

VPENJALNI – PALETNI SISTEMI S PASIVNIM DUŠENJEM

Åke Hjalmarsson¹, Mihai Nikolescu², Marjan Dobovšek³

¹ System 3R, Vällingby, Švedska,

² The Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Švedska

³ Vpenjalni sistemi d.o.o., Ljubljana, Slovenija

POVZETEK

Uporaba paletnih sistemov za vpetje obdelovancev se na obdelovalnih sistemih povečuje. Poleg obdelovalnega stroja in rezilnega orodja je tudi sistem za vpetje obdelovanca pomemben del elastične strukture obdelovalnega sistema. Skupne raziskave sistema 3R in Kraljevega inštituta za tehnologijo v Stockholm so pokazale, da imajo dinamične lastnosti sistema za vpetje obdelovanca zelo velik vpliv na parametre procesa obdelave. Razvit je bil paletni sistem s pasivnim dušenjem, ki je pokazal vrsto prednosti pred paletnimi sistemi brez dušenja. Boljša dinamika paletnih sistemov poveča kakovost proizvodnje in njeno kapaciteto.

1. UVOD

Pred petimi leti je system 3R z raziskavami, kako v celoti izkoristiti sistem za vpetje obdelovancev. Do takrat so konstruktorji posvečali pozornost le statični stabilnosti teh sistemov. Vprašanje dinamične stabilnosti ni bilo pomembno, dokler raziskave niso pokazale, da je kvaliteta obdelave s takimi sistemi bistveno boljša. Primerjava sistema Dynafix z dušenjem vibracij, največjega paletnega sistema sistema 3R, s paletnim sistemom konkurence je pokazala, da je bila kljub manjši statični stabilnosti sistema z dušenjem vibracij v primerjavi s statično stabilnejšim sistemom konkurence, dosežena boljša kvaliteta obdelane površine. Poleg tega omogoča ta sistem tudi večjo globino rezanja od konkurence. Razlog za to je boljša dinamična stabilnost, ker ima ta sistem manjše amplitude vibracij pri lastni frekvenci, kar je posledica boljšega modalnega dušenja.

2. POTREBNO JE VEČ, KOT SAMO PALETNI SISTEM

2.1. Dinamične karakteristike obdelovalnih sistemov

Današnja obdelava je zelo zahtevna, saj se zahteva pri obdelavi trdih materialov z visokimi rezalnimi hitrostmi izredno velika točnost in ponovljivost obdelave. To zahteva več kot samo paletni sistem.

Tipičen obdelovalni sistem je zaprta zanka, ki jo sestavljata dva podsistema: elastična struktura in proces odrezavanja. Elastično strukturo sestavljajo tri komponente: obdelovalni stroj, rezilno orodje in sistem za vpetje obdelovanca. Kvaliteta končnega izdelka in kapaciteta obdelovalnega procesa je močno odvisna od dinamične stabilnosti posamezne komponente in elastične strukture, ki jo sestavljajo tri komponente: obdelovalni stroj, rezilno orodje in sistem za vpetje obdelovancev. Do sedaj so bile raziskave usmerjene na konstrukcijo strojev in v določenih primerih v rezilno orodje. Večinoma pa so tako konvencionalne, kakor tudi paletne sisteme raziskovalci zanemarjali.

V systemu 3R pa je bilo ugotovljeno, da je investicija v raziskave, s katerimi bo dosežena dinamična stabilnost obdelovalnih procesov s povečanjem dinamične stabilnosti vpenjalnih sistemov, smiselna. V letu 2001 je začeto skupno delo sistema 3R z Kraljevim inštitutom za tehnologijo (KTH) v Stockholmu. Cilj je bil razvoj paletnega sistema z močnim dušenjem vibracij s konstrukcijo s pasivnim dušenjem. V projekt je bilo vloženih milijon dolarjev.

2.2. Parametri dinamičnih karakteristik

Parametri, ki določajo dinamično karakteristiko sistema so lastna frekvenca, način dušenje in oblika

obdelovalnega stroja. Lastna frekvenca se spreminja z maso in togostjo posameznega sistema. Kontrola je možna samo v primeru, če so povsem jasni pogoji dela, kar pomeni, da je določeno področje frekvenc. Pri obdelavi se pogoji stalno spreminjajo in so odvisni od vrste in velikosti obdelovanca, materiala obdelovanca, rezalnih pogojev, spremembe teže obdelovanca, ki se z odvzemanjem materiala zmanjšuje. Zato mora biti konstrukcija taka, da bo delovala v dovolj širokem področju frekvenc. Le tako bo sistem deloval pri klasični obdelavi in tudi pri rezanju z visokimi rezalnimi hitrostmi v dovolj širokem področju rezalnih parametrov, obdelavi različnih materialov in pri različni velikosti obdelovancev. Pomembna je tudi cena in prijaznost do uporabnika sistema. Pri vseh teh pogojih so možnosti konstrukcije omejene na minimum. Možno je dušenje z maso, piezoelektričnimi elementi ali viskozni elastičnimi polimeri (VEPD). Dušenje z maso je učinkovito samo v ozkem področju frekvenc in je za drugo področje potrebna nova konstrukcija. Dušenje s piezoelektričnimi elementi je drago in ni učinkovito. Kot najboljša se je pokazala uporaba VEPD.

