

# Automatizacija zastarjelih hidrauličnih presa

## Studentski rad

Daniel Menićanin, Jelena Radanović, Nikola Račić

Studenti prvog ciklusa studija

Fakultet informacionih tehnologija, Apeiron

Banja Luka, Bosna i Hercegovina

[daniel.menicanin1@apeiron-edu.eu](mailto:daniel.menicanin1@apeiron-edu.eu), [jelena.radanovic1@apeiron-edu.eu](mailto:jelena.radanovic1@apeiron-edu.eu), [nikola.racic@apeiron-edu.eu](mailto:nikola.racic@apeiron-edu.eu)

**Sažetak** — Ovaj rad analizira unapređenje starih hidrauličnih presa u pogledu savijanja materijala kroz razvoj softverskog sistema koji optimizuje izbor alata, prilagođava parametre savijanja i automatizuje ključne procese. Sistem koristi napredne senzore, kao što su linearni enkoder i senzori pritiska, za praćenje dubine prodiranja alata i sile u realnom vremenu, omogućavajući preciznu deformaciju materijala. Baza podataka uključuje informacije o alatima i materijalima, omogućujući dinamičko ažuriranje i automatsku preporuku optimalnih parametara. Sistem podržava prediktivno održavanje, čime se smanjuju greške, produžava radni vijek alata i povećava produktivnost.

**Ključne riječi** – CNC; hidraulične prese; desktop aplikacija; K-faktor; ESP32

### I. UVOD

Industrijski procesi zahtijevaju neprekidnu modernizaciju mašina kako bi se povećala produktivnost, preciznost i fleksibilnost u radu. Hidraulične prese zauzimaju ključnu ulogu u procesima obrade metala, ali stariji modeli ovih mašina često ne ispunjavaju zahtjeve koji se postavljaju pred njih. U cilju rješavanja ovog problema, razvijen je softverski sistem za automatizaciju i optimizaciju rada starih hidrauličnih presa. Od ključnog značaja je optimizacija procesa savijanja, gdje je primjena naprednih algoritama značajno smanjila vrijeme ciklusa i povećala preciznost savijanja.

Na starim hidrauličnim presama, proces savijanja materijala zavisio je isključivo od ručnog podešavanja i iskustva operatera. Dubina prodiranja alata u prizmu određivala se vizuelno i pomoću mehaničkih indikatora, bez preciznih senzora i digitalne kontrole. Operater je ručno birao alat i podešavao parametre prese na osnovu tabela i empirijskih pravila, ali bez mogućnosti preciznog mjerenja sile i položaja alata.

Podešavanje pritiska prese oslanjalo se na hidraulične manometre, koji su pokazivali pritisak ulja, ali nisu omogućavali direktno praćenje interakcije alata i materijala. To je često dovodilo do varijacija u kvalitetu savijanja i potrebe za ručnim korekcijama. Bez povratne sprege i automatskog prilagođavanja sile, odstupanja u dimenzijama proizvoda bila su česta, dok je kvalitet savijanja zavisio od manuelnih provjera i korekcija nakon svake operacije.

Softver na osnovu ulaznih podataka kao što su tip materijala, debljina materijala, željeni ugao savijanja i izbor alata, automatski izračunava optimalne postavke za rad prese. [1]

Automatizacija se takođe proširuje na integrisane metode za kontrolu prodiranja alata u prizmu mašine. ESP32 mikrokontroler, omogućava praćenje pozicije alata i dinamičko prilagođavanje dubine prodiranja u realnom vremenu. [2] Korišćenjem enkodera i hidrauličnog senzora pritiska, sistem precizno prati prodiranje alata u prizmu i podešava silu kojom hidraulika vrši pritisak na materijal.

