

## 5. ZAVRŠNI UREĐAJI

U glavi 1. ove knjige govorili smo o klasifikaciji poslova koje današnji roboti obavljaju: prenos materijala, procesne operacije, montaža, kontrola itd. U skladu sa tim, u glavi 2. uveli smo pojam završnog uređaja koji, smešten na "vrhu" robota, obezbeđuje izvršenje postavljenog zadatka. Podsetićemo se da smo lanac robota funkcionalno razdvojili na minimalnu konfiguraciju (ruka) i završni mehanizam (šaka robota). Završni mehanizam se sastoji do složenog zgloba šake (jedan do tri stepena slobode) i završnog uređaja. Dakle, završni uređaj je, sa stanovišta geometrije robota, poslednji segment u lancu. Taj poslednji segment često smo zvali hvataljka zato što su u najčešće upravo radi o uređaju za hvatanje predmeta. Međutim, u ovoj glavi razmatraćemo čitav niz funkcionalno različitih završnih uređaja, u zavisnosti od zadatka koji robot treba da izvrši. Sa stanovišta funkcije, znači, završni uređaj je ono što obezbeđuje interakciju robota sa radnom okolinom. Robot se često projektuje kao sistem opšte namene. Zatim mu se dodaje završni uređaj čime se robot osposobljava za izvršenje određenog zadatka. Ako se menja namena robota, promeniće mu se samo završni uređaj, na primer, umesto uređaja za hvatanje stavke se zavarivačke elektrode. Ovakve mogućnosti potvrđuju fleksibilnost robota kao elementa proizvodnog sistema.

### 5.1. VRSTE ZAVRŠNIH UREĐAJA

Završne uređaje možemo funkcionalno podeliti u tri grupe:

- hvataljke,
- alati i
- merno-kontrolni uređaji.

Hvataljke su uređaji kojima se određeni radni predmet može uhvatiti, držati tokom prenošenja i na kraju ispustiti. Uglavnom se sreću kod zadataka prenošenja radnog materijala, kod opsluživanja mašina (stavljanje radnog predmeta u mašinu i vađenje iz nje) kao i u zadacima montaže. Kada koristimo termin "uhvatiti" nameće se ideja hvatanja pomoću dva ili više prstiju. Međutim, hvatanje podrazumeva bilo koji postupak kojim se obezbeđuje čvrst kontakt sa predmetom radi njegovog prenošenja (na primer, pomoću magneta ili vakuumske sisaljke).

Različite vrste alata sreću se kao završni uređaji kod robota koji obavljaju procesne operacije. Pod alatom tada podrazumevamo one uređaje kojima se izvršavaju neke radne operacije na predmetu proizvodnje: zavarivačka klešta, pištolj za prskanje farbe, točilo za brušenje i sl.

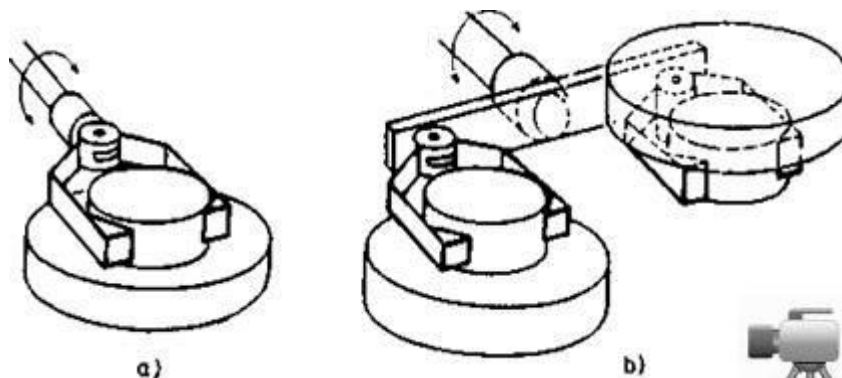
Konačno, u zadacima kontrole proizvoda robot na svom "vrhu" nosi različitu mernu opremu neophodnu za izvršenje zadatka (npr. laserski uređaj za kontrolu kvaliteta površine).