3. KONSTRUKCIJA IN RAZVOJ

3.1. Konstrukcija in njene dinamične karakteristike

Konstrukcija paletnega sistema je ostala enaka kot prej, dodan je samo del, ki omogoča močno dušenje.

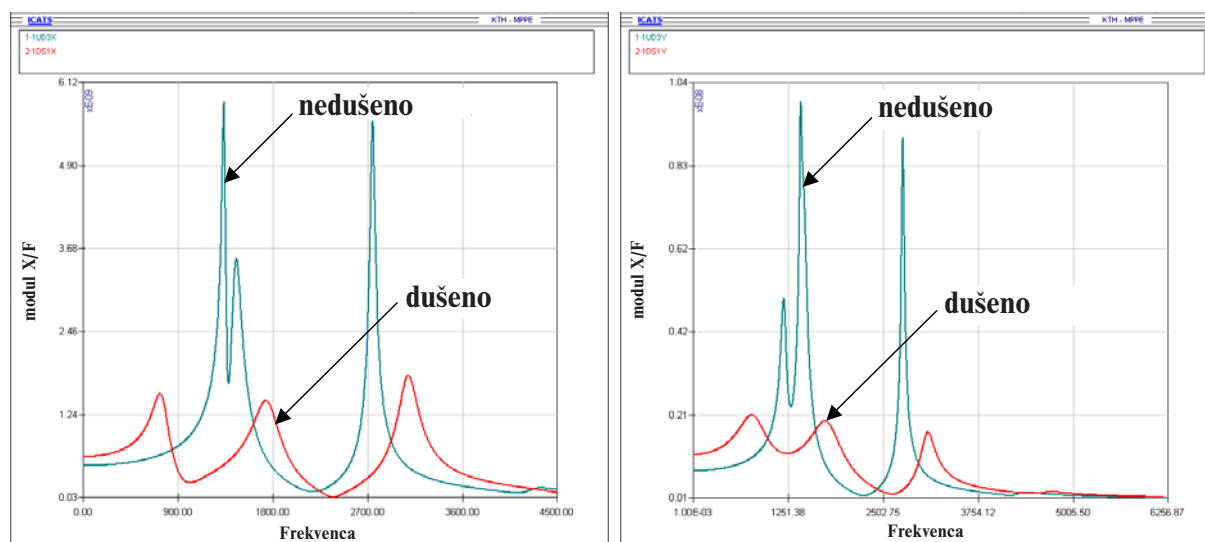
Pri tem mora biti izboljšana dinamika sistema, ne smejo pa se poslabšati ostale lastnosti sistema. Testiranje prve konstrukcije je pokazalo vzpodbudne rezultate, ki pa so se v naslednjih konstrukcijah še izboljšali. Proces razvoja je bil dolg in zahteven in končni rezultat je konstrukcija, ki izpolnjuje postavljene zahteve. Modalno dušenje, dinamična in statična stabilnost so bili glavni parametri, ki so bili kontrolirani v razvojnem procesu. **Slika 1** prikazuje primerjavo med statično (amplituda pri 0 Hz) in dinamično podajnost za dušen in nedušen paletni sistem, ki je bila dobljena s tipičnim testiranjem obeh sistemov.

Slika 2 prikazuje kvantitativno primerjavo modalnega dušenja, statične in dinamične togosti dušenega in nedušenega sistema.