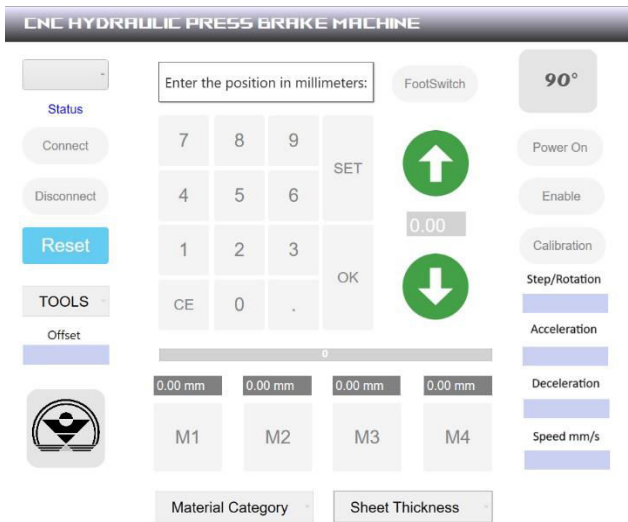
Senzor pritiska je ugrađen direktno u hidraulični cilindar i mjeri pritisak ulja, koji je proporcionalan sili prese. Očitavanja senzora se prenose na mikrokontroler putem analognog signala. Mikrokontroler koristi ugrađeni ADC (engl. *Analog-to-Digital Converter*) i specijalizovanu biblioteku kako bi pritisak preveo u odgovarajuću vrijednost sile, izraženu u tonama. Na osnovu ovih podataka, sistem može kontinuirano prilagođavati parametre savijanja, uzimajući u obzir debljinu materijala, njegova mehanička svojstva i unesene vrijednosti K-faktora. Ovakva integracija omogućava visok nivo kontrole i preciznosti, dok povratna sprega putem enkodera i senzora pritiska osigurava optimalne rezultate savijanja bez oštećenja materijala ili alata.

Softverska nadogradnja uključuje i algoritme za analizu naprezanja i predikciju deformacija, koristeći podatke iz prethodnih operacija. Ukoliko se detektuje odstupanje u dubini prodiranja od planiranih vrijednosti, sistem automatski koriguje silu alata i prilagođava položaj sa kašnjenjem od 10 ms, osiguravajući da ugao savijanja ostane unutar prihvatljivih tolerancija, odnosno  $\pm 0,5^\circ$ .

Desktop aplikacija proširena je dodatnim modulom za upravljanje parametrima prodiranja alata, kao što je prikazano na Sl 1. Korisnik sada može unijeti ključne parametre kao što su debljina materijala, željeni ugao savijanja i tip materijala, dok softver automatski izračunava optimalnu dubinu prodiranja i prilagođava sistem u skladu sa tim. Jedna od glavnih karakteristika softvera je njegova sposobnost prepoznavanja grešaka. Ako korisnik unese neispravne podatke, poput pogrešnog materijala ili debljine, softver automatski upoređuje te informacije sa bazom podataka i generiše upozorenje. Povratna sprega senzora i enkodera dodatno osigurava da se svi parametri prilagode u stvarnom vremenu. U ekstremnim slučajevima, kada se detektuju ozbiljna odstupanja, sistem zaustavlja operaciju kako bi spriječio potencijalnu štetu.

Baza podataka sadrži informacije o materijalima, alatima i K-faktorima, omogućavajući korisnicima da lako prilagode postavke različitim vrstama operacija. Takođe, omogućeno je

dinamičko ažuriranje baze, čime se sistem može kontinuirano usklađivati sa novim industrijskim zahtjevima.



Slika 1. Izgled korisničkog interfejsa desktop aplikacije

## II. RAD SOFTVERA

Sistem radi na principu uzimanja podataka materijala iz baze, upotrebom informacija koje pružaju senzori za praćenje parametara u realnom vremenu i upotrebom algoritama za kontrolu prodiranja alata u prizmu. U osnovi ovog sistema nalazi se baza sa materijalima koja sadrži sve neophodne informacije za precizne proračune savijanja. Baza uključuje podatke o različitim vrstama materijala. Svaki materijal posjeduje svoje karakteristike kao što su modul elastičnosti, granica razvlačenja i tečenja, kao i K-faktor koji definiše lokaciju neutralne ose u materijalu.

