

# Hidrostaticčna vodila na obdelovalnih strojih – 1. del

Tonček PLEČKO

Ena od dejavnosti podjetja SMM proizvodni sistemi, d. o. o., je obnova večjih obdelovalnih strojev. Ti so namenjeni obdelavi težjih obdelovancev, zato imajo hidrostaticčna vodila. Ta so največkrat na portalnih rezkalnih strojih, stebrih vrtno-rezkalnih strojih, portalnih brusilnih strojih, ... .

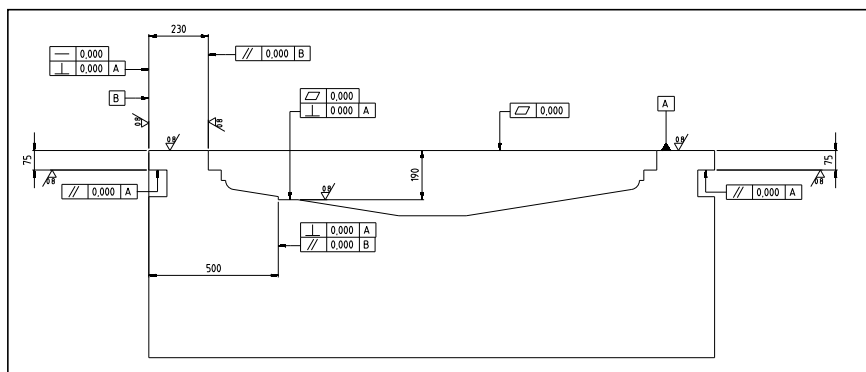
Pri obnovi hidrostaticčnih vodil se srečujemo z različnimi problemi. Sistem hidrostaticčnih vodil na obdelovalnem stroju je namreč lahko izveden na več načinov. Zato bodo v tem prispevku predstavljene predvsem tiste izvedbe vodil, s katerimi smo se srečali pri dosedanjem delu.

## ■ 1 Uvod

Ena od dejavnosti našega podjetja je obnova večjih strojev, ki so namenjeni obdelavi težkih obdelovancev (več kot 10 t) in imajo zaradi tega hidrostaticčna vodila. To so največkrat portalni rezkalni stroji, stebri vrtno-rezkalni stroji, portalni brusilni stroji.

Prvo generalno popravilo na takšnih strojih se običajno izvede med dvajsetim in tridesetim letom obratovanja. Med tem časom se je zaradi vzdrževalnih del na stroju marsikaj predelalo in dodelalo. Pa tudi obrabljenost delov je že zelo velika. Mnogokrat je zelo pomanjkljiva tudi dokumentacija ali pa ta sploh ne obstaja več. Najslabša možna kombinacija je, da je bil stroj ali del stroja predelan, da je stroj v zelo slabem stanju in da ne obstaja nobena dokumentacija.

Tonček Plečko, univ. dipl. inž.,  
SMM proizvodni sistemi, d. o. o.,  
Maribor



Slika 1. Primer prečnega prereza postelje stroja z geometrijskimi tolerancami

Takšnih problemov se lotevamo na različne načine. Če je stroj v prvotnem stanju in obstaja dokumentacija, potem ga obnovimo po dokumentaciji oziroma dele, ki jih ni več na tržišču, zamenjamo z drugimi, ki opravljajo enako funkcijo, ali pa posodobimo celoten sistem.

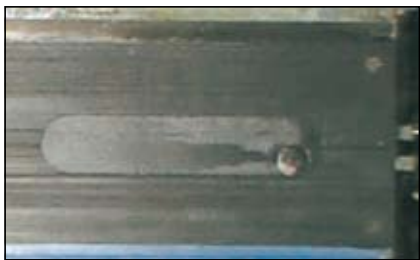
V najslabšem primeru, ko ni ažurne dokumentacije in je bil stroj predelan, naredimo projekt hidrostatike na novo. Takšno projektiranje pa predstavlja prav poseben izziv. Osnova za to je vsekakor poznavanje zgradbe in principa delovanja takšnega sistema.