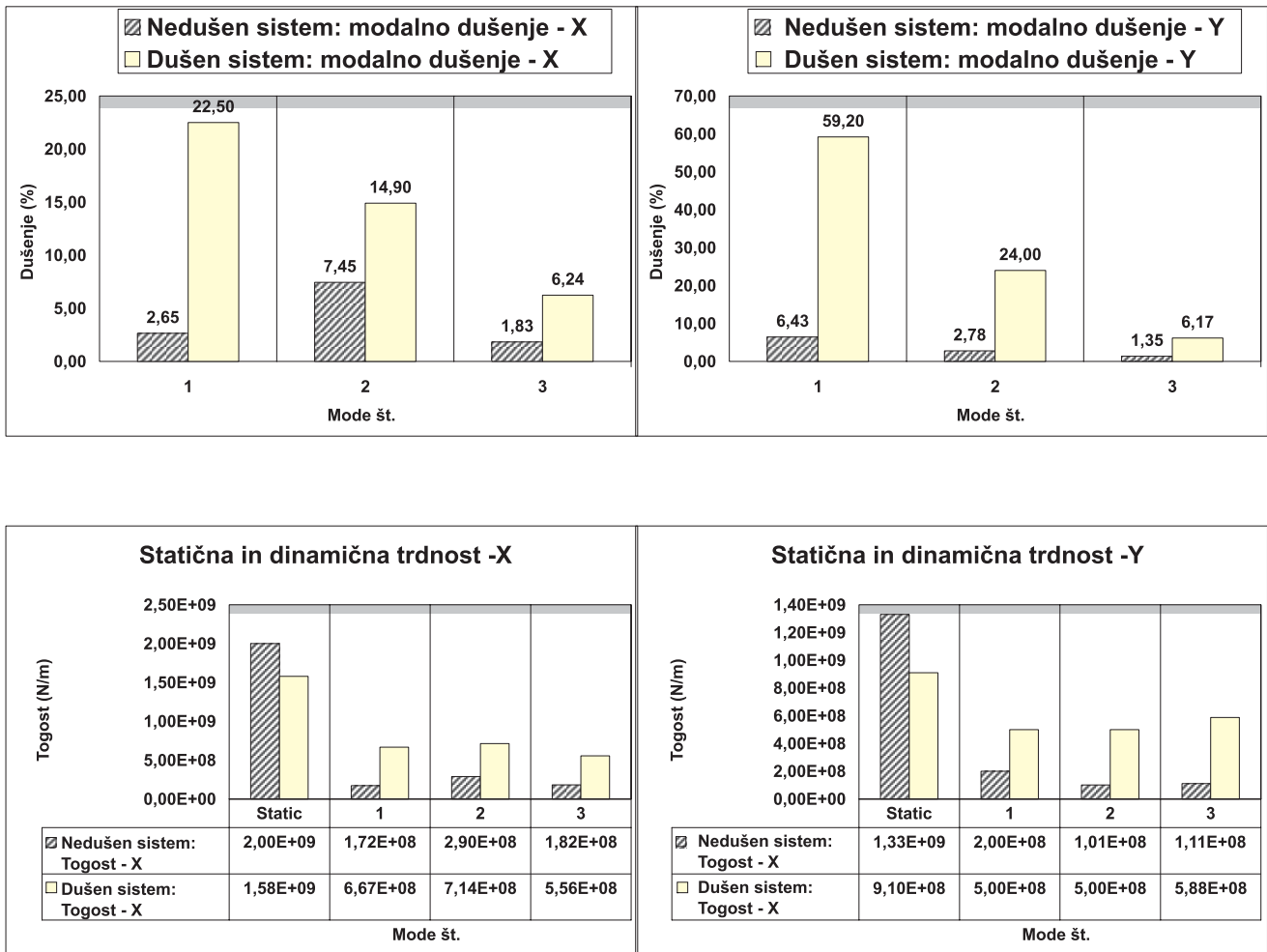
Dinamika paletnega sistema je bila izboljšana ob majhni izgubi statične togosti. Testi z obdelavo so pokazali, da zmanjšanje togosti ni v ničemer poslabšalo učinkovitosti sistema.

3.2. Testiranje in vrednotenje nove konstrukcije

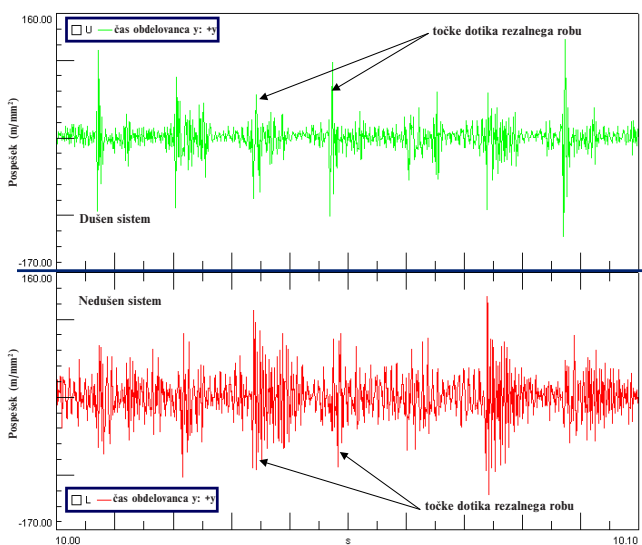
Da bi zagotovili verodostojnost meritev učinka paletnega sistema z dušenjem, so bili testi narejeni v normalnem delovnem okolju. Parametri testiranja so bile vibracije merjene na obdelovancu, rezalne sile in življenjska doba orodja. **Slika 3** prikazuje časovni potek vibracij na dušenem in nedušenem sistemu v smeri Y.