Rekli smo već da se pri prelasku na novi zadatak ili novu proizvodnu operaciju mora promeniti i završni uređaj. Ako jedan robot obavlja niz proizvodnih operacija na radnom predmetu, potrebno je u relativno kratkom roku promeniti veći broj završnih uređaja. Ovo je posebno slučaj kod takozvane fleksibilne proizvodnje kod koje svaki novi radni predmet može biti drugačiji i zahtevati drugačiju obradu. Da bi se omogućila brza promena završnog uređaja, projektuju se različiti sistemi vezivanja završnih uređaja za vrh robota. Moguća je, na primer, veza pomoću magneta ili neka drugačija veza ali se, svakako, zamena i vezivanje uređaja mora obavljati automatski tj. bez učešća čoveka. Na ovaj način dolazimo i do jedne mogućnosti koja ukazuje da prethodnu podelu završnih uređaja ne treba shvatiti suviše kruto. Naime, promena alata može se

izvesti tako da se različiti alati uzimaju hvataljkom robota, a onda se njima izvršavaju proizvodne operacije. Tako se brzo mogu menjati završni uređaji i robot za kratko vreme može izvršiti niz proizvodnih i kontrolnih zadataka.

## 5.2. HVATALJKE ROBOTA

Već smo rekli da je glavna funkcija svake hvataljke da ostvari čvrst (krut) kontakt sa radnim predmetom, da taj kontakt održi tokom određene putanje prenošenja i konačno da oslobodi predmet. Obično govorimo o hvatanju, prenošenju i ispuštanju predmeta.



Sl.5.1. Obična (a) i dupla (b) hvataljka.

Hvataljke mogu biti obične ili duple (sl.5.1). Dupla hvataljka je uređaj koji se sastoji od dve hvataljke montirane na vrhu robota. Ovakve hvataljke sreću se uglavnom kod zadataka u kojima robot stavlja i vadi radne predmete iz neke mašine (na primer prese). Tada robot jednom hvataljkom prinosi predmet, zatim drugom hvataljkom vadi prethodni predmet iz mašine pre nego što unutra stavi novi; konačno prethodni predmet se odlaže na to predviđeno mesto. Tako se brzo može izvršiti zamena radnog predmeta u mašini.

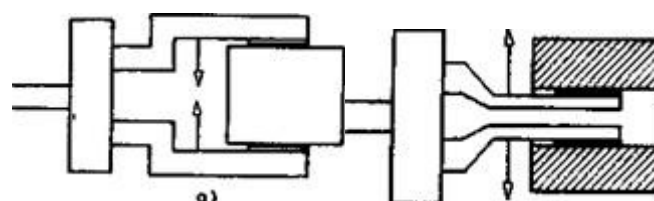
Hvataljke možemo podeliti i prema načinu hvatanja na:

- hvataljke sa mehaničkim prstima,
- hvataljke sa vakuumskim, magnetnim ili athezionim sistemom hvatanja,
- univerzalne hvataljke.

### 5.2.1. Hvataljke sa prstima

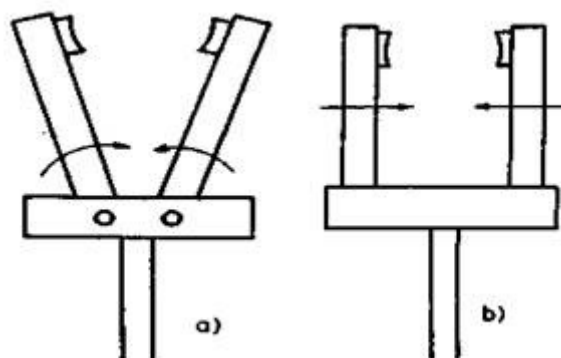
Hvataljke sa prstima su najčešće vrsta uređaja za hvatanje. Prema broju prstiju mogu biti: hvataljke sa dva prsta i hvataljke sa više prstiju. U industrijskim primenama pretežno srećemo hvataljke sa dva prsta. O njima ćemo ovde govoriti više, a hvataljke sa više prstiju opisaćemo u odeljku o univerzalnim hvataljkama.

Druga podela koja polazi od načina hvatanja deli hvatanje na spoljašnje i unutrašnje (sl.5.2).