U osnovi procesa izbora alata za savijanje nalazi se unos ključnih parametara savijanja, koji omogućava precizno prilagođavanje alata specifičnim zahtjevima materijala i procesa. Operater u desktop aplikaciji unosi osnovne podatke, uključujući vrstu i debljinu materijala, mehaničke osobine kao što su granica razvlačenja i modul elastičnosti, kao i željeni ugao savijanja. Ovi podaci se automatski upoređuju sa postojećim informacijama u bazi podataka, koja sadrži preporučene vrijednosti unutrašnjeg radijusa savijanja, K-faktora, širine otvora prizme i drugih relevantnih parametara.

Nakon unosa, softver inicijalno analizira unesene podatke i vrši preliminarni izbor alata na osnovu matematičkih modela i eksperimentalnih podataka sadržanih u bazi. Operater ima mogućnost ručnog odabira alata iz dostupne liste, ali ukoliko softver procijeni da izabrani alat ne zadovoljava sve kriterijume za određeni materijal i ugao savijanja, generiše se upozorenje. U tom slučaju, softver predlaže alternativni alat koji bolje odgovara zadatim parametrima, uz detaljno objašnjenje razlike između operaterovog izbora i preporučenog alata.

Softver pri analizi koristi algoritme za proračun sile savijanja, unutrašnjeg radijusa i prodiranja alata u prizmu, kako bi osigurao da izabrani alat neće izazvati prekomjernu deformaciju ili oštećenje materijala. Na primjer, ako operater izabere alat sa prevelikim radijusom za određeni materijal, sistem može sugerisati alat sa manjim radijusom kako bi se postigao željeni ugao savijanja uz minimalno elastično vraćanje materijala. Takođe, ako je odabrana prizma sa preuskim otvorom u odnosu na debljinu materijala, što može kao rezultat imati prekomjerno naprezanje i lomljenje materijala, softver automatski generiše upozorenje i predlaže odgovarajući alat.

Jedan od ključnih aspekata optimizacije izbora alata jeste dinamičko podešavanje preporuka u zavisnosti od kapaciteta prese i dostupnih alata. Softver ne samo da bira alat na osnovu tehničkih parametara, već uzima u obzir i trenutno dostupne alate u sistemu, čime se omogućava maksimalna iskorištenost opreme i smanjuju nepotrebni troškovi nabavke novih alata.

U slučaju da se nijedan od dostupnih alata ne može koristiti za zadatak operaciju, softver predlaže prilagođavanje parametara savijanja, kao što su promjena metode savijanja ili promjena radijusa prizme kako bi se postigao željeni rezultat bez preopterećenja alata i prese. Ova fleksibilnost u izboru omogućava veću produktivnost i smanjuje rizik od grešaka u proizvodnom procesu.

Ključna komponenta sistema je *load cell* senzor, koji se koristi za mjerenje sile koju alat primjenjuje na materijal. Senzor je postavljen ispod tačke kontakta između alata i materijala kako bi precizno registrovao svaku primijenjenu silu. Podaci koje senzor šalje mikrokontroleru omogućavaju kontinuirano praćenje sile u realnom vremenu. Na osnovu ovih podataka sistem dinamički prilagođava pritisak hidrauličnog sistema kako bi osigurao da sila ne premaši granice materijala, čime se sprječava oštećenje ili lomljenje. Pored ovog senzora, sistem koristi linearni enkoder koji prati dubinu prodiranja alata u materijal. Enkoder je povezan sa pokretnim dijelom prese i mjeri tačan položaj alata u svakom trenutku. Na osnovu ovih mjerenja, mikrokontroler procjenjuje da li je alat dostigao unaprijed definisanu dubinu prodiranja. Ako se detektuje odstupanje, sistem automatski koriguje poziciju alata kako bi savijanje bilo preciznije.