Slika 1: Statična in dinamična popustljivost v smeri X (levo) in Y (desno).

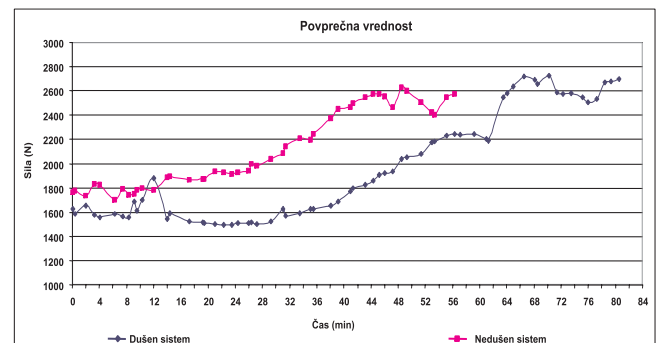


Slika 2: Primerjava med dušenim in nedušenim sistemom.



Slika 3: Časovni zapis pospeškov nastalih zaradi vibracij merjenih med rezkanjem obdelovanca pritrjenega na dušen in nedušen sistem.

Čas vibracij je pri nedušenem sistemu očitno daljši kot pri dušenem sistemu. Pri dušenem sistemu se rezalne sile zmanjšajo in se poveča življenjska doba orodja.



Slika 4: Primerjava življenjske dobe orodja pri enakih pogojih rezanja – nedušen sistem (zgornja krivulja), dušen sistem (spodnja krivulja).

VPENJALNI – PALETNI SISTEMI S PASIVNIM DUŠENJEM

Åke Hjalmarsson¹, Mihai Nikolescu², Marjan Dobovšek³

¹ System 3R, Vällingby, Švedska, ² The Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Švedska

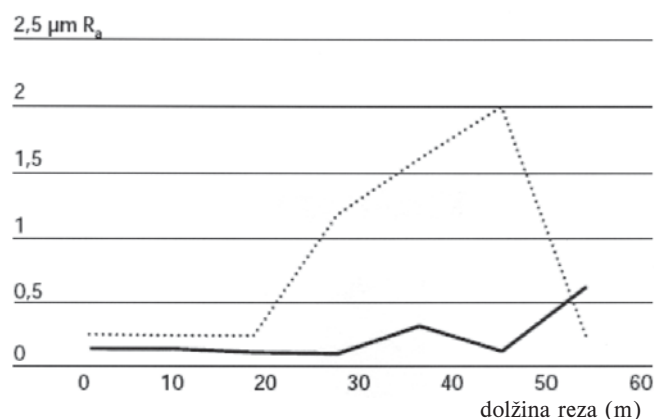
³ Vpenjalni sistemi d.o.o., Ljubljana, Slovenija

Veliko število testov obdelave na KTH je pokazalo povečano učinkovitost dušenega sistema. System 3R je želel kompletno vrednotenje dušenega sistema še od tretje strani. To vrednotenje, predvsem kvaliteta obdelane površine in obraba orodja, je bilo narejeno na Fraunhoferjevem inštitutu proizvodnih tehnologij v Aachnu v Nemčiji. Pri čelnem rezkanju z rezkarjem premera 0,3 mm so bili z dušenim sistemom doseženi očitno boljši rezultati. Slika pove več kot tisoč besed – glej sliko 5. Obdelava je bila narejena z radialnim rezom 50° in trdota materiala obdelovanca je bila 49 HRC.



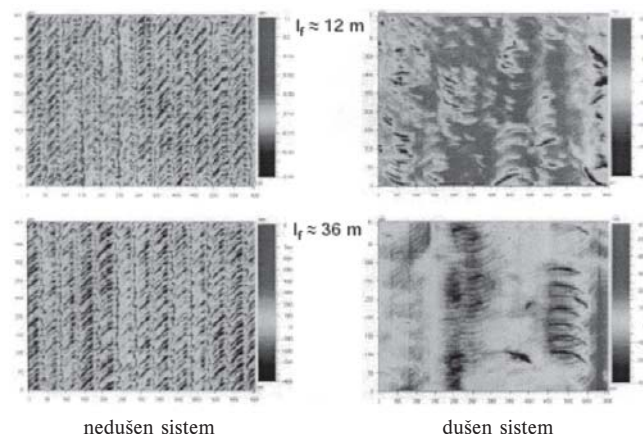
Slika 5: Primerjava kvalitete obdelane površine na dušenem sistemu (levo) in nedušenem sistemu (desno).

