska greška, kvar mašine ili neodgovarajući kvalitet materijala.

Postupak kontrole kvaliteta započinje odmah nakon završetka zavarivanja. Postoje različite vrste provjera:

- Vizuelna inspekcija: Ovo je osnovna metoda koja se koristi za brzu detekciju očiglednih grešaka u spojevima, kao što su nepravilnosti u liniji spoja, neuredni ili nedovoljno ujednačeni spojevi,
- Mjerenje dimenzija: Precizno mjerenje dimenzija zavarenih profila je potrebno kako bi se osiguralo da nisu prekršeni standardi veličine i geometrije proizvoda. Uključuje provjeru uglova, dužine i širine profila,
- Testovi čvrstoće spojeva: Različite metode ispitivanja čvrstoće spojeva, kao što su testovi zatezne i savojne čvrstoće, koristi se kako bi se osigurao kvalitet zavarenih spojeva.

#### **4. ISPITIVANJE PVC PROFILA**

Ispitivanje se obavlja na mašini za ispitivanje loma i to primjenom opterećenja pritiskivanjem, brzinom od 50 mm/min, a pri temperaturi prostorije od 18-28°C. Mašina treba da bude snabdjevena posebno izrađenim postoljem za oslanjanje krakova test epruvete koje se postavlja na fiksnu gredu kidalice. Ovo postolje su u stvari kolica sa točkovima, koja su pokretna i obrtna oko svoje poprečne ose. Test pritiskivanjem se obavlja do loma uzorka i pri tome se zabilježi maksimalno dostignuta sila. Pri ispitivanju prati se ponašanje materijala,

odnosno deformacije i lom kao i sila koja je potrebna za izazivanje tih promjena. Mjerenja se obavljaju pomoću senzora za pritisak i deformacije, kako bi se precizno odredila tačka kada profil počinje da se ponaša nelinearno, Slika 4 , 5 i 6. [2,6,7]

U izvještaju o ispitivanju daju se izmjerena sila i izračunato naprezanje  $\sigma$ , i ocjena da li je ispunjen zahtjev da izračunato naprezanje ne bude manje od maksimalno dozvoljenog naprezanja od 35 N/mm<sup>2</sup>. Ispitivanje se obavlja na najmanje tri ovako pripremljene test epruvete, a kao krajnji rezultat daje se aritmetička sredina naprezanja za sve test epruvete. Rezultat se daje u N/mm<sup>2</sup> sa tačnošću od 0,1 N/mm<sup>2</sup>. Na osnovu rezultata, može se procijeniti koliko je PVC profil otporan na pritisak. Ovaj test može pokazati kolika sila je potrebna da dođe do promjene u obliku i strukturi profila, kao i da li varovi ostaju stabilni pod opterećenjem. Nakon što je proces ispitivanja završen, sljedeće faze obuhvataju analizu rezultata, korekcije u proizvodnji i promjenu proizvodnju i distribuciju. Što se tiče izvještaja o ispitivanju , on uključuje:

- Detaljan opis faza ispitivanja (priprema uzorka, primjena sile i ponašanje profila),
- Mjerenje i grafički prikaz sile, deformacije i loma,
- Komparacija sa prethodnim testovima i standardima,
- Zaključak o otpornosti profila na kompresiju,
- Preporuka za poboljšanje kvaliteta ili dizajna.

Ako rezultati testa pokažu da PVC profil ne ispunjava zahtjeve potrebno je poduzeti neke od sljedećih koraka:

- Revidiranje dizajna ili proizvodnih parametara,
- Poboljšanje procesa proizvodnje: ovaj korak obuhvata bolje upravljanje temperaturom, vlažnošću, brzinom proizvodnje,
- Ponovno ispitivanje: nakon što su izvršene izmjene, potrebno je sprovesti novo ispitivanje kako bi se provjerilo da li proizvod ispunjava sve zahtjeve.

U narednom tekstu prikazano je ispitivanje za nekoliko profila, svaki profil je ispitan četiri puta. Zbog ograničenosti dat ćemo samo jedan primjer, Slika 7.