Senzor pritiska instaliran je u hidrauličnom krugu prese i mjeri pritisak fluida tokom cijelog procesa. Podaci sa ovog senzora omogućavaju kontroleru da u realnom vremenu prilagođava proporcionalne ventile, osiguravajući da hidraulični sistem radi optimalno. Kada operater pokrene proces, mikrokontroler koristi kombinovane podatke sa svih senzora i algoritme za kontrolu kako bi osigurao tačno savijanje. Ako linearni enkoder detektuje da alat prodire previše duboko, mikrokontroler će odmah smanjiti pritisak fluida ili podići alat kako bi se ispravila greška.

Mikrokontroler je programiran tako da obrađuje sve ulazne podatke i izvršava proračune u milisekundama. Algoritam za

proračun dozvole savijanja koristi formulu koja uzima u obzir unutrašnji radijus savijanja, K-faktor i ugao savijanja, dok funkcije za kontrolu pritiska i dubine koriste ulazne podatke senzora kako bi upravljale proporcionalnim ventilima i hidrauličnim cilindrima.

Interfejs sistema razvijen je tako da bude jednostavan za upotrebu, omogućavajući operateru da unosi parametre i prati stanje mašine u realnom vremenu. Na desktop aplikaciji prikazuju se informacije kao što su trenutna sila, dubina prodiranja alata, pritisak u sistemu i izračunata dozvola savijanja. Kada je proces savijanja završen, softver automatski generiše izvještaj koji sadrži sve ključne parametre savijanja, uključujući sile, dubine i eventualne korekcije koje su izvršene tokom rada.

Svi podaci se spremaju u lokalnu bazu podataka, koja je putem Wi-Fi mreže povezana s globalnom bazom radi periodičnog ažuriranja parametara. Ovakav pristup omogućava autonomno funkcionisanje mašine bez stalne povezanosti s internetom, pri čemu se povremena povezivanja koriste za ažuriranje lokalne baze podataka, desktop aplikacije i *firmware*-a mikrokontrolera. Na ovaj način postiže se efikasna optimizacija budućih operacija i povećava pouzdanost sistema.

#### A. Praktična primjena u savremenoj industriji

Integrirani sistem upravljanja prodiranjem alata i pozicioniranjem graničnika nalazi primjenu u različitim industrijama. U automobilskoj industriji, gdje su precizni uglovi savijanja ključni za proizvodnju šasija i sigurnosnih elemenata, ovaj sistem omogućava kontrolisano savijanje čelika visoke čvrstoće sa tačnošću koju je bilo teško postići tradicionalnim tehnikama. U građevinskoj industriji, gdje su potrebni veliki metalni profili sa konzistentnim radijusima savijanja, automatizacija omogućava značajno smanjenje grešaka i otpada.

Na našim prostorima, integrirani sistemi za savijanje metala često se koriste u proizvodnji polica za trgovinske centre. [3] Ove police zahtijevaju precizno savijene metalne profile kako bi omogućili slaganje robe različitih dimenzija i težina, pri čemu se velika pažnja posvećuje izdržljivosti i tačnosti kako bi se zadovoljili sigurnosni standardi i omogućila dugotrajna upotreba u komercijalnim uslovima. Automatizacija u ovom segmentu doprinosi efikasnijem radu, ubrzava proizvodnju i minimizuje otpad, što je posebno značajno u uslovima masovne proizvodnje za velike trgovinske lance. [4] U kombinaciji sa senzorskim sistemima, koji mjere sile i položaj alata u realnom vremenu, moguće je obraditi i materijale sa specifičnim zahtjevima.

#### B. Prizma CNC hidraulične prese: funkcija i optimizacija

Prizma hidraulične prese predstavlja centralni element u procesima savijanja metala, a njena pravilna primjena direktno zavisi od dimenzija i karakteristika koje se precizno određuju prema industrijskim standardima. [5] Jedan od ključnih tehničkih parametara u projektovanju prizme jeste širina otvora, koja se često računa kao osmostruka vrijednost debljine materijala, što se često izražava odnosom 8:1. Za metalni lim debljine 5 mm, optimalna širina otvora prizme bila bi 40 mm. Ovo pravilo se primjenjuje kako bi se osigurala ravnomjerna

deformacija materijala bez stvaranja lokalnih naprezanja koja bi mogla izazvati pucanje ili neujednačen radijus savijanja. Kod debljih limova, poput onih od 10 mm, optimalna širina otvora prizme iznosi 80 mm, dok je za tanje materijale, poput 2 mm, preporučena širina otvora 16 mm.