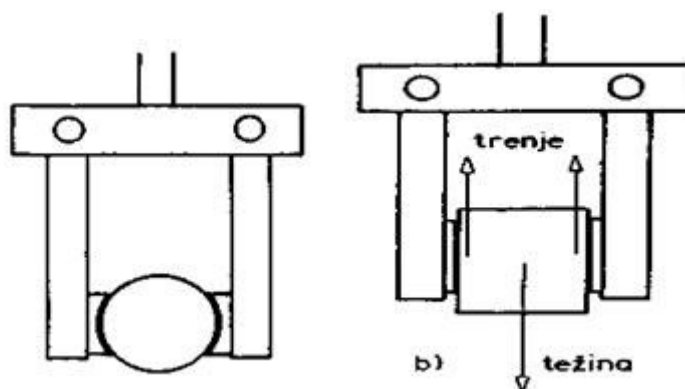
### Sl.5.2. Spoljašnje (a) i unutrašnje (b) hvatanje

Prema načinu kretanja prstiju hvataljke možemo podeliti na hvataljke sa obrtnim kretanjem prstiju i hvataljke sa translatornim kretanjem prstiju (sl.5.3).



### Sl.5.3. Obrtno (a) i translatorno (b) kretanje prstiju

Razlike među hvataljkama postoje i po načinu održavanja krutog kontakta hvataljke sa predmetom. Jedan način sastoji se u tome da se postave takva geo-metrijska ograničenja koja će onemogućiti relativno kretanje predmeta u odnosu na hvataljku (sl.5.4a). U drugom pristupu, geometrija hvatanja je takva da dopušta pomeranje predmeta u odnosu na hvataljku (dakle i ispadanje) ali do pomeranja ne dolazi zbog delovanja sile trenja (sl.5.4b).



### Sl.5.4. Dva načina zadržavanja predmeta

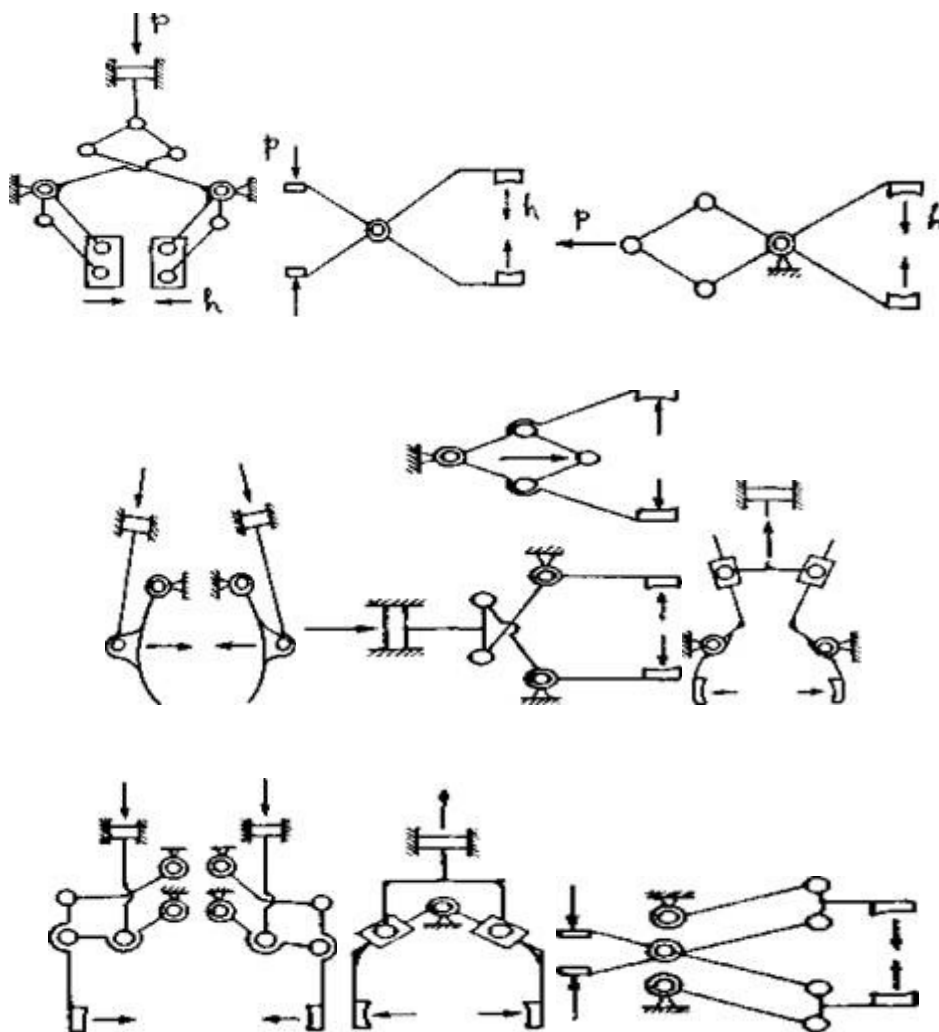
Razvrstajmo sada hvataljke prema njihovoj kinematičkoj shemi tj. načinu transformisanja kretanja pogonskog motora u kretanje prstiju (hvatanje). Istovremeno, to je i podela prema načinu ostvarivanja sile hvatanja. Pogonski sistem obezbeđuje pogonsku silu ili momenat  $P_p$ , a posredstvom određenog mehanizma ostvaruje se sila hvatanja  $F_h$ . Uočavamo sledeće tipove hvataljki:

- hvataljke sa zglobnim mehanizmom,
- hvataljke sa zupčastom letvom,
- hvataljke sa klinom,
- hvataljke sa zavrtnjem,

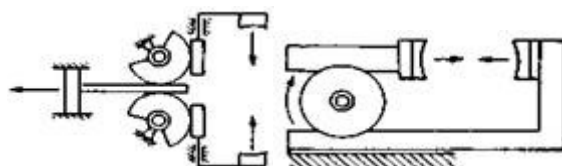
- hvataljke sa užetom i koturom,
- ostali tipovi hvataljki.

Opišimo nešto detaljnije sve nabrojane tipove.

Hvataljke sa zglobnim mehanizmom najbolje ćemo ilustrirati nizom primera prikazanim na slici 5.5. Zglobni mehanizam se može pokretati, na primer, hidrauličnim cilindrom. Pogonsko kretanje ( $p$ ) i kretanje hvatanja ( $h$ ) označeni su na slici, a iste oznake važe i za sheme narednih tipova hvataljki. Dejstvo pogona može biti dvosmerno i tada je moguće ostvariti silu i pri otvaranju i pri zatvaranju hvataljke. Dejstvo može biti i jednosmerno, kada silu ostvarujemo samo pri zatvaranju hvataljke, a za otvaranje se koristi neki elastični element (na primer, opruga).



SI.5.5. Zglobni mehanizmi za hvatanje



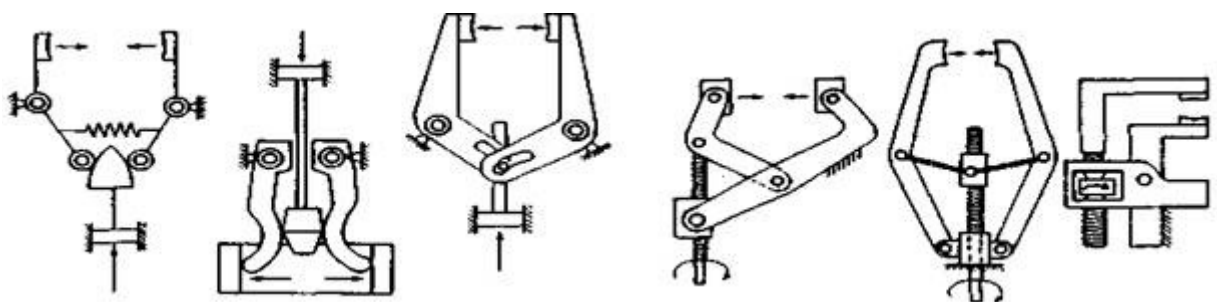
### SI.5.6. Hvataljke sa zupčastom letvom

Hvataljkesa zupčastom letvom karakteristične su po kinematičkom paru zupčanik-zupčasta letva kojim se obrtno kretanje prevodi u translaciju i obrnuto (sl.5.6).

Princip rada hvataljke sa klinom prikazan je shematski na slici 5.7. Klin se pokreće pogonskim motorom, a mehanizam prati kretanje klina i tako ostvaruje hvatanje.