Razlika između profila 6025 i 6027 je ta da je jedan profil vanjsko krilo, a drugi unutrašnje, izgled je drugačiji, međutim dimenzije nisu. Granica lomljenja za ove profile je 6000N. Pucanje može biti po varu ili pored vara. Ako je po varu, problem je kod zavarivanja. Nije uvijek u pitanju kakav je zavar, veći uticaj ima sastav materijala i parametri mašine. Temperatura zavarivanja je  $245^{+5}_{-5}$  što se tiče Gealan profila i to su oprimalni uslovi, ako stavimo manju temperaturu npr. 230°, duže će se topiti jer je manja temperatura i treba duži vremenski period da se istopi.



Slika 4. Ispitivanje profila na lom



Slika 5. Puknuti profil

	<b>Naziv mašine</b> NPVC CORNER FRACTURE TESTER	<b>Model</b> DVT HS KK 85 Brzina: 5 – 50 mm/min.
	<b>Relevantni standardi</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• TS EN 514</li> <li>• TS EN 513</li> <li>• TS 5358 EN 12608</li> <li>• GOCT 30673-2013</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kapacitet : 0-1000 kg, or 0-2000 kg.</li> <li>• Max. debljina profila: 85 mm (standardni model).</li> </ul>
<b>Dimenzije i težina</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Širina : 110 cm.</li> <li>• Dubina : 46 cm.</li> <li>• Visina : 112 cm.</li> </ul> Težina : 156 kg.		

Slika 6. Mašina za ispitivanje loma NPVC CORNER FRACTURE TESTER

SAMPLE TEMPLATES				DEVOTRANS			
CUSTOMER NAME	SKG			www.devotrans.com			
DATE	28.01.2025	TEST TYPE	Compression/Fractur	MODEL	HSKK		
TIME	11.03	TEST SPEED	50 mm/min	MAX.CAPACITY	20 kN.		
OPERATOR	brstep	LENGTH(Lo)	3 mm	SERIAL NO	HSKK 2302307 YBS		
MATERIAL TYPE	PVC	PRELOAD	0.0 N	<b>TEST CONDITIONS</b>			
MATERIAL SHAPE	Yatay Levha	STANDARD NO					
TEST PERIOD	7.6 s	TEMPERATURE					
PRODUCT NAME	V TYPE	HUMIDITY					
<b>TEST CONDITIONS</b>				No Fatigue Test			
							
Sample No	Max Force Fmax (N)	Deformation at Max Force Δ (mm)	Tensile Strength σ <sub>TS</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Collapse/ Fracture Force (N)	Collapse/Fracture Deformation Δl (mm)	Collapse/Fracture Deformation Δs (%)	Yield Stress σ <sub>f</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
●	6250	0.000	3125.000	6210	0.000	0.0	3125.000
AVERAGE X	6250.0	0.000	3125.000	6210.0	0.000	0.0	3125.000
ST.DEVI.s	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000
%CV VALUE	0.0	0.000	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000
<b>NOTES :</b>							
6025 00							

Slika 7. Primjer ispitivačkog lista

## 5. PRIMJENA ALATA KVALITETA U KONTROLI

Statističke metode, kao što su Statistička kontrola procesa (SPC) i Six Sigma, često se primjenjuju kako bi se održao kvalitet u proizvodnji PVC stolarije. SPC koristi grafike i kontrolne karte kako bi se pratile varijacije u proizvodnom procesu i prepoznali problemi koji mogu utjecati na kvalitet proizvoda. Na primjer, mjerenje dimenzija profila može se pratiti pomoću kontrolnih karata koje vizualizuju odstupanja od standarda, čime se omogućava pravovremena intervencija. Cilj SPC-a je održati proizvodne procese pod kontrolom tako da proizvodi ostanu unutar specifičnih granica kvaliteta. U kontekstu zavarivanja PVC stolarije, SPC se koristi se praćenje varijacija u ključnim parametrima proizvodnog procesa:

- a) Temperatura zavarivanja: Ako temperatura nije u optimalnim granicama, može doći do nepravilnog zavarivanja koje može rezultirati slabim spojem,
- b) Pritisak na zavareni spoj: Ako je pritisak nedovoljan ili prevelik, to može utjecati na kvalitet spoja,
- c) Vrijeme zavarivanja: Ako se zavarivanje ne vrši dovoljno dugo, spoj može biti slab, dok predugo vrijeme može dovesti do pregrijavanja materijala.

