

## KVALITET OBLIKOVANIH PROIZVODA ROLL FORMING TEHNOLOGIJOM

### QUALITY OF PRODUCTS MADE BY ROLL FORMING TECHNOLOGY

Ibrahim Plančić  
Samed Škapur  
Mašinski fakultet Univerziteta u Zenici  
Zenica

#### REZIME

*Postupak oblikovanja lima pomoću profilisanih valjaka ili roll forming tehnologija predstavlja višefazno kontinuirano oblikovanje lima kojim se iz raznih materijala izrađuju složeni profili različitih oblika i dimenzije. Ovo je jedna od metoda savijanja limova koja se izvodi hladnim deformisanjem i koja se odlikuje velikim stepenom iskorištenja materijala. Navedene činjenice, uz opštu spoznaju da hladnim deformisanjem dolazi do pojave ojačavanja materijala koju karakterišu značajan porast čvrstoćnih osobina deformisanog metala, tehnologiju oblikovanja profila pomoću valjaka čini superiornijom u odnosu na druge varijante oblikovanja profila iz limova. Stoga su hladno oblikovani profili tehnologijom roll forminga kvalitetniji, odnosno odlikuju se nizom prednosti u odnosu na limene profile koji se oblikuju primjenom drugih tehnoloških varijanti obrade deformisanjem. U radu je kroz primjer projektovanja tehnologije izrade jednog nosača kompleksnog oblika poprečnog presjeka tehnologijom roll forminga ukazano na najznačajnije faktore koji opredjeljuju kvalitet hladno oblikovanih profila pomoću profilisanih valjaka.*

**Ključne riječi:** Roll forming, savijanje, kvalitet proizvoda

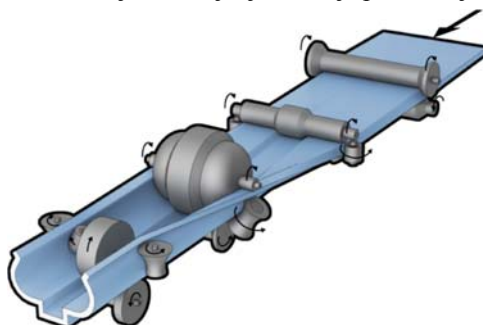
#### SUMMARY

*A method of forming sheet metal by profiled rollers or roll forming technology is a multi-step continuous sheet metal forming that produces complex profiles of different shapes and dimensions from different materials. This is one of the methods of bending sheet metal which is performed by cold deformation and which is characterized by a high degree of material utilization. The stated facts, with the general cognition that cold deformation results in reinforcement of the material characterized by a significant increase in the strength of the deformed metal, roll forming profile technology makes it more superior in comparison with other variants of shaping profiles from sheet metal. Therefore, the cold formed profiles of roll forming technology are of better quality, regarding they have a number of advantages over the sheet profiles that are formed by the application of other technological variants of deformation method. In the paper through an example of designing the technology of making one carrier of a complex cross-sectional shape by roll forming technology is indicated by the most important factors that determine the quality of cold shaped profiles using profiled rollers.*