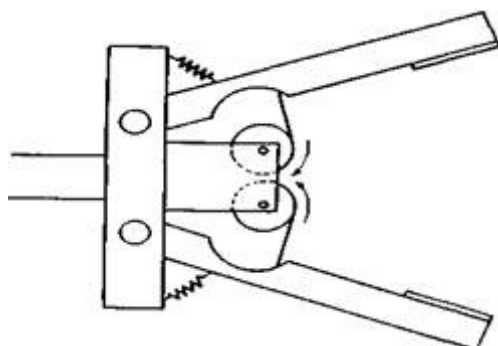
Naglasimo još da ne mora biti u pitanju klin već bilo koji istureni zub čije kretanje će preko pratećeg mehanizma dovesti do hvatanja (sl.5.7c)

Nekoliko varijanti hvataljke sa zavrtnjem prikazano je na slici 5.8.



SI.5.7. Hvataljke sa klinom

SI.5.8. Hvataljke sa zavrtnjem



SI.5.9. Hvataljka sa užetom i koturom

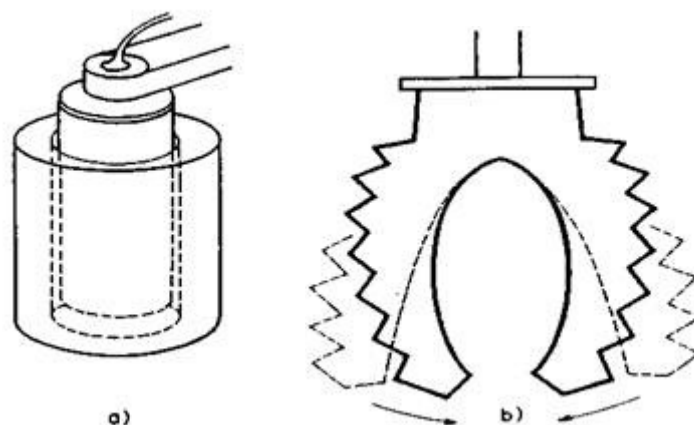
Rad hvataljke sa užetom i koturom zasniva se na obrtanju kotura, čime se namotava uže i tako povlače prsti hvataljke (sl.5.9). Ova hvataljka mora imati neki elastični momenat (npr. opruga) koji će omogućiti kretanje prstiju na suprotnu stranu.

Postoji još niz hvataljki različitog načina rada koje se projektuju za specijalne namene. Jedan od čestih principa koji se primenjuje je širenje gumenog rezervoara kada se u njemu povećava pritisak (naduvavanje). Na slici 5.10. prikazane su dve mogućnosti za korišćenje ovog principa. U slučaju (a) naduva se valjkasti rezervoar koji, kada se raširi u unutrašnjosti predmeta, ostvaruje sa predmetom čvrst kontakt. U slučaju (b) naduvavaju se prsti koji se takvog oblika da se pri širenju istovremeno i deformišu tako da se ostvari hvatanje.

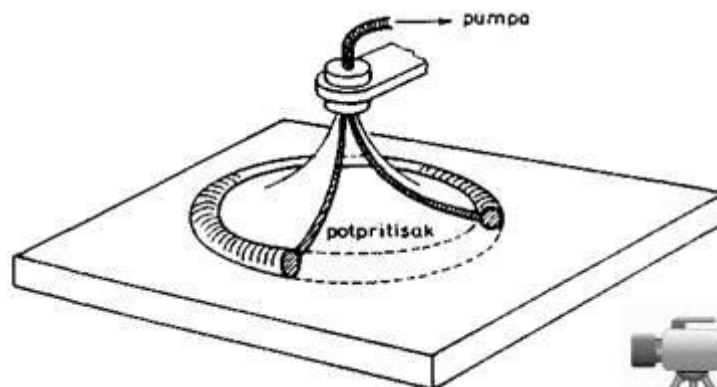
### 5.2.2. Vakuumske, magnetne i athezione hvataljke

Ova tri tipa hvataljki razmatramo zajedno jer imaju određenih sličnosti. U pitanju su uređaji koji se na neki način "zalepe" za predmet.

Vakuumske sisaljke (sl.5.11) ostvaruju čvrst kontakt sa predmetom na taj način što pumpa izvlači vazduh stvarajući tako potpritisak. Radi ostvarivanja zadovoljavajućeg zaptivanja, ili sisaljka ili radni predmet moraju biti od mekanog materijala. Najčešće su u pitanju mekane ivice sisaljke. Hvataljka se sastoji od jedne ili više sisaljki. Uslov za korišćenje vakuumskih hvataljki je da površina predmeta koji se hvata bude ravna i čista. Zato se ove hvataljke najčešće upotrebljavaju za rad sa pločastim predmetima, na primer, od metala ili stakla.