Korištenje kontrolnih karata je uključeno u SPC-u. Kontrolne karte su grafički prikazi u kojima se prate varijacije u procesu u realnom vremenu. Na osnovu tih karata, inženjeri mogu brzo uočiti kada nešto nije u redu i intervenirati prije nego što problem postane ozbiljan. Na primjer, ako se promjena u temperaturi zavarivanja stalno pomjera izvan dozvoljenih granica, SPC može ukazati na potrebu za kalibracijom mašine ili obukom radnika.

Postoji nekoliko tipova kontrolnih karata, ali najčešći u proizvodnji PVC stolarije su:

- X karta-pomaže u praćenju prosječnih vrijednosti parametara (kao što su pritisak ili temperatura) kroz vrijeme,
- R karta-pomaže u praćenju varijacije u veličini odstupanja između minimuma i maksimuma u procesu.

Ako se zabilježe značajna odstupanja, odmah se preduzimaju korektivne mjere, čime se sprječava proizvodnja defektnih proizvoda.

Six sigma je metod koji se fokusirana smanjenje varijacija u procesima i minimiziranje grešaka. Primjena Six Sigma metoda u PVC stolariji može obuhvatiti sve kontrole zavarivanja do finalne isporuke proizvoda, osiguravajući da se svaki proizvod proizvede bez greške. Cilj Six Sigma je da postigne nivo kvaliteta u kojem se javljaju maksimalno 3.4 greške na milion komada, što predstavlja vrlo visok nivo preciznosti i efikasnosti. U kontekstu zavarivanja PVC profila Six Sigma se može koristiti kako bi se smanjile greške u svim fazama proizvodnog procesa, od postavljanja dijelova za zavarivanje do finalnog testiranja kvaliteta.

Ključne tačke na koje Six Sigma utiče uključuju:

1. **Definisanje problema:** Prepoznavanje specifičnih problema u procesu zavarivanja PVC stolarije, kao što su loši spojevi, nepravilnosti u dimenzijama ili pucanje zavarenih spojeva.
2. **Mjerenje:** Prikupljanje podataka o svim ključnim parametrima zavarivanja (temperatura, pritisak, vrijeme...). Ovi podaci se koriste za izračunavanje varijacija u procesu.
3. **Analiza:** Analiziranje podataka kako bi se identifikovali uzroci grešaka. Na primjer, možda je problem u nepreciznom podešavanju mašina za zavarivanje ili nepravilnom rukovanju radnika.
4. **Poboljšanje:** Na osnovu analize podataka, implementiraju se promjene u procesu (npr. nova podešavanja temperature zavarivanja, obuka radnika, unapređenje mašina...)
5. **Kontrola:** Nakon implementacije poboljšanja, proces se stalno prati kako bi se osigurala dugoročna stabilnost i efikasnost, koristeći kontrolne karte i druge alate za praćenje.

### 5.1. Greške u procesu zavarivanja i njihova prevencija

Zavarivanje PVC ,kao svaki proizvodni proces može biti podložan različitim greškama. Neki od najčešćih problema u zavarivanju PVC profila uključuju:

- Pukotine na spojevima: Pukotine mogu nastati usljed nedovoljnog zagrijavanja ili prekomjernog hlađenja. Ovo može biti uzrokovano nepravilnim podešavanjem temperature mašine za zavarivanje.
- Neujednačeni spojevi: Ako se pritisak ili temperatura ne održavaju konstantnim tokom zavarivanja, spojevi mogu biti slabiji, što može dovesti do smanjenja čvrstoće proizvoda.
- Pogrešan ugao spoja: U proizvodnji vrata i prozora, nepravilno postavljen ugao može smanjiti funkcionalnost proizvoda i uzrokovati lošu izolaciju.

Za svaku od ovih grešaka, postoje specifične korektivne mjere. Na primjer, pravilno podešavanje mašine, obuka radnika za pravilno postavljanje dijelova ili redovno održavanje mašina može značajno smanjiti učestalost ovih grešaka.