**Keywords:** Roll forming, bending , quality of product

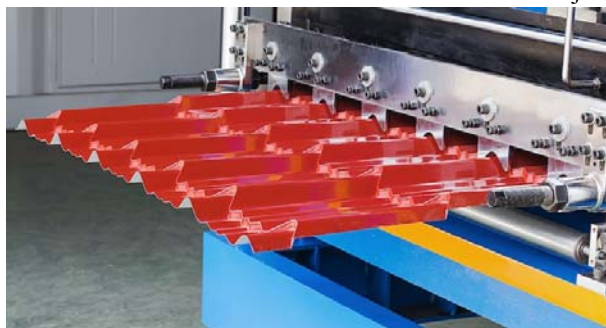
## 1. OSNOVNE KARAKTERISTIKE PROFILISANJA POMOĆU VALJAKA

Osnovna karakteristika profilisanja pomoću valjaka je postupnost formiranja zadanog oblika, odnosno višefazno oblikovanje lima koje se postiže prolaskom pripremljene u vidu trake ili table lima kroz veći broj jedinica za deformisanje, odnosno sekcija za savijanje, kako je predstavljeno simulacijom procesa na slici 1. Ovaj proces oblikovanja profila i talasastih površina od lima, odnosno panela nema nikakve suštinske sličnosti sa procesom valjanja iako se njihova izrada vrši na mašinama sa valjcima. Naime, kod procesa valjanja oblik i dimenzije profila se ostvaruju postupkom deformisanja, odnosno promjenom dimenzija poprečnog presjeka pripremljene, dok se kod profilnog oblikovanja oblik profila dobija savijanjem lima. Također se profilno savijanje pomoću valjaka suštinski razlikuje i u odnosu na postupak izrade profila pomoću specijalnog alata na univerzalnim presama, ali i u odnosu



*Slika 1. Simulacija procesa oblikovanja limenih profila pomoću valjaka [1]*

na postupak profilisanja primjenom abkant presa. Primjenom univerzalnih i abkant presa izrada profila se izvodi pravolinijskim kretanjem alata, a dužina radnog predmeta je ograničena dužinom alata kojom je određena i zona deformisanja. Kod profilisanja sa valjcima, koje je karakteristika velikoserijske i masovne proizvodnje, pripremak izvodi aksijalno kretanje, oblikovanje se vrši postupno, sa malom zonom deformacije i malim parcijalnim stepenom deformacije usljed čega je i deformaciona sila manja, a dužina izratka je faktički neograničena. Postupak se izvodi na sobnoj temperaturi alatima za profilisanje koji se sastoje iz više pari profilisanih valjaka jednostavne izrade i dugog vijeka trajanja. Tokom deformisanja ne dolazi do promjene debljine materijala, pa izrađeni profili imaju približno ujednačenu debljinu lima po poprečnom presjeku izratka. Potreba za hladno oblikovanim profilima i panelima nastala je intenzivnim razvojem novih konstrukcionih elemenata u oblasti automobilske industrije, vazduhoplovstva, željezničkog i drumskog saobraćaja poput različitih profila za ojačanje okvira vrata, branike, trup i sjedala aviona i sl., građevinarstva, elektroindustrije i drugih industrijskih grana, odnosno tehnike uključujući krovne limove, police i kontejnere za skladištenje, različite nosače za ograde, fasadne elemente i sl. To su uglavnom oblasti primjene koje karakteriše masovna primjena složenih limenih profila veće dužine i talasastih površina, a na slici 2. je prikazana mašina za oblikovanje panela krovnog lima sa takvim specifičnim talasastim oblikom površine. Karakteristike ovako dobijenih profila se odnose na mogućnost izrade širokog asortimana poprečnih presjeka profila sa maksimalnom nosivošću i racionalnim iskorišćenjem materijala čiji se stepen iskorišćenja kreće i do 99,9 % što omogućava stvaranje lakih konstrukcija. Hladno oblikovani profili kroz fenomen ojačavanja tokom deformisanja imaju znatno bolje čvrstoćne karakteristike i visok kvalitet površine što dodatno obezbjeđuje povećana antikorozivna svojstva profila i kvalitetno nanošenje dekorativnih prevlaka i boje. Tačnost dimenzija poprečnog presjeka profila je viša u



*Slika 2. Oblikovanje panela krovnog lima*

odnosu na iste ili slične profile dobijene drugim postupcima obrade deformisanjem, a njihova naknadna obrada je minimalna ili uopšte nije potrebna. Sve navedene karakteristike hladno oblikovanih profila kojima se zadovoljavaju sve strožiji zahtjevi kupaca i postizanje strogo definisanih tehničko tehnoloških specifikacija savremenih konstrukcionih elemenata u brojnim industrijskim granama se mogu jednostavno okarakterisati kvalitetom profilisanih izradaka. Za njegovo postizanje neophodno je sagledati i utvrditi sve potrebne aktivnosti kojima se definiše optimalna tehnološka varijanta izrade hladnih limenih profila i panela primjenom profilisanih valjaka, kao i uticajne parametre njihovog oblikovanja po pojedinim fazama izrade. Stoga je potrebno pažljivo razmotriti svaku fazu oblikovanja kako bi proizvodni proces bio stabilan i obezbijediavao zahtijevani visoki kvalitet profila. Opšte smjernice projektovanja tehnologije oblikovanja profila i panela primjenom profilisanih valjaka su predstavljene u nastavku.