Slika 6 prikazuje spremembo hrapavosti v odvisnosti od dolžine reza. Pri nedušenem sistemu se hrapavost po določeni dolžini reza močno poveča.



Slika 6: Odvisnost hrapavosti obdelane površine od dolžine reza – dušeni sistem (spodnja krivulja), nedušeni sistem (zgornja krivulja).

Optične meritve kažejo očitno razliko v kvaliteti obdelane površine med obema sistemoma – glej sliko 7. Pri dušenem sistemu posamezni prehodi orodja niso vidni.



Slika 7: Optično merjenje hrapavosti površine na obdelovancu prikazanem na sliki 5. Meritve so bile narejene po 12 in 32 m dolgem rezu.

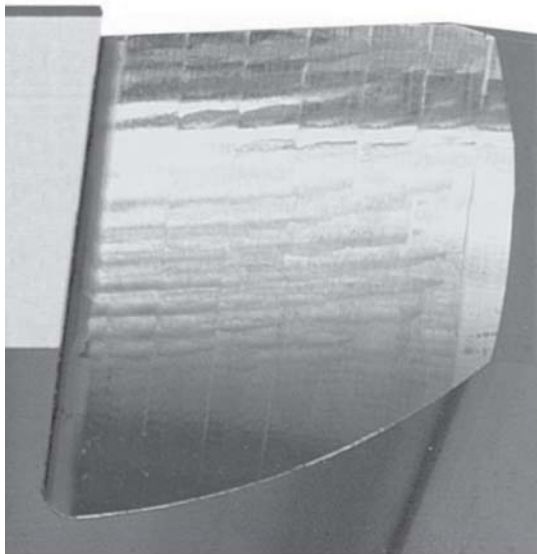
To je rezultat enega od večkrat ponovljenega testa na Fraunhoferjevem inštitutu. Tudi ostali rezultati prepričljivo kažejo učinkovitost dušenega sistema.

4. PALETIZACIJA S PASIVNIM DUŠENJEM VIBRACIJ PRI STRANKAH SYSTEMA 3R

4.1. Testiranje VDP sistema na Švedskem

Uspešnost sistema paletizacije z dušenjem vibracij (Vibration Damping Palletisation -VDP), kot system 3R ta novi razvoj imenuje, se je pri testiranju že jasno pokazala, vendar je končni in odločujoči kriterij zadovoljna stranka.

Prvi prototip VDP je bil v normalnem delovnem okolju instaliran pri Lindigö Production AB v Stockholmu in je dobil zelo visoko pozitivno oceno. To podjetje proizvaja frezala različnih premerov (40, 50, 63 in 80 mm) različnih konstrukcij (5, 7 8 utorov za rezalne ploščice) v jekla s trdoto 45 HRC. Pri obdelavi utora za pritrditev rezalne ploščice so se na frezalu premera 80 mm pojavljale močne vibracije. Parametri rezanja so morali zato imeti zelo konzervativne vrednosti, da je bil ta problem manjši. Celotna obdelava je zahtevala 7 grobih rezov (vsakič



Obdelava brez VDP



Obdelava z VDP

Slika 8: Primerjava obdelanih površin pri uporabi paletnega sistema brez in z VDP

po 3 mm) in 7 finih rezov s podajanjem 450 mm/min. Z enim frezalom (frezalo premera 32 mm s 4 rezalnimi robovi) so obdelali samo 10 obdelovancev.

Obdelava na našem 5-osnem obdelovalnem centru z uporabo VDP je občutno povečala učinkovitost procesa obdelave. Z VDP so bili potrebni samo grobi rezi in dosežena je bila boljše kvaliteta obdelane površine (glej **slika 8**). Z uporabo podajanja 600 mm/min, se je čas obdelave zmanjšal za 19%. Z enim rezkarjem je bilo narejenih 40 namesto 10 obdelovancev. Tudi pri izdelavi ostalih tipov frezal je bilo možno uporabiti večje podajalne hitrosti z daljšo življenjsko dobo orodja in krajših časih izdelave.