## ■ 2 Zgradba in princip delovanja hidrostaticčnega vodila

Hidrostaticčno vodilo tvori mirujoči del ali vodilo in protidel (suport, stber, postelja, ....), ki drsi po vodilu.

Vodilo mora biti fino rezkano ali brušeno (Ra 0,4). Geometrijske toleranice vodila so podane na *sliki 1*. Dopusni odstopki so odvisni predvsem od natančnosti, ki jo pričakujemo od stroja in so bistvenega pomena za pravilno delovanje hidrostaticčnega sistema.

Del stroja, ki ga vodimo po vodilu, ima na drsnih površinah utore, ki jih



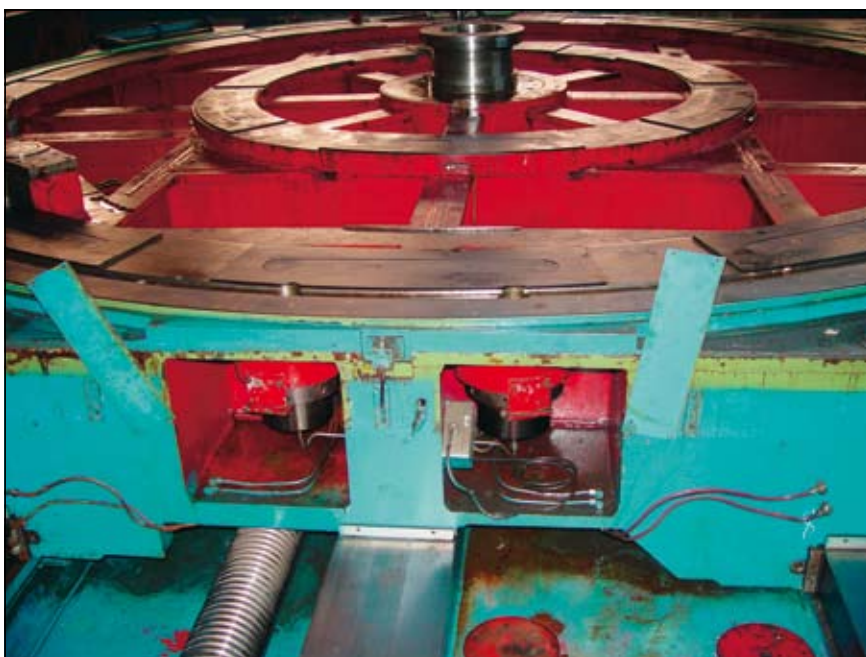
**Slika 2.** Hidrostatični žep

imenujemo žepi in so običajno ovalne oblike. Takšen žep prikazuje *slika 2*.

Če je stroj zgrajen iz jekla, potem ima del stroja, ki drsi po vodilu, obloge iz umetne mase in so žepi rezkani v umetno maso. Obloge so na jekleno osnovo prilepljene, včasih tudi dodatno privijačene. V tem primeru moramo dovajati olje v žep skozi posebno šobo, ki ima obliko vijaka z vgrezno glavo, skozi katerega je zvrtna luknja. To je potrebno zato, da ne bi olje pri vtočni odprtini v žep prišlo s časom pronicati med oblogo in osnovni material, zaradi česar bi se obloga odlepila.

Če je stroj zgrajen iz sive litine, potem obloge niso potrebne in so žepi rezkani neposredno v osnovni material premikajočega se dela.

Hidrostatična vodila lahko služijo za vodenje linearnega ali krožnega gibanja. *Slika 3* prikazuje rotacijsko mizo z nosilnostjo 250 t in premerom plan-

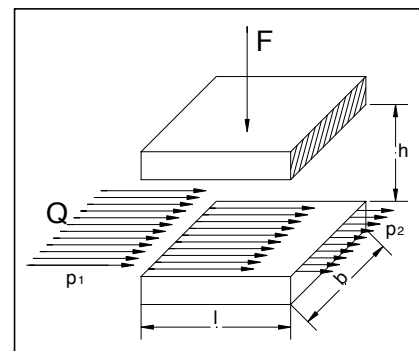


**Slika 3.** Rotacijska miza s hidrostatičnim aksialnim uležanjem

ske plošče 5 m. Radialno uležanje je izvedeno s kotalnim ležajem, aksialno pa z dvema koncentričnima drsnima – hidrostatičnima vodiloma.