### 5.2. Ishikawa dijagram

Koristan alat u analizi problema i identifikaciji uzroka grešaka u procesu je Ishikawa dijagram, poznat kao dijagram riblje kosti ili dijagram uzrok posljedica. U kontekstu kontrole kvaliteta pri zavarivanju PVC profila, ovaj dijagram se može koristiti za identifikaciju mogućih uzroka koj dovode do grešaka u zavarivačkom procesu, kao što su loši spojevi, nepravilnosti u dimenzijama ili druge nesavršenosti u finalnom proizvodu. Ovaj dijagram je strukturiran tako da nalikuje ribljoj kosti sa „glavom“ koja predstavlja problem i „kostima“ koje predstavljaju kategorije mogućih uzroka. Ovaj alat je koristan za razumijevanje i rješavanje složenih problema u proizvodnji i omogućava timovima da sistemski analiziraju uzroke problema. Uobičajene kategorije koje se koriste u Ishikawa dijagramu su:

- Ljudi,
- Mašine,
- Materijal,
- Metode,
- Okruženje,
- Mjerenje.

Svaka od ovih kategorija se razmatra u kontekstu zavarivanja PVC stolarije, a mogućih uzroka je nekoliko.

Ishikawa dijagram za loš kvalitet zavarivačkog spoja u PVC stolariji, Slika 8.

#### 1. Ljudi

- Nedovoljna obuka radnika: Ako radnici nisu dovoljno obučeni za rad sa mašinama za zavarivanje ili ne razumiju specifičnosti zavarivanja PVC profila, može doći do grešaka u postavljanju dijelova, nepravovremenog zavarivanja ili nepravilnog rukovanja mašinama.
- Neadekvatna koordinacija timova: Loša komunikacija između radnika koji postavljaju PVC profile i onih koji obavljaju zavarivanje može doći do nesporazuma i loših spojeva.
- Umor ili stres radnika: Umorni ili pod stresom radnici mogu napraviti greške prilikom podešavanja mašina, što može uzrokovati slabije zavarivanje.

#### 2. Mašine

- Nepoštovanje radnih parametara: Ako mašine za zavarivanje PVC stolarije nisu pravilno podešene (temperatura, pritisak, vrijeme zavarivanja), to može rezultirati lošim spojevima. Na primjer, previsoka temperatura može izazvati prekomjerno topljenje PVC-a, dok prenizak pritisak može dovesti do slabih spojeva.

- Kvarovi na opremi: Neispravni dijelovi mašina (kao što su grijači, senzori ili hidraulički sistemi) mogu uzrokovati varijacije u procesu zavarivanja, što dovodi do nedovoljno čvrstih spojeva.

### 3. Materijal

- Kvalitet PVC profila: Ako su PVC profili lošeg kvaliteta (nepravilna struktura, kontaminacije ili oštećenja), to može uticati na kvalitet spoja. Također, korištenje materijala koji nije u skladu sa specifikacijama može rezultirati slabljenjem zavarivačkog spoja.
- Neodgovarajući dodaci: Dodaci koji se koriste tokom zavarivanja (kao što su punila) mogu utjecati na integritet spoja. Ako nisu kompatibilni sa PVC-om ili nisu pravilno upotrebljeni, mogu uzrokovati slabosti u spoju.

### 4. Metode

- Nepodudarnost u procedurama zavarivanja: Ako se primjenjuju standardizovani postupci zavarivanja, može doći do nesređivanja kritičnih faktora poput temperature, pritiska i vremena zavarivanja, što može dovesti do grešaka u spojevima.
- Neadekvatna priprema prije zavarivanja: Ako dijelovi nisu pravilno očišćeni ili pripremljeni prije zavarivanja (npr. uklanjanje prašine, masnoće ili drugih nečistoća).

### 5. Mjerenje

- Neprecizna mjerenja: Ako se dimenzije profila ili parametri zavarivanja ne mjere tačno (npr. temperatura mašine, pritisak na zavarivačkoj liniji), može doći do varijacija koje se manifestuju kao greške u kvalitetu spoja.
- Nedostatak odgovarajuće opreme za testiranje: Ako se kvalitet spoja ne testira dovoljno rigorozno (npr. testiranje čvrstoće spoja), može se desiti da se slab spoj ne primijeti prije nego što proizvod bude dostavljen kupcu.