Sl.5.10. Hvatanje na principu širenja pod pritiskom



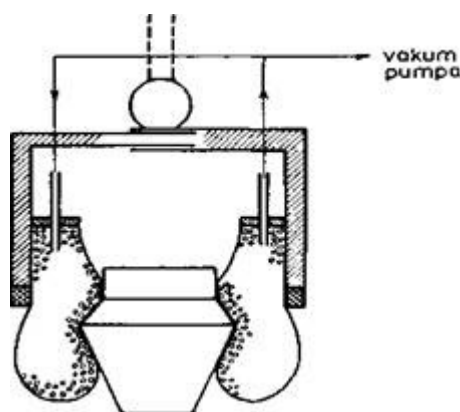
Sl.5.11. Vakuumska sisaljka

Magnetne hvataljke ostvaruju vezu sa gvozdanim i čeličnim predmetima pomoću privlačne sile stalnog ili elektromagneta. Pogodnost ovih hvataljki je što ne zahtevaju ravnu i čistu površinu. Međutim, zbog mogućeg zaostalog magnetizma u predmetu, ove hvataljke se mogu uvek koristiti. Napomenimo još neke specifičnosti. Ukoliko hvataljka koristi stalni magnet, tada je neophodno predvideti poseban sistem za oslobodjenje predmeta. Često se u tu svrhu koristi mali pneumatski cilindar sa klipom. Kada predmet treba ispustiti, klip gurne predmet dovoljnom silom i on se otkaci od magneta. Konačno, javlja se i dopunski problem pri radu sa gvozdanim ili čeličnim pločama. Kako magnetno polje prolazi u dubinu čelika, to će privući ne samo jednu već više ploča naslaganih jedna na drugu.

Athezione hvataljke se "zalepe" za predmet posredstvom površine na koju je nanescena neka materija koja sa materijalom predmeta ostvaruje dovoljnu athezionu silu.

### 5.2.3. Univerzalne i prilagodljive hvataljke

Pod pojam univerzalnih i prilagodljivih hvataljki podrazumevaju se hvataljke koje mogu da hvataju predmete različitog oblika i veličine. U pitanju su razna konstruktivna rešenja koja omogućavaju hvataljki da prilagođava svoj oblik predmetu. Osim toga univerzalnim hvataljkama smatraju se i hvataljke sa više prstiju koje, po ugledu na šaku čoveka, mogu hvatati predmete različite po obliku i veličini.

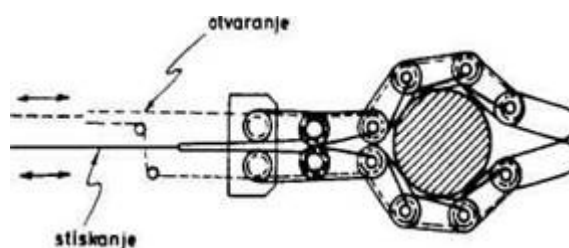


SI.5.12. Hvataljka sa prilagodljivim oblikom prstiju

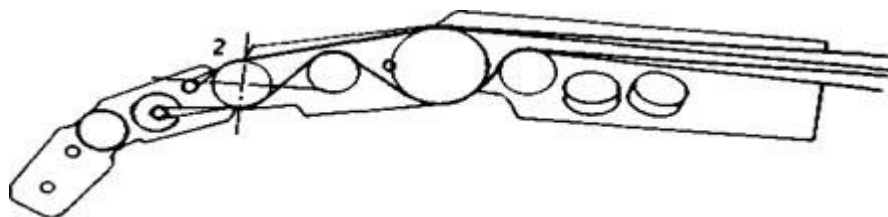
Navešćemo dva primera prilagodljivih hvataljki. Na slici 5.12. prikazana je hvataljka čija su dva prsta napravljena u vidu mekih plastičnih vrećica ispunjenih sitnim kuglicama od tvrdog materijala. U svom osnovnom stanju ovakvi prsti su veoma rastresiti. Otuda, kada hvataljka počinje da hvata neki predmet, prsti se postepeno oblikuju prema površini predmeta koji hvataju. Dakle, prsti prilagodavaju svoj oblik. Kada je hvatanje završeno tada vakuumska pumpa izvlači vazduh iz prstiju. Vrećica steže kuglice koje sada vrše jak pritisak jedna na drugu. Takvi prsti više nisu rastresiti nego veoma kruti, ali oblikovani prema predmetu.