Jednako važan parametar je ugao savijanja koji prizma omogućava. Kod standardnih prizmi sa jednostrukim V profilom, uglovi savijanja se najčešće kreću između 30° i 120°, dok specijalizovane prizme, poput višestrukih V profila, omogućuju fleksibilnost rada sa širim rasponom uglova. U industrijskim postrojenjima gdje se proizvode dijelovi sa preciznim tolerancijama, prihvatljiva odstupanja ugla savijanja su često manja od  $\pm 0,5^\circ$ , što podrazumijeva visoko optimizovane alate i stroge kontrole kvaliteta.

Prizma stare hidraulične prese je značajno unaprijeđena implementacijom naprednog sistema za praćenje habanja i deformacija, što je omogućilo produženje njenog radnog vijeka i povećanje ukupne pouzdanosti rada. Sistem koristi kombinaciju piezoelektričnih vibracionih senzora i laserskih senzora pomaka, koji su ugrađeni u samu prizmu kako bi kontinuirano prikupljali podatke tokom procesa savijanja. Piezoelektrični vibracioni senzori detektuju promjene u mehaničkim vibracijama koje ukazuju na povećano trošenje ili oštećenje. Ovi senzori su visoko osjetljivi i idealni za praćenje dinamičkih promjena u strukturi prizme tokom rada.

Sa druge strane, Micro-Epsilon optoNCDT 1220 laserski senzor pomaka analizira površinske promjene na prizmi, omogućavajući precizno praćenje mikrodeformacija u realnom vremenu. Navedeni senzor koristi lasersku zraku za mjerenje udaljenosti i detekciju bilo kakvih nepravilnosti na površini prizme, čime se osigurava detaljna kontrola habanja i deformacija.

Podaci prikupljeni sa senzora obrađuju se putem mikrokontrolera, koji predstavlja centralnu jedinicu za obradu i upravljanje. Mikrokontroler koristi ugrađene A/D konvertore kako bi analogne signale senzora pretvorio u digitalne podatke, omogućavajući njihovu dalju obradu. Obrada podataka uključuje algoritme za detekciju nepravilnosti u radu, što omogućava predikciju trenutka kada je potrebno izvršiti zamjenu ili održavanje prizme.

Softver podržava i prediktivno održavanje koristeći napredne analitičke algoritme za procjenu trošenja na osnovu istorije podataka lokalne baze i trenutnih očitavanja sa senzora. Ako se detektuje odstupanje od predviđenih parametara, sistem automatski generiše upozorenje za operatera, omogućavajući pravovremenu intervenciju. Ukoliko optički senzori otkriju mikrodeformacije na kritičnim dijelovima prizme, softver preporučuje odgovarajuće korektivne mjere, kao što su zamjena dijelova ili podešavanje radnih parametara. Na ovaj način se eliminiše potreba za ručnom kontrolom i smanjuje rizik od prekomjernog habanja prizme i nekvalitetne obrade materijala.

Primjenom ovog sistema, radni vijek prizmi izrađenih od kaljenog čelika sa nitriranim slojem produžen je za 30-40 %, dok su troškovi održavanja smanjeni zahvaljujući preciznoj analizi i pravovremenom održavanju. Operateri imaju mogućnost praćenja svih parametara putem desktop aplikacije, gdje su jasno prikazani podaci o stanju prizme, uključujući sile, vibracije i

deformacije. Integracija ovakvog sistema direktno je doprinijela povećanju efikasnosti proizvodnje, smanjenju vremena zastoja i poboljšanju kvaliteta krajnjih proizvoda.