Pri hidrostatičnem vodenju premikajoči se del lebdi na oljnem filmu, ki se ustvari med vodilom in premičnim delom stroja. Tako med vodilnima površinama ni neposrednega kontakta. To lebdenje je zagotovljeno tudi takrat, ko med obema deloma ni relativnega gibanja. Oljni film se ustvari tako, da v posamezne žepe dovajamo natančno določeno količino olja pod določenim tlakom. Olje, dovedeno v žep, ustvari silo, ki je odvisna od efektivne površine žepa in tlaka olja v žepu.

Ta sila dvigne premikajoči se del stroja in s tem omogoči njegovo lebdenje. Tako tudi pri zagonu, ko so hitrosti enega dela stroja glede na drugega enake nič, nimamo neposrednega stika delov in s tem obrabe delov. Med obema vodilnima površinama se pojavi reža, skozi katero odteka olje iz žepa. Ta reža povzroča hidravlični upor. S tem je odtekanje olja iz žepa dušeno, zato se v žepu ustvari tlak. Razliko med atmosferskim tlakom in tlakom v žepu imenujemo tlak žepa  $p_T$ . Geometrija žepa, potrebni tlak in pretok se določita s preračunom. Višina reže običajno znaša med 20 do 80  $\mu\text{m}$ . Pri vodilih, obremenjenih



**Slika 4.** Pretok v vzporedni reži

z lastno težo dela stroja, ki se premika po vodilih (miza stroja), in še z dodatnim bremenom (obdelovancem), je reža pri neobremenjeni postelji (začetna reža) večja kot pri obremenjeni. Začetna reža mora biti čim manjša. Njena velikost je odvisna od natančnosti obdelave vodil in njihove elastičnosti. Velikost reže v obremenjenem stanju mora biti med 0,3 do največ 0,5  $h_0$ .

Pri linearnem toku v vzporedni reži (*slika 4*) lahko določimo pretok s pomočjo Hagen-Poiseuilleovega zakona:

$$Q = \frac{\Delta p b h^3}{12 \eta l} \quad (1)$$

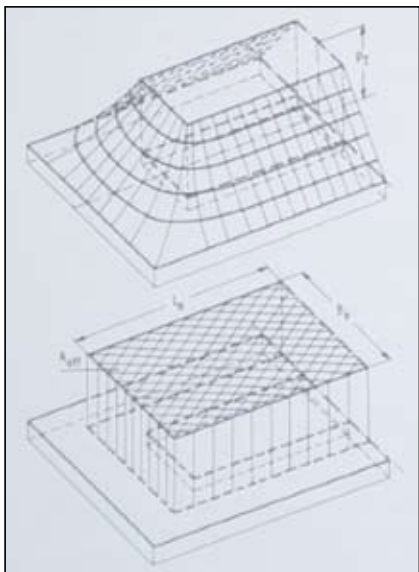
$p_T$  ..... tlak v žepu  
 $b$  ..... efektivna širina žepa  
 $h$  ..... višina reže  
 $l$  ..... efektivna dolžina žepa  
 $\eta$  ..... dinamična viskoznost

Če uporabimo analogijo z Ohmovim zakonom, tako da enačimo tlačno razliko  $p$  z električno napetostjo  $U$  in pretok medija  $Q$  z električnim tokom  $I$ , potem lahko izračunamo hidravlični upor v vzporedni reži:

$$R_r = \frac{\Delta p}{Q} = \frac{12 \cdot \eta \cdot l}{b \cdot h^3} \quad (2)$$

*Slika 5* prikazuje porazdelitev tlaka v hidrostatičnem žepu.