4.2. Z japonskega trga

Enega od prototipov je dobilo v testiranje podjetje SHIMANO, eden od vodilnih proizvajalcev komponent za kolesa in športni ribolov v svetu. Pri njih so primerjali VDP z nedušnim paletnim sistemom na dveh različnih obdelovalnih centrih, konvencionalnem in rezanjem z visoko hitrostjo v njihovih proizvodnih enotah v Osaki. Kot osnovni kriterij je bila izbrana hrapavost površine pri rezkanju jekel za delo v vročem (YSS tip DAC3) pri trdoti 51 HRC. Boljša kvaliteta obdelane površine (glej **slika**

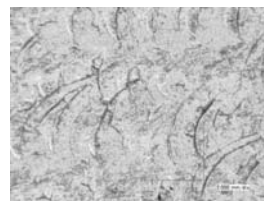
9) govori v prid VDP sistemu z boljšimi dinamičnimi lastnostmi.

Stroj z visoko hitrostnim rezanjem

Konvencionalni stroj

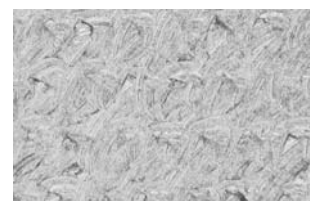
Material: YSS type DAC3

Hardness: 51 HRC



VDP Sistem

R_a 0.538 μm
 R_{max} 5.022 μm
 Rezalna hitrost: 10000 rpm



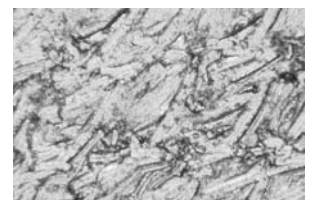
VDP Sistem

R_a 0.860 μm
 R_{max} 6.965 μm
 Rezalna hitrost: 3000 rpm



Nedušen sistem

R_a 1.288 μm
 R_{max} 7.192 μm
 Rezalna hitrost: 10000 rpm



Nedušen sistem

R_a 3.006 μm
 R_{max} 16.08 μm
 Rezalna hitrost: 3000 rpm

Slika 9: Meritve hrapavosti površine pri obdelavi komponent na centru z rezanjem z visoko hitrostjo (levo) in konvencionalnim obdelovalnim centrom (desno).

VPENJALNI – PALETNI SISTEMI S PASIVNIM DUŠENJEM

Åke Hjalmarsson¹, Mihai Nikoiescu², Marjan Dobovšek³

¹ System 3R, Vällingby, Švedska, ² The Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Švedska

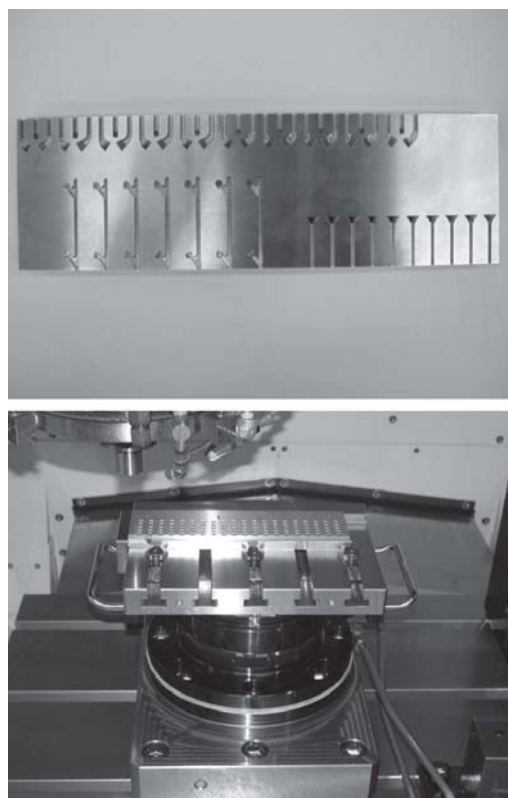
³ Vpenjalni sistemi d.o.o., Ljubljana, Slovenija

Pri tem je potrebno poudariti, da so bile dosežene prednosti na konvencionalnem obdelovalnem centru večje. Procent zmanjšanja povprečne in maksimalne hrapavosti (R_a in R_{max}) je bila pri konvencionalnem rezkanju večja, kot pri rezkanju z visokimi hitrostmi. Razlog je v tem, da na konvencionalnih strojih ne uporabljajo orodij s tako visoko dinamično stabilnostjo, kot pri rezkanju z visokimi hitrostmi.

Naslednji prototip paletnega sistema v VDP je bil preizkušen v podjetju Yasda Precision Tools KK iz Okinave, Japonska, ki proizvaja centre za rezkanje z visokimi hitrostmi in vrtalne centre V tem primeru je bila narejena primerjava paletnega sistema z VDP in stabilnim hidravličnim primežem.

