

VAKUUMSKE PREVODNICE

A. Pregelj, M. Drab, M. Mozetič, A. Paulin*

Inštitut za elektroniko in vakuumsko tehniko, Teslova 30, 61000 Ljubljana,

*Tehniška fakulteta, Univerza v Mariboru, Smetanova 17, 62000 Maribor

Vacuum Feedthroughs

ABSTRACT

Technology processes in vacuum demands for their realization the support of different kinds of energy from outside in the hermetically closed working vessel. Components enabling the vacuum sealed transfer of electrical leads, tubes for fluids, motion links, poles and axes are named vacuum feedthroughs. In this category of elements belong also the windows making possible to pass electromagnetic waves. In all cases it is significant the grade of vacuum for which they are used, while the price is rising with technological (manufacturing) requirements. Considering different purposes of application (medium, high and ultra high vacuum) feedthroughs are made of specially selected materials. They are designed to be built in by demountable connections or by welding, brazing and sticking. The contribution gives a survey on principal types of feedthroughs and the properties of particular realizations.

POVZETEK

Procesi v vakuumu zahtevajo za svoj potek dovajanje snovi in energije v tej ali oni obliki iz okolice v hermetično zaprto delovno komoro. Sestavne dele, ki omogočajo vakuumsko tesen prehod električnih vodnikov, cevk za fluide ter gibalnih vzvodov, drogov in osi, imenujemo vakuumске prevodnice. V to kategorijo vakuumskih sestavnih delov spadajo tudi okna, ki prepuščajo različna elektromagnetna valovanja. V vseh primerih je pomembno vedeti, za kateri nivo vakuuma jih potrebujemo, kajti z zahtevo po tesnosti raste preciznost oz. težavnost izdelave in s tem cena. Prispevek pregledno prikazuje glavne principe, načine oz. tehnologije tesnjenja ter lastnosti posameznih izvedb.

1 UVOD

Vakuumске prevodnice omogočajo hermetično tesen prehod elementov za prenos električnega toka, plinov in tekočin, mehanskih gibanj in svetlobe iz okolice v vakuumsko posodo. Iz osnovnega namena njihove uporabe sledi, da morajo biti sestavljene najmanj iz dveh delov, in to iz prirobnice za spoj na komoro ter iz prevodnega elementa; pri električnih nujno nastopa še izolator. Očitno je za zagotavljanje hermetičnosti potrebno doseči čim tesnejši spoj med nastopajočimi materiali. Glede na področje uporabe (srednji, visoki in ultra visoki vakuum) so ti materiali ustrezno izbrani in je tesnjenje med njimi in recipientom doseženo z bolj ali manj zahtevno konstrukcijo oz. tehnološko izvedbo. Prirejene so za vgradnjo z razstavljivimi spoji s tesnilkami (navoji, ISO-CF, ISO-KF, ISO-K ipd.) ali za spajanje z varjenjem, spajkanjem in lepljenjem. Obstaja veliko različnih prevodnic, ki jih lahko razdelimo glede na vrsto vakuuma, na število prevodov, na način tesnjenja, na medij, ki ga prenašajo, na prebojno trdnost itd; najobičajnejša delitev je po vrsti prenesene energije in po njej razlikujemo:

- električne prevodnice
- prevodnice za fluide

- prevodnice za prenos različnih gibanj
- okna za prenos svetlobe

Pri vseh je poleg osnovne funkcije najpomembnejša tesnost, kajti spoji različnih snovi, ki so pri teh elementih nujni, vnašajo potencialno nevarnost puščanja vakuumskega sistema.

2 ELEKTRIČNE PREVODNICE

Pri prenosu električne energije je enkrat pomembnejša napetostna, drugič tokovna funkcija. Z ozirom na to razlikujemo:

- napetostne prevodnice ter
- tokovne prevodnice (visokoamperske) in
- prevodnice za merilne tokove