Za praktičen preračun lahko predpostavimo, da je padec tlaka na pragu hidrostatičnega žepa linearen. Tlak žepa deluje na površino, ki sega do polovice praga hidrostatičnega žepa. Površino, na katero deluje tlak žepa, imenujemo efektivna površina  $A_{\text{eff}}$  pri čemer je  $l_e$  efektivna dolžina žepa,



**Slika 5.** Porazdelitev tlaka v hidrostatičnem žepu

$B_e$  pa efektivna širina žepa. Videz simetričnega hidrostatičnega žepa kvadratne oblike prikazuje *slika 6*.

Kadar pa sta dolžina in širina žepa različni, moramo pri izračunu hidravličnega upora pretok razdeliti na pretok  $Q_1$  preko širine  $2B_e$  in na pretok  $Q_2$  preko  $2L_e$ . Žep z različno dolžino in širino prikazuje *slika 7*.

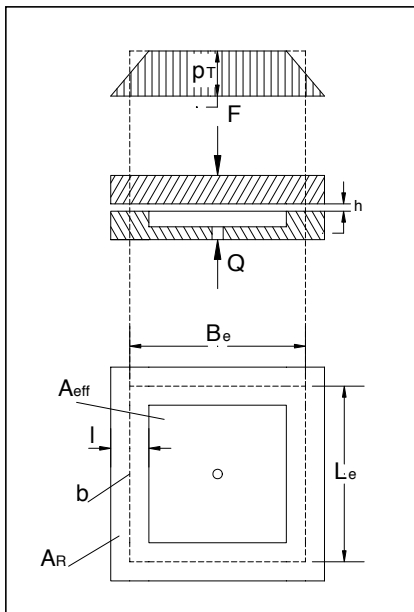
V tem primeru velja analogija z nadomestno shemo dveh paralelno vezanih uporov  $R_1$  in  $R_2$ :

$$R_1 = \frac{12\eta}{h^3} \frac{l_1}{2B_e} \quad R_2 = \frac{12\eta}{h^3} \frac{l_2}{2L_e} \quad (3)$$

$$R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad R_T = \frac{12\eta}{h^3} \frac{l_1 l_2}{2(B_e l_2 + L_e l_1)} = \frac{p_T}{Q} \quad (4)$$

Pri praktičnem preračunu pa moramo upoštevati še lastnosti posameznih sistemov za doziranje olja v žepu in obliko vodil.

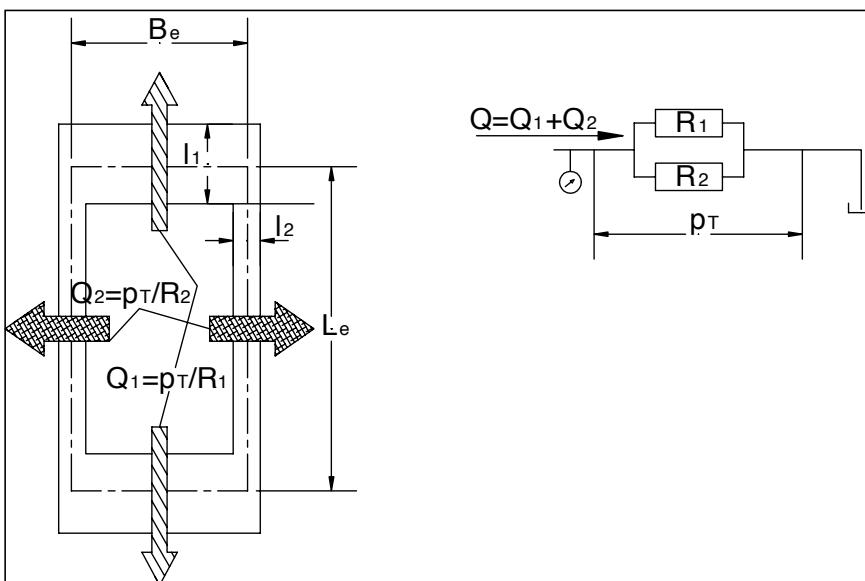
Če se omejimo na popravila oziroma obnovo strojev, potem so ti parametri znani in moramo poskrbeti, da bo novi hidrostatični sistem dovajal v posamezne žepe enake količine olja pod tlakom, ki je bil določen v fazi projektiranja stroja oziroma korigiran pri prvem zagonu. Pri prvem zagonu stroja se tudi izpolni tabela tlakov za posamezne žepe, ki je nujen pripomoček za nadziranje pravilnega delovanja hidrostatičnega sistema vodenja.