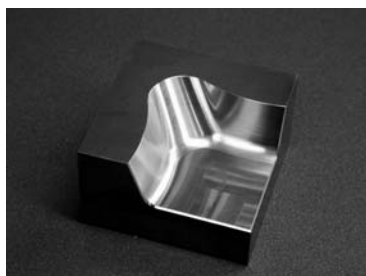
Test je bil narejen z rezkanjem z visokimi rezalnimi hitrostmi z krogličnim rezkanjem premera 8 mm (1,5 mm kroglični rezkar) z 10.000 obr/min in hitrostjo podajanja 4000 mm/min. Z VDP je bila dosežena za 33% boljša kvaliteta obdelane površine pri R_{max} , kjer se je 1,5 μm na 1,0 μm (glej **sliko 10**).

Podjetje Apic Yamada Corp. in Nagano, Japan proizvaja orodja za elektronsko industrijo, kjer je zelo pomembna kvaliteta obdelane površine. Za obde-



Slika 11: Vpetje in obdelovanec obdelan v podjetju Apic Yamada Corp. iz Nagana, Japonska.

Obdelovanec

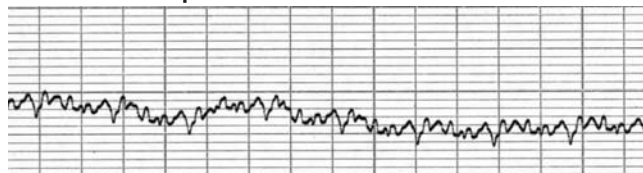


Material: HPM38

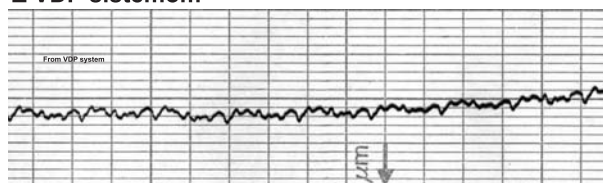
Trdota: HRC52

Velikost: 50 x 50 x 35 mm

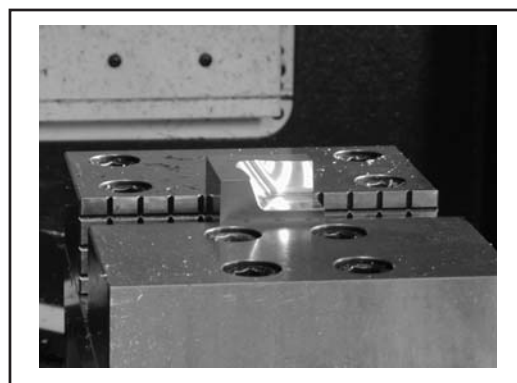
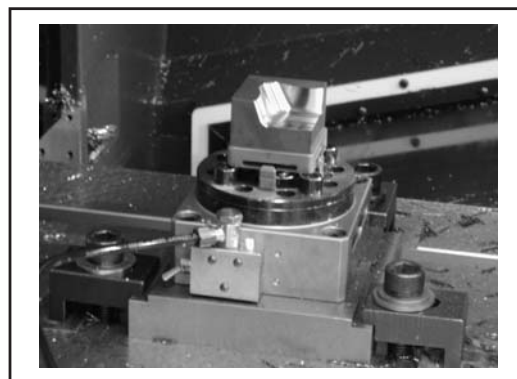
Z hidravličnim primežom