## **2. SMJERNICE ZA PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE PROFILNOG SAVIJANJA**

Shodno opštim preporukama za projektovanje tehnologije kod bilo kojeg postupka obrade deformisanjem, a koja se načelno sastoji iz analize naponsko deformacionog stanja s ciljem definisanja potrebnog broja, redoslijeda operacija oblikovanja i dimenzije izradaka po fazama izrade, konstrukcije alata i izbora mašine za oblikovanje, i kod projektovanje tehnologije izrade hladnih profila i panela primjenom profilisanih valjaka se podrazumijeva čitav niz aktivnosti, a osnovne uključuju:

- Analizu tehnologičnosti konstrukcije profila,
- Izbor vrste i kvaliteta polaznog materijala,
- Izbor tehnološke šeme profilisanja,
- Utvrđivanje položaja profila u valjcima,
- Određivanje oblika i dimenzija priprema,
- Izbor režima profilisanja,
- Konstrukciju alata, a prije svega profilisanih valjaka i
- Izbor mašina za profilisanje.

Kako bi proizvodni proces bio potpuno stabilan i obezbijediavao visoki kvalitet profila, posebno ako se ima u vidu da je izrada profila i talasastih limova postupkom savijanja pomoću valjaka visokoproduktivna metoda koja se primjenjuje u masovnoj proizvodnji, neophodno je pažljivo razmotriti svaku fazu njihovog oblikovanja.

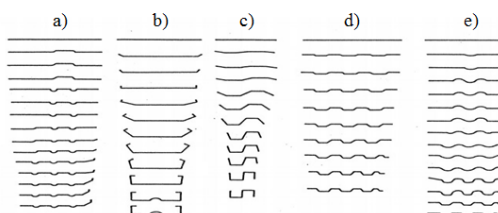
*Analiza tehnologičnosti profilne konstrukcije* se vrši u slučaju izrade novih profila ili panela koji nisu dio standardnih oblika ili internih standarda njihovih proizvođača. Ona podrazumijeva provođenje analize za dobijanje tehnologičnije konstrukcije, odnosno konstrukcije koja omogućava jednostavniju izradu, a nastala je kao rezultat primjene određenih iskustvenih i literaturnih preporuka u vezi sa izradom profila i panela. Većina preporuka se odnosi na usklađivanje odnosa dimenzija izradaka i minimalnih radijusa savijanja prema debljini materijala, kao i eventualnih dodataka za naknadnu mehaničku obradu, s ciljem dobijanja oblika i dimenzija hladno oblikovanih profila koji odgovaraju konstrukcionim i eksploatacionim zahtijevima, odnosno potrebnom kvalitetu finalnog proizvoda uz zadovoljavanje tehnoloških mogućnosti za njihovu proizvodnju. U literaturnim izvorima su uglavnom date preporuke u vezi sa minimalnom i maksimalnom mogućom širinom profila u zavisnosti od debljine lima koji se oblikuje, dok su minimalni radijusi savijanja limitirani plastičnim svojstvima polaznog materijala. Provjeravaju se u zavisnosti od vrste i debljine materijala, a u pravilu ne treba da budu manji od debljine materijala kako bi se garantovalo efikasno oblikovanje bez trganja lima i pojave pukotina u zoni savijanja.