**Slika 6.** Shematski prikaz simetričnega hidrostatičnega žepa

Če pri obnovi stroja nimamo nobene dokumentacije o hidrostatičnem sistemu, potem skušamo ugotoviti pretoke in tlake na osnovi karakteristik vgrajenih delov in meritev, vendar je pri tem potrebno upoštevati, da te zaradi izrabljenosti posameznih komponent stroja niso preveč merodajne.

Tlak, s katerim dovajamo olje v žepu, lahko pri zagonu določimo tudi tako, da povečujemo tlak in s pomočjo merilnih ur, ki jih nastavimo na vodila, ugotovimo, pri katerem tlaku se vodilni površini med seboj ločita. Za ohranjanje določene velikosti reže pa moramo v žep dovajati zadostno



**Slika 7.** Shematski prikaz žepa z različno dolžino in širino

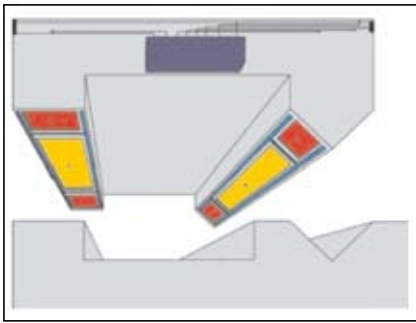
količino olja, da kompenziramo padec tlaka, ki ga povzroča odtekanje olja skozi nastalo režo.

### 3 Prednosti hidrostatičnih vodil

V sodobni strojearadnji so linearna kroglična vodila v precejšnji meri izpodrinila hidrostatična in drsna. Vendar imajo hidrostatična vodila določene prednosti, zaradi katerih se še vedno uporabljajo in so pri določenih aplikacijah nenadomestljiva.

To so predvsem sledeče lastnosti:

- so neuničljiva in neobrabljiva tudi pod maksimalno obremenitvijo, prav tako ne pride do zmanjšanja natančnosti s povečanjem časa uporabe,
- mazanje je desetkrat boljše in na ta način znatno daljša življenjska doba delovne površine,
- ne pojavlja se spreminjanje vibracij in trenja kot pri kotalnih vodilih zaradi kroženja kotalnih elementov,
- ni preskokov v dovodu tlaka ob spreminjanju položaja gibanja,
- pri nizkih hitrostih gibanja ni praktično nobenega trenja,
- ni zdrsanja,
- možna prečna pot je manjša od  $0,1 \mu\text{m}$ ,
- značilnosti drsnega materiala, nošenje in tir vodila niso bistveni, uporabita se lahko tudi lita plastika, aluminij.



**Slika 8.** Kombinacija trikotnega in ploščatega vodila

V nadaljevanju si bomo podrobneje pogledali izvedbo in osnovne lastnosti najpogosteje uporabljanih vodil.

### 3.1 Kombinacija trikotnega in ploščatega vodila

Pogosto srečamo na strojih kombinacijo trikotnega in ploščatega vodila. Takšno vodilo je prikazano na *sliki 8*.

Kombinacija trikotnega in ploščatega vodila ima sledeče lastnosti:

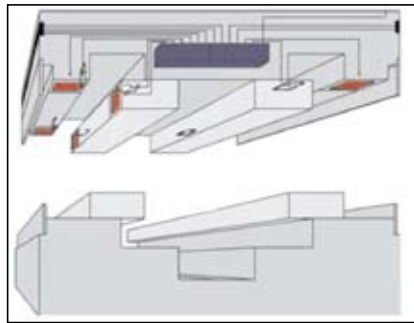
- pri takšni izvedbi ni zvijanja zaradi pritrdjevanja z vijaki, natančnost pa je kljub temu visoka;
- proizvodni stroški so dokaj nizki, saj površine ni potrebno brusiti, pa tudi bočna vodila niso potrebna;
- sila, potrebna za gibanje in pospeševanje v horizontalni smeri, je znatno manjša od sile gravitacije;
- možno je povečanje natančnosti in posledično togosti z uporabo vakuumskih žepov (prikazano rumeno);
- primerno za brusilne stroje za okroglo brušenje, površinske brusilne stroje, merilne in visoko precizne stroje;
- togost vodila se poveča ob obremenitvi na V-tir.