### III. PRODİRANJE ALATA U PRIZMU

Prodiranje alata u prizmu predstavlja ključni aspekt optimizacije procesa savijanja metala, jer direktno utiče na postizanje željenog ugla savijanja, konzistentnost deformacije i ukupni kvalitet krajnjeg proizvoda. Implementacijom naprednih tehnologija, precizna kontrola dubine prodiranja i analiza ponašanja materijala podignuti su na novi nivo, omogućavajući značajno unaprijeđenje proizvodnih procesa.

Automatska kontrola dubine prodiranja ostvarena je integracijom linearnog enkodera, koji omogućava praćenje dubine prodiranja alata u realnom vremenu. Enkoder je povezan sa mikrokontrolerom, koji analizira podatke sa senzora u milisekundama i precizno pozicionira alat unutar prizme. Kada enkoder detektuje odstupanje od zadate vrijednosti, sistem automatski koriguje dubinu prodiranja. Korekcija se vrši pomoću servo-motora i podešavanjem hidrauličnog pritiska kroz proporcionalne ventile, čime se osigurava da alat uvijek ostane unutar optimalnih radnih parametara.

K-faktor, koji predstavlja odnos između neutralnog sloja materijala i njegove ukupne debljine, ostaje centralni parametar u ovom procesu. Neutralni sloj ostaje bez promjene dužine tokom savijanja, dok ostatak materijala trpi elastičnu i plastičnu deformaciju. Pozicija neutralnog sloja, određena K-faktorom, direktno utiče na tačnost ugla savijanja i radijus deformacije. K-faktor računa kao odnos udaljenosti neutralnog sloja od unutrašnje površine savijanja (T) i ukupne debljine materijala (t):

$$K = \frac{T}{t}$$

Navedena formula se koristi u softveru za automatsko proračunavanje optimalne dubine prodiranja. Za savijanje čelika debljine 5 mm pri uglu od 90° u prizmi sa otvorom od 40 mm, dubina prodiranja iznosi 6,5 mm. Ovaj parametar precizno se podešava kako bi se osigurala konzistentnost deformacije i spriječilo prekoračenje elastične granice materijala.

Unaprijeđeni sistem za kontrolu prodiranja alata omogućava preciznu, brzu i pouzdanu optimizaciju procesa savijanja metala, čime se povećava efikasnost proizvodnje, smanjuju operativni troškovi i zadovoljavaju strogi industrijski standardi preciznosti. Ovakva automatizacija doprinosi povećanju konkurentnosti u modernoj industriji i predstavlja značajan korak ka digitalizaciji i optimizaciji rada hidrauličnih presa.

### IV. METODE SAVIJANJA

Metode savijanja kao što su savijanje u vazduhu, potpuno savijanje i duboko presovanje, imaju direktan uticaj na vrijednost K-faktora i konačne rezultate savijanja. Prilikom savijanja u vazduhu, unutrašnji radijus savijanja zavisi od širine prizme, pri čemu se radijus definiše kao procenat širine otvora prizme. Za čelik standardne čvrstoće (60 KSI), unutrašnji radijus je 15-17 % širine otvora prizme, dok za aluminijum ili mekše

metale taj procenat iznosi 13-15%. Što je materijal mekši, radijus savijanja je manji.

Nasuprot tome, u dubokom presovanju, alat prodire dublje u materijal, često probijajući neutralni sloj, čime se formira vrlo precizan unutrašnji radijus. Ovo omogućuje visoku preciznost savijanja, ali zahtijeva značajnu silu i može izazvati habanje alata.

Potpuno savijanje je slično dubokom presovanju, ali neutralni sloj ostaje netaknut, a alat prodire do 20 % iznad debljine materijala od dna prizme. Ova metoda pruža ravnotežu između preciznosti i očuvanja alata, često se koristi za masovnu proizvodnju sa konzistentnim radijusima savijanja.