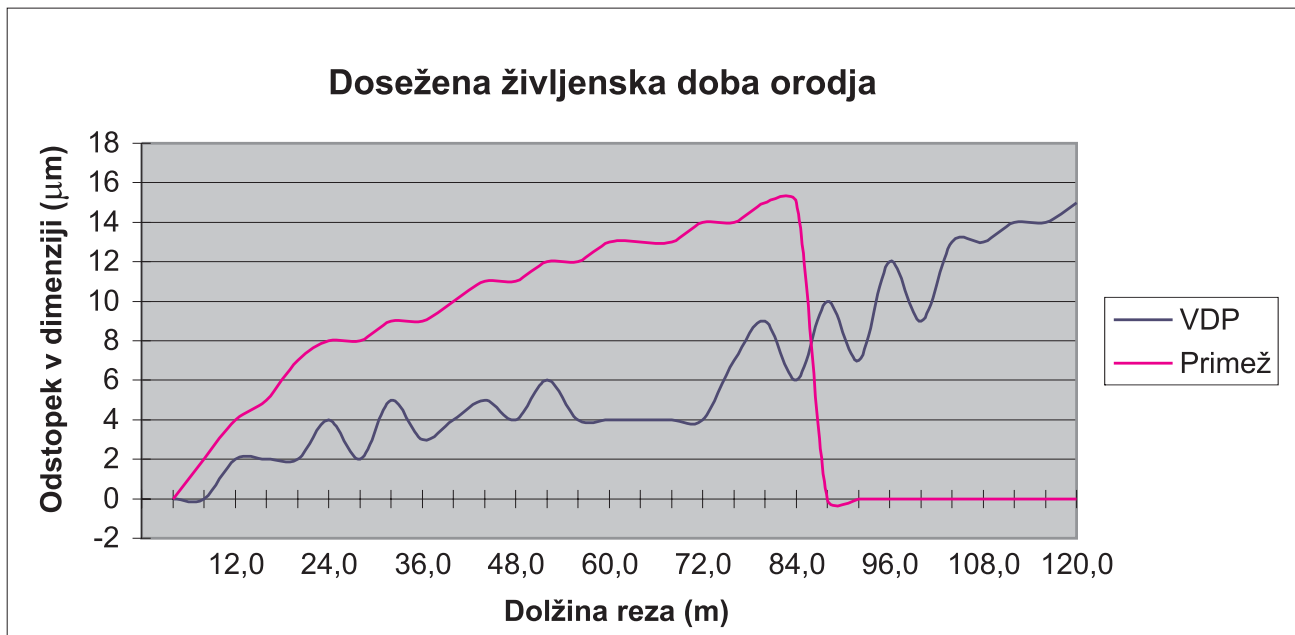


Z VDP sistemom



Slika 10: Primerjava hrapavosti površine in profila obdelane površine pri vpetju v hidravličnem primežu in VDP sistemom.





Slika 12: Odvisnost življenjske dobe orodja od dolžine rezanja pri vpetju obdelovanca s hidravličnim primežem (vice) ali paletnim sistemom z dušenjem (VDP).

lovanec, ki je prikazano na **sliki 11** je potrebno dodatnih 40 ur za poliranje. Za rezkanje so uporabili kroglični rezkar premera 0,5 mm. Dovoljeno dimenzijsko odstopanje je 0,010 mm. Z uporabo VDP Magnum so se parametri rezanja izboljšali za 50%. Kvaliteta obdelane površina se je izboljšala tako, da so čas poliranja zmanjšali iz 40 na 8 ur.

Na **sliki 12** je prikazana odvisnost življenjske dobe orodja v odvisnosti od dolžine reza in sistema vpetja. Zahtevana toleranca je 0,010 mm. Pri vpetju obdelovanca v hidravlični primež, kjer ni dodatnega dušenja (vice) je bila največja dolžina rezanja 41 m, pri vpetju v sistem Macro z dušenjem (VDP) pa 96 m.

Na **sliki 13** sta elektrodi iz bakra premera 120 mm. Obdelava je potekala z rezkarjem premera 16 mm, ki se je vrtel s 400 vrt/min pri podajalni hitrosti 60 m/min in globini reza 0,1 mm. Elektroda na levi strani je bila vpeta na Macro standardno vpenjalo 3R-600.24-S brez dušenja s paletto 54x54 mm. Pri obdelavi je prišlo zaradi močnih vibracij do loma. Pri tem vpetju bi morala obdelava potekati z veliko blažjimi pogoji dela. Elektroda na desni strani je bila vpeta na Macro VDP vpenjalo z dušenjem 3R-90716.05 in je bila obdelana brez problemov.



3R-600.24S

3R-90716.05

Slika 13: Elektrodi obdelani z vpetjem na Macro standard 3R-600.24-S brez dušenja (levo) in Macro VDP 3R-90716.05 z dušenjem.

5.ZAKLJUČEK

System 3R je razvil paletne sisteme z dušenjem. Ta razvoj je revolucionaren v mnogih pogledih.

VPENJALNI – PALETNI SISTEMI S PASIVNIM DUŠENJEM

Åke Hjalmarsson¹, Mihai Nikolescu², Marjan Dobovšek³

¹ System 3R, Vällingby, Švedska, ² The Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Švedska

³ Vpenjalni sistemi d.o.o., Ljubljana, Slovenija

Predvsem pa je pomembno, da ima ta sistema ima prednosti, ki jih daje uporabnikom. Te prednosti so:

- zmanjšanje rezalnih sil 25-30% in s tem zmanjšanje porabe energije
- radikalno izboljšanje kvalitete obdelane površine
- skrajševanje obdelovalnih časov
- podaljševanje življenjske dobe orodij za več kot 30%
- podaljševanje življenjske dobe vreten
- zmanjševanja hrupa v proizvodnji

Z uporabo paletnih sistemov z dušenjem (VDP) na obdelovalnih centrih lahko prihranimo več kot 30.000 EUR letno (pri podjetju Lindigö Produktion je bilo letno prihranjeno 60.000 EUR).