*Priprema* za profilno oblikovanje je lim odgovarajuće širine i debljine. Na stabilnost procesa profilisanja i kvalitet izrađenih profila značajno utiče kvalitet priprema koji je je određen njegovim dimenzijama, odnosno debljinom i širinom, te mehaničkih osobinama, odnosno

vrstom materijala. Stoga se debljina i širina priprema mora nalaziti u propisanim tolerancijama. Eventualna odstupanja uzrokuju greške u izradi profila poput neravnina u obliku talasa i oštećenja bočnih ivica, a time i kvalitet profila. U zavisnosti od vrste materijala, odnosno njegovih mehaničkih osobina vrši se podešavanje režima obrade. Niže vrijednosti režima obrade, a posebno brzine, koriste se kod oblikovanja legiranih čelika, u odnosu na ugljenične čelike i aluminijum. Inače profilisanje je moguće i u slučaju plastificiranih, obojenih i limova sa perforacijom.

Prilikom savijanja pomoću valjaka na kvalitet profila također značajan uticaj ima redosljed formiranja reljefa, odnosno pojedinih elemenata profila. Ovaj redosljed se ustvari definiše tehnološkom šemom profilisanja. a moguće su slijedeće varijante:

- a) Postepeno oblikovanje profila od ose, odnosno sredine radnog predmeta prema periferiji,
- b) Postepeno formiranje profila od periferije radnog predmeta prema osi, odnosno sredini,
- c) Istovremeno profilisanje po cijeloj širini priprema,
- d) Kombinovano oblikovanje i
- e) Profilisanje sabijanjem talasa.



Slika 3. Varijante tehnoloških šema profilisanja [2]

Na slici 3. su ilustrirane svaka od navedenih tehnoloških šema profilisanja. Prva i druga tehnološka šema u principu omogućuje izradu kvalitetnih profila zadovoljavajuće tačnosti, ali zahtijevaju veći broj valjaka u procesu profilisanja. Varijantom pod *a* se prvo oblikuju centralni elementi, a drugom tehnološkom šemom *b* prvo se oblikuju periferni elementi, te se ona primijenjuje kada postoji strogi zahtijev za tačnošću oblika i dimenzija krajnjih elemenata profila i kada se formiranjem krajnjih elemenata želi izvršiti ukrucivanja i dodatno ojačavanje profila. Proračun širine priprema u ovom slučaju mora biti vrlo precizan, u protivnom mogu nastati problemi u postupku profilisanja izazvani manjkom ili viškom materijala. Istovremeno oblikovanje po cijeloj širini profila *c* se izvodi sa najmanjim brojem valjaka u odnosu na prethodne postupke, a za ovakav način profilisanja potrebno je veoma precizno odrediti polaznu širinu priprema, broj faza i oblik profila po pojedinim fazama. Kombinovani postupak profilisanja *d* sastoji se od postepenog i jednovremenog formiranja profila, a peti način *e* predstavlja postupak oblikovanja profila sabijanjem prethodno formiranih talasa.

*Položaj profila* u odnosu na horizontalnu osu valjka treba da omogući izradu sa što jednostavnim oblikom valjaka, visok kvalitet površine profila, trajnost valjaka i niske troškove izrade i održavanja. Ovo se postiže pravilnim izborom osnovne ose i osnovnog elementa profila koji treba ustvari da budu u osi simetrije profila.

Širina priprema određuje se kao dužina neutralne linije profila, a uobičajeno predstavlja zbir dužina neutralnog sloja njegovih pravolinijskih i krivolinijskih elemenata.

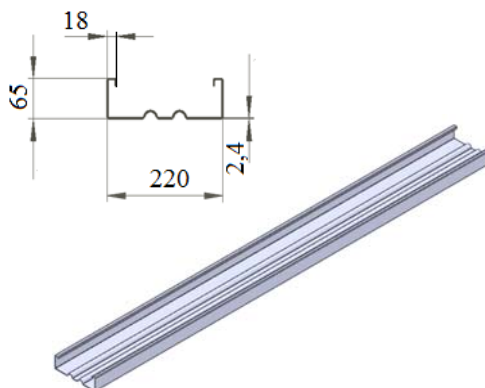
U režime obrade koji značajno utiču na proces profilisanja i kvalitet profila, spadaju veličina ugla savijanja i radijusi zaobljenja po fazama obrade. Režimi profilisanja nisu identični u svim fazama obrade, a u zavisnosti od vrste profila u literaturi su date njihove preporučene vrijednosti. Značajnu pomoć prilikom definisanja režima obrade, kao i konstrukcije valjaka pružaju savremena softverska rješenja za profilno oblikovanje. Inače, konstrukcija valjaka se vrši nakon potpune razrade tehnološkog postupka izrade na osnovu oblika izratka po fazama profilisanja.