#### A. Izbor K-faktora za različite metode savijanja

Za precizne proračune, K-faktor se često izračunava eksperimentalno na osnovu test-komada ili se uzima iz tabela, kao što se vidi na Slici 2. Tipično, K-faktor za većinu industrijskih aplikacija kreće se između 0,3 i 0,5 u zavisnosti od vrste materijala i unutrašnjeg radijusa savijanja. Vrijednosti K-faktora za čelik su između 0,33 i 0,45. Za aluminijum, K-faktor je oko 0,4 do 0,6 dok za titanijum i legure visoke čvrstoće K-faktor obično ima vrijednost oko 0,3 zbog njihove visoke otpornosti za deformaciju.

Generički K-faktori	Aluminijum		Čelik
	Mekli materijali	Umjereno tvrdi materijali	Tvrđi materijali
<b>Savijanje u vazduhu</b>			
Od 0 do debljine	0.33	0.38	0.40
Od debljine do 3x debljine	0.40	0.43	0.45
Preko 3x debljine	0.50	0.50	0.50
<b>Potpuno savijanje</b>			
Od 0 do debljine	0.42	0.44	0.46
Od debljine do 3x debljine	0.46	0.47	0.48
Preko 3x debljine	0.50	0.50	0.50
<b>Duboko presovanje</b>			
Od 0 do debljine	0.38	0.41	0.44
Od debljine do 3x debljine	0.44	0.46	0.47
Preko 3x debljine	0.50	0.50	0.50

Slika 2. K-faktori kod metoda savijanja

Veličina radijusa alata ima veliki uticaj na konzistentnost ugla savijanja. Alati sa manjim radijusima povećavaju mogućnost odstupanja zbog varijacija u debljini materijala, čvrstoći i pravcu vlakana. Ukoliko je radijus alata manji od minimalnog radijusa materijala, dolazi do oštrog savijanja, koja su sklona većim varijacijama ugla zbog promjena u mehaničkim svojstvima materijala. [6]

#### B. Dozvola savijanja

Dozvola savijanja (engl. *bending allowance*) predstavlja dužinu materijala koja se mora dodati kako bi se nadoknadilo rastezanje i sabijanje materijala tokom procesa savijanja. Precizan proračun ove dozvole je ključan za postizanje tačnih dimenzija gotovog dijela. Formula za proračun dozvole savijanja je:

$$BA = \left(\frac{\pi}{180}\right) \times (R + K \times T) \times ABA$$

U datoj formuli, R predstavlja unutrašnji radijus savijanja, K predstavlja K-faktor koji određuje položaj neutralne ose, T

predstavlja debljinu materijala, dok A predstavlja ugao savijanja u stepenima.

Za savijanje pod uglom od 90 °, koristi se pojednostavljena formula koja glasi:

$$BA = \frac{\pi}{2} \times (R + K \times T)$$

U praksi, upotreba alata sa radijusima koji su prilagođeni minimalnom radijusu savijanja značajno smanjuju ove varijacije. Kod savijanja u vazduhu, pravilo od 20 % širine prizme daje konzistentne rezultate, dok se kod dubokog presovanja savijanje oslanja na tačno prodiranje nosa alata.

### C. Povezanost sa softverom

Softversko rješenje koristi K-faktor u realnom vremenu za automatsko prilagođavanje prodiranja alata. Sistem koristi senzore i softverske algoritme za analizu materijala, ugla savijanja i širine otvora prizme, omogućujući dinamičko podešavanje. Na ovaj način, eliminiše se potreba za ručnim računanjem dozvole savijanja i K-faktora. Korisniku je potrebno samo da unese osnovne parametre, poput vrste materijala i ugla savijanja, dok softver samostalno obavlja sve proračune u pozadini. Ovo značajno ubrzava proces, smanjuje mogućnost greške i olakšava rad operatera, omogućujući im da se fokusiraju na kvalitet i brzinu proizvodnje.