Drugi način da se postigne prilagodljiv oblik prstiju je korišćenje člankovitih univerzalnih prstiju (sl.5.13). Potezanjem užeta prsti se skupljaju i pri tome obuhvataju predmet prilagodavajući mu se.

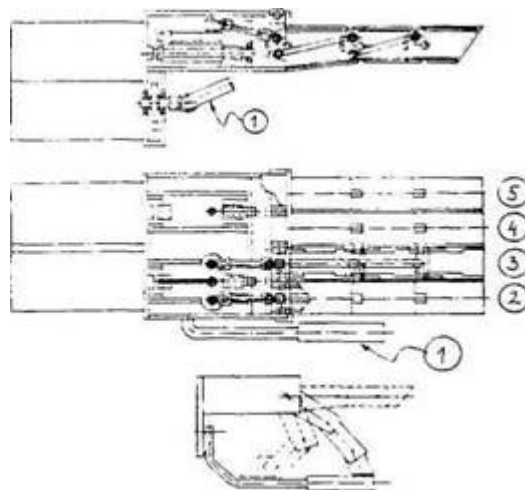
Hvataljke sa više prstiju najčešće imitiraju čovekovu šaku, pa imaju, u principu, pet prstiju. Nekada imaju tri prsta jer čovek niz radnji obavlja upravo sa tri prsta. Pokretanje prstiju predstavlja poseban problem. Slika 5.14. prikazuje jednu mogućnost za pokretanje jednog od zglobova prsta. Pokretanje se ostvaruje povlačenjem trake (užeta). Očigledno, na ovaj način svaki zglob zahteva poseban pogon i postavlja se veoma složen problem ostvarivanja koordinisanog i funkcionalnog kretanja prstiju.



SI.5.13. Člankoviti univerzalni prsti



SI.5.14. Pokretanje zgloba na prstu



SI.5.15. Hvataljke sa tri motora

Bez obzira na to dali imaju tri ili pet prstiju ove hvataljke su visoko redundantne. Da bi se razrešio problem redundantnosti često se pribegava uvođenju međuzavisnosti (zadatim sinergijama) koje imitiraju način hvatanja kod čoveka. Na slici 5.15. prikazana je hvataljka kod koje je konstruktivnim ugrađivanjem pogodne sinergije broj stepeni slobode smanjen na tri. Otuda se i pokreće sa tri motora. Motor 1 vrši obrtanje palca (prst 1 na slici). Motor 2 vrši savijanje prstiju 2 i 3, motor 3 savijanje prstiju 4 i 5. Par prstiju (npr. 2 i 3) savija se uporedo sve dok neki od njih ne dodirne predmet. Tada, zahvaljujući sistemu opruga, taj prst ostaje da pritiska predmet, a drugi nastavlja savijanje dok i on ne dodirne predmet.

Na kraju izlaganja o hvataljkama reći ćemo da je osnova proračuna dinamičkog opterećenja hvataljke i sile hvatanja prikazana u prilogu P5.

### 5.3. ZAVRŠNI UREĐAJI ZA PROCESNE OPERACIJE I KONTROLU

Već smo rekli na početku ove glave da se roboti često koriste u proizvodnim operacijama koje podrazumevaju da se izvrši obrada radnog predmeta odgovarajućim alatom ili pak kontrola izvršene obrade. Dakle, robot ne opslužuje mašinu koja vrši određenu obradu, već neposredno izvršava traženu operaciju. Stoga se robot oprema odgovarajućim završnim uređajem. Najčešće primere smo već spominjali: zavarivačka klešta u zadatku tačkastog zavarivanja i pištolj za prskanje boje u zadacima bojenja. Ako uzmemo u obzir veliku raznolikost primene robota jasno je da je bilo neophodno razviti čitav niz specifičnih uređaja koji odgovaraju pojedinim primenama. Otuda je veoma teško govoriti o ovim uređajima na jednom mestu. Pogodnije ih je opisati prilikom razmatranja primene robota, a to je u glavi 10.