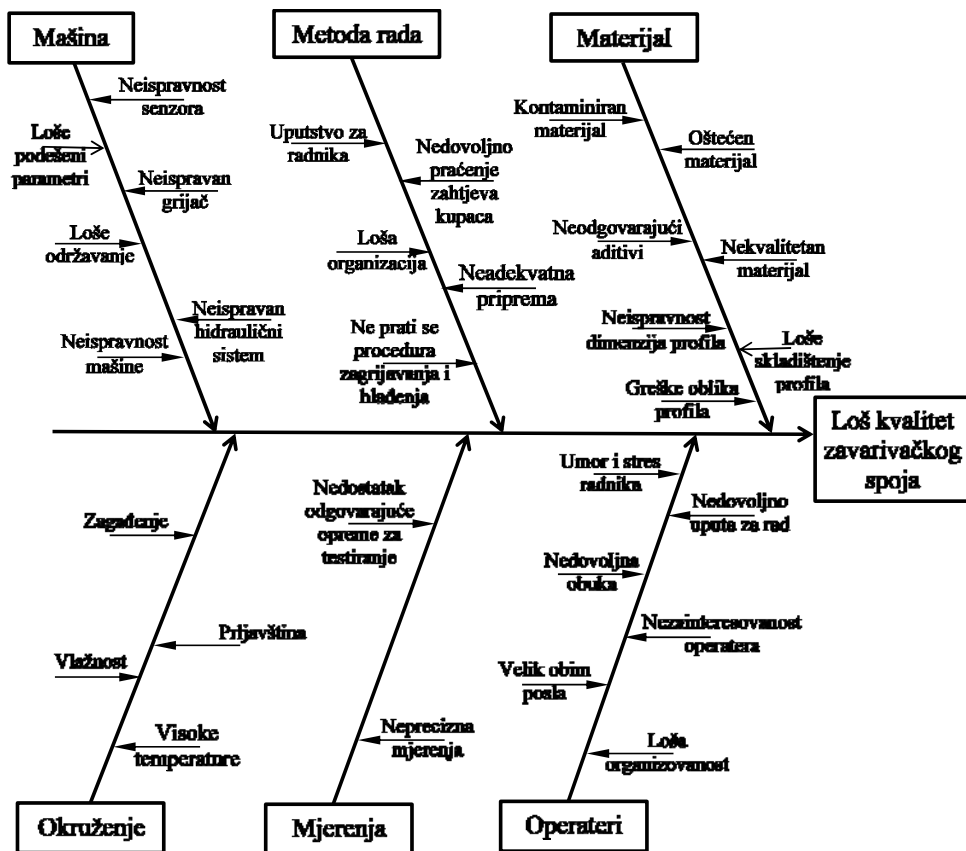
### 6. Okruženje

- Uslovi radne sredine: Ekstremne temperature ili vlažnost u proizvodnoj hali mogu utjecati na zavarivanje PVC profila. Na primjer, niske temperature mogu usporiti proces zavarivanja i izazvati nepravilno spajanje materijala.
- Prljavština i zagađenje u proizvodnji: Zagađivači u vazduhu (kao što su prašina ili pare) mogu se taložiti na PVC profilima i smanjiti kvalitet spoja.

## 6. ZAKLJUČAK

Kroz istraživanje različitih faktora koji utiču na kvalitet zavarivanja, kao što su nepravilnosti u temperaturi, pritisku, brzini zavarivanja, kvalitetu materijal, uslovima u radnoj okolini, došlo se do zaključka da pravilno podešavanje i kontrola svakog od tih faktora može značajno smanjiti broj grešaka. Također, pravilno obučeni radnici i korištenje savremenih tehnologija mogu doprinijeti boljoj preciznosti i dugoročnom kvalitetu proizvoda.

Statističke metode, kao što su Statistička kontrola procesa (SPC) i Six Sigma, često se primjenjuju kako bi se održao kvalitet u proizvodnji PVC stolarije. SPC koristi grafike i kontrolne karte kako bi se pratile varijacije u proizvodnom procesu i prepoznali problemi koji mogu utjecati na kvalitet proizvoda dok, Six sigma je metod koji se fokusirana smanjenje varijacija u procesima i minimiziranje grešaka. Primjena Six Sigma metoda u PVC stolariji može obuhvatiti sve kontrole zavarivanja do finalne isporuke proizvoda, osiguravajući da se svaki proizvod proizvede bez greške. U kontekstu zavarivanja PVC profila Six Sigma se može koristiti kako bi se smanjile greške u svim fazama proizvodnog procesa, od postavljanja dijelova za zavarivanje do finalnog testiranja kvaliteta. Ključne tačke na koje Six Sigma utiče uključuju definisanje problema, mjerenje, analizu, poboljšanje i kontrolu.