Izbor mašine za profilisanje pomoću valjaka zavisi od složenosti, debljine, oblika i dimenzija profila, mehaničkih osobina materijala, količine profila i sl., a dijele se s obzirom na primjenjeni

režim profilisanja. U nastavku je predstavljena implementacija dijela navedenih preporuka kroz konkretnu izradu jednog profilnog nosača.

### 3. PRIMJER IZRADE NOSAČA POMOĆU PROFILISANIH VALJAKA

Kao primjer efikasne izrade kvalitetnih profila primjenom profilisanih valjaka može da posluži oblikovanje profilnog podnog nosača za koji se primjenom vijaka i zakovica učvršćuju uređaji i drugi konstrukcioni elementi u vjetroelektranama. Poprečni presjek i model nosača dužine 2178 mm je prikazan na slici 4., a materijal za izradu je pocinkovani lim (S380 GD) što približno odgovara čeliku Č.0562, debljine 2,4 mm. Predviđena godišnja serija je cca 1500 komada. Shodno navedenim preporukama u vezi sa profilnim oblikovanjem za potrebe rada je izvršeno projektovanje tehnologije i konstrukcija alata za izradu predmetnog nosača. Razvijena širina profila se sastoji od ravnih nedeformisanih dijelova i savijenih dijelova, te je njena vrijednost određena kao zbir dužina pravolinijskih elemenata i dužina savijenih dijelova koje se računaju kao dužine lukova neutralne ose, po slijedećem obrascu:



Slika 4. Oblik podnog profilnog nosača za izradu

$$L = L_{nd} + L_{sd} = \sum_{i=1}^n l_i + \frac{\pi}{180^\circ} \sum_{i=1}^n \varphi_i (r + \xi \cdot s) [\text{mm}] \quad \dots(1)$$

Nakon izračunavanja i izvršenih proba usvojena je vrijednost širine lima za oblikovanje profila  $L=407$  mm, a izvršena je i provjera minimalnog i maksimalnog radijusa savijanja, te je utvrđeno da su zadani radijusi u dozvoljenim granicama.

Za definisanje tehnološke šeme profilisanja, veličine elastičnog ispravljanja profila i njene korekcije prilikom savijanja profila, te osnovnih elemenata za konstrukciju profiliranih valjaka po fazama izrade primjenjen je specijalizirani softver Copra RF koji ima široku lepezu alata koji omogućavaju i olakšavaju definisanje procesa, njegovu simulaciju i optimizaciju. Softver ima standardno windows okruženje unutar AutoCAD aplikacije i omogućava jednostavno crtanje, odnosno unos geometrije profila u sklopu aplikacije ili importovanje već pripremljene geometrije izratka, izbor vrste materijala i zadavanje njegove debljine. Nakon definisanja geometrije profila, zadaju se elementi koji će se savijati, te na bazi iskustva predviđa i upisuje broj prolaza za oblikovanje. Tako se definišu svi savijeni dijelovi i određuje broj prolaza praćenjem simulacije kretanja materijala kroz prolaze. Nakon unošenja podataka svih savijenih dijelova i broja prolaza, primjenom softvera, a na bazi iskustva kreiran je odgovarajući cvjetni dijagram oblikovanja, slika 5. Savijanje počinje postupnim savijanjem vanjskih ivica prvo u tri prolaza pod uglom od  $30^\circ$ , a