### 3.2 Hidrostatična vodila s protivodili

Druga izvedba, ki se pogosto pojavlja na strojih, je izvedba hidrostatičnih vodil s protivodili – *slika 9*.

Vodila s protivodili, prikazana na *sliki 9*, imajo sledeče lastnosti:

- primerna so za obremenitve, ki se pojavljajo v vseh smereh, tudi za sile dviganja;



**Slika 9.** Hidrostatična vodila s protivodili

- so enostavna za izdelavo, čeprav imajo visoko natančne in ekstremno vzporedne navpične hidrostatične reže;
- proizvodni stroški so dokaj nizki, saj nobenega dela ni potrebno brusiti;
- velikost rež je izdelana s postopnim brušenjem ali strganjem na eni strani obeh trakov – to se izvaja pri nastavljanju geometrije stroja;
- primerna so za vodoravno in navpično nošenje pod veliko silo in momenti pri visoki togosti.

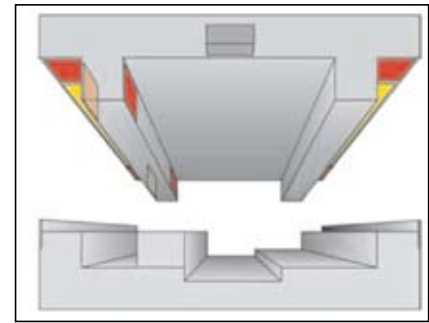
### 3.3 Hidrostatična vodila brez protivodil

Hidrostatična vodila brez protivodil, prikazana na *sliki 10*, imajo sledeče lastnosti:

- najvišja natančnost in odlična togost;
- sila, potrebna za gibanje in pospeševanje v horizontalni smeri, je znatno manjša od sile gravitacije;
- možno je povečanje natančnosti in posledično togosti z uporabo vakuumskih žepov (prikazano rumeno);
- posebej so primerna za brusilne stroje za okroglo brušenje in brusilne stroje za ploskovno brušenje in za velike rezkalne stroje.

## ■ 4 Zaključek

Obnove hidrostatičnega sistema na obdelovalnem stroju se lahko lotimo na več načinov. Kateri bo pravi, je odvisno od starosti stroja, stanja stroja in od obstoječe



**Slika 10.** Hidrostatična vodila brez protivodil

izvedbe in razpoložljive dokumentacije.

Če ne gre za preveč zastarel koncept, je najbolje (gledano s tehnične in finančne plati), da ohranimo enak koncept, pri čemer stare izrabljene elemente zamenjamo z novimi.

Če gre za zastarel koncept (npr. kapilarni sistem doziranja olja v žepe), potem se odločimo za posodobitev. Če imamo potrebno znanje, potem naredimo preračun novih elementov sami, sicer pa lahko prosimo za pomoč proizvajalca na novo predvidenega sistema. Ta bo potreboval geometrijske podatke o žepih in pa funkcionalno shemo s podatki o pretokih in tlakih na starem sistemu.

Če se preračuna sistema ne bomo lotili sami, pa se je vseeno zelo koristno seznaniti z osnovnimi principi delovanja hidrostatičnih vodil, njihovega preračuna in pa načina delovanja sistema, ki ga bomo vgradili, in njegovih lastnosti. To nam bo pri zagonu stroja zelo koristilo.

## Literatura

- [1] Weck, M.: Werkzeugmaschinen, Band 2; Konstruktion und Berechnung, 3. Auflage 1985; Düsseldorf; str. 154–188.
- [2] Savić, V., Uljna hidraulika 1 in 2; Zenica 1990.