## V. ZAKLJUČAK

Ovaj rad prikazuje automatizaciju starih hidrauličnih presa primjenom savremenih tehnologija i metoda automatizacije. Razvijeni sistem upravljanja procesom savijanja koristi bazu podataka, senzorske sisteme i napredne algoritme kako bi omogućio precizno upravljanje parametrima savijanja, praćenje istrošenosti alata i optimizaciju proizvodnog procesa.

Baza podataka sadrži ključne informacije o alatima i materijalima, dok piezoelektrični i laserski senzori omogućavaju praćenje dubine prodiranja, sila savijanja i deformacija u realnom vremenu.

Razvijeni softver pruža intuitivnu desktop aplikaciju putem koje operateri mogu unijeti osnovne parametre, poput tipa i debljine materijala, željenog ugla savijanja i unutrašnjeg radijusa. Na osnovu tih podataka, softver automatski izračunava optimalnu dubinu prodiranja alata i druge ključne parametre, dok povratna sprega sa senzora osigurava kontinuirano prilagođavanje sistema u realnom vremenu. Softver takođe pruža funkcionalnosti za praćenje grešaka i generisanje upozorenja, čime se eliminišu ručne intervencije i smanjuje rizik od operativnih grešaka.

Validacija podataka simulacijama u OpenFOAM-u omogućila je predviđanje ponašanja alata i materijala, smanjujući greške i optimizujući proces. Ovaj pristup unaprijeđuje proizvodne procese, smanjuje troškove održavanja

i doprinosi digitalizaciji industrije, postavljajući temelje za dalju primjenu principa Industrije 4.0.

## ZAHVALNICA

Autori upućuju zahvalnost prof. dr Siniši Tomiću za posvećenost i podršku prilikom izrade ovog rada. Njegova stručnost i konstruktivni savjeti bili su od velike pomoći za kvalitet istraživanja i završnu realizaciju rada.

## LITERATURA

- [1] E. Nikolidakis and G.-C. Vosniakos, "A novel tool clamping system for CNC press brakes," in Proc. 26th Int. Conf. on Manufacturing Systems (ICMAS 2017), Bucharest, Romania, Nov. 2017.
- [2] D. Menićanin, J. Radanović, and M. Boromisa, "Razvoj softverskog okruženja za hidraulične prese," in Proc. 23rd Int. Symp. INFOTEH-JAHORINA, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, Mar. 20–22, 2024.
- [3] K. Mpofo, N. Gwangwava, N. Tlale, and Y. Yu, "Sheet metal productivity improvement through a new press brake design," African Journal of Science Technology Innovation and Development, vol. 6, no. 2, pp. 135–144, Aug. 2014.
- [4] O. Caliskan and A. V. Akkaya, "Modifying hydraulic press brake by variable speed drive application: energy saving, CO2 reduction, and economic analysis," Energy Efficiency, vol. 13, pp. 1031–1046, 2020.
- [5] ISO 10791-6:2014, "Test conditions for machining centres - Part 6: Accuracy of speeds and interpolations," International Organization for Standardization, 2014. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/63390.html>. [Accessed: 20-Jan-2025]
- [6] Y. He, J. Hu, X. Chen, Y. Fei, and E. Li, "Mechanical hydraulic control design of CNC equipment fault based on part quality," Journal of Physics Conference Series, vol. 2021, no. 1, p. 012014, Oct. 2021.

## ABSTRACT

This paper analyzes the modernization of outdated hydraulic press machines in the context of material bending through the development of a software system that optimizes tool selection, adjusts bending parameters, and automates key processes. The system utilizes advanced sensors, including linear encoders and pressure sensors, to monitor real-time tool penetration depth and applied forces, ensuring precise material deformation. A comprehensive database stores information on tools and materials, enabling dynamic updates and automatic recommendations for optimal parameters. Additionally, the system supports predictive maintenance, reducing errors, extending tool lifespan, and enhancing overall productivity.

## AUTOMATION OF OBSOLETE HYDRAULIC PRESS BRAKE MACHINES

Daniel Menićanin  
Jelena Radanović  
Nikola Račić