Slika 8. Ishikawa dijagram za Loš kvalitet zavarivačkog spoja

U okviru ovog istraživanja je izvršeno ispitivanje čvrstoće varova, s ciljem procjene njihovih mehaničkih osobina i sigurnosti u uslovima opterećenja. Ispitivanje obuhvata analizu različitih profila, uz uvažavanje ključnih faktora kao što su sastav materijala, parametri zavarivanja, debljina varova, kao i način obrade. Rezultati pokazuju varijabilnosti u čvrstoći varova, što ukazuje na to da i male promjene u procesu zavarivanja mogu imati veliki utjecaja na finalne performanse proizvoda. Na osnovu dobijenih podataka, ustanovljeno je da PVC profili sa pravilno izvedenim varovima mogu postići visoke vrijednosti čvrstoće, dok su nepravilnosti u procesu zavarivanja, poput prekomjerne temperature ili nedovoljne temperature, dovodile do smanjenja čvrstoće i loma pri nižim opterećenjima.

## 7. REFERENCES

- [1] Chanda Manas, Salil K.Roy: Plastic Tehnology Handbook, Four Edition, Taylor & Francis Group, 2006
- [2] Halilović, Adisa: Greške i mogući uzroci grešaka kod procesa zavarivanja u proizvodnji PVC stolarije, Mašinski fakultet u Zenici, Diplomski rad, Mart 2025. godine
- [3] Haque, M. S., Siddiqui, M. A.: Plastic Welding: Important Facts and Developments. American Journal of Mechanical and Industrial, Engineering, Vol. 1, No. 2, pp. 15-19., 2016. DOI:10.11648/j.ajmie.20160102.12
- [4] Ülker, A., Oztoprak, N., Sami, S.,Yeni, C.: Optimization of welding parameters of hot-plate welded PC/ABS blends by using the Taguchi experimental design method, Journal of Elastomers and Plastics, Vol. 50, No. 2, pp. 162-181, 2017.

- [5] Wilczyński, D.: The temperature distribution during heating in hot-plate welding process. In: MATEC Web Conferences, XXIII Polish-Slovak Scientific Conference on Machine Modelling and Simulations, vol. 254 02033, 2018.
- [6] Wübbecke, A., Schöppner, V., Geißler, B., Schmidt, M., Magnier, T., Niendorf, T., Jakob, F., Heim, H. P.,: Investigation of residual stresses in polypropylene using hot-plate welding. In: *Welding in the World*, Vol. 64, pp. 1671–1680., 2020. DOI:10.1007/s40194-020-00939-7
- [7] Postawa, P., Stachowiak, T., Gnatowski, A.: Strength analysis of welded corners of PVC window profiles. In: *Materials Science and Engineering*, Vol. 225, No. 1, 2017., doi:10.1088/1757-899X/225/1/012003
- [6] Ałęsa, K., Malujda, I., Górecki, J., Petriceanu C., Rontescu C., Cicic, D.T., Chivu A.R., Dijmărescu M.C.: Research on welding of plastic materials, In: *The Scientific Bulletin of University Politehnica of Bucharest, Series D*, vol. 78, iss. 2, pp. 125-130, 2016
- [8] Wygoda Mateusz, Paprocki Marcin, Adamczyk Waclaw: Influence of the Welding Process on the Quality of PVC Frames, *Journal MANUFACTURING TECHNOLOGY*, June 2022, Vol. 22, No. 3, ISSN 1213–2489, DOI: 10.21062/mft.2022.037
- [9] Welding PVC-U window profiles URL: [https://www.gkfp.de/fileadmin/user\\_upload/Publikationen/Technische-Leitfaeden-Merkblaetter/EPPA\\_Technical-Guide\\_WeldingEuropeEN\\_Web.pdf](https://www.gkfp.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Technische-Leitfaeden-Merkblaetter/EPPA_Technical-Guide_WeldingEuropeEN_Web.pdf) (pregledano maj 2025)