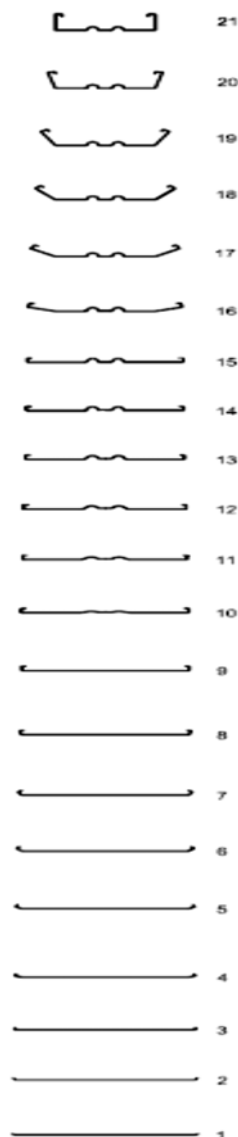


Slika 5. Cvjetni dijagram oblikovanja

zima u šest prolaza pod uglom od  $15^\circ$ , nakon čega je slijedi oblikovanje unutrašnjih rebara koje se obavlja u šest prolaza. Nakon toga se vrši oblikovanja vanjskih strana visine 65 mm u šest prolaza sa uglom savijanja od  $15^\circ$ . Ukupan broj prolaza je 21, a razvijeni cvjetni dijagram, koji ustvari predstavlja tehnološku šemu oblikovanja za zadani profil prikazan je na slici 6. Na bazi projektovane tehnologije izvršena je konstrukcija segmentnih valjaka za svaki prolaz, a zatim projektovana mašina na kojoj je izvršena izrada predmetnog profila propisanog kvaliteta.

#### 4. ZAKLJUČAK

Roll forming tehnologija ili oblikovanje različitih profila i panela pomoću profilisanih valjaka je progresivna tehnologija oblikovanja kojom se dobijaju složene geometrijske forme limenih profila visokog kvaliteta. Njihov kvalitet ogleda se u mogućnošću ostvarenja velike dimenzione preciznosti oblikovanih dijelova i njihovim dobrim mehaničkim osobinama koje su rezultat ojačavanja materijala tokom hladne plastične deformacije. Preporuke u vezi sa projektovanjem tehnologije njihovog oblikovanja uspješno su implementirane u postupku izrade profilisanog podnog nosača koji je predstavljen u ovom radu. Posebno značajnu karakteristiku u efikasnom projektovanju tehnologije izrade, a posebno kod određivanja elastičnog povrata materijala i tehnološke šeme profilisanja sa brojem prolaza, kao i neophodnih elemenata konstrukcije alata, odnosno valjaka, predstavlja primjena savremenih softvera za modeliranje i simulaciju procesa profiliranja. Softverska aplikacija Copra RF je uspješno primjenjena za dobijanje optimalne tehnološke šeme profiliranja podnog nosača koji je predmet ovoga rada, a na osnovu koje je izvršena i njegova izrada u realnim proizvodnim okolnostima u propisanom nivou kvaliteta. Preporuke i provedena metodologija izrade ovog nosača može efikasno da posluži kod izrade sličnih profila ili projektovanja tehnologije izrade druge vrste limenih proizvoda u serijskoj i masovnoj proizvodnji.



Slika 6. Faze oblikovanja

#### 5. LITERATURA

- [1] I. Halmos, George T., Roll forming (Metalwork)-Handbooks, manuals. II. Series. 2016.
- [2] Miroslav Plančak, Dragiša Vilotić, Vlado Vujović, Tehnologija plastičnosti u mašinstvu II, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1992.
- [3] Himzo Đukić, Mirna Nožić, Obrada deformisanjem, Univerzitet "Džemal Bijedić", Mašinski fakultet u Mostaru, 2013.
- [4] Heinz Tschaetsch, Metal Forming Practise, Processes – Machines – Tools, Originally German edition published by Vieweg Verlag, Wiesbaden 2005.
- [5] Binko Musafija, Obrada metala plastičnom deformacijom, Svjetlost Sarajevo, 1988.
- [6] Vukota Boljanović, Sheet metal forming, processes and die design, Industrial Press Inc. 200 Madison Avenue New York, New York 10016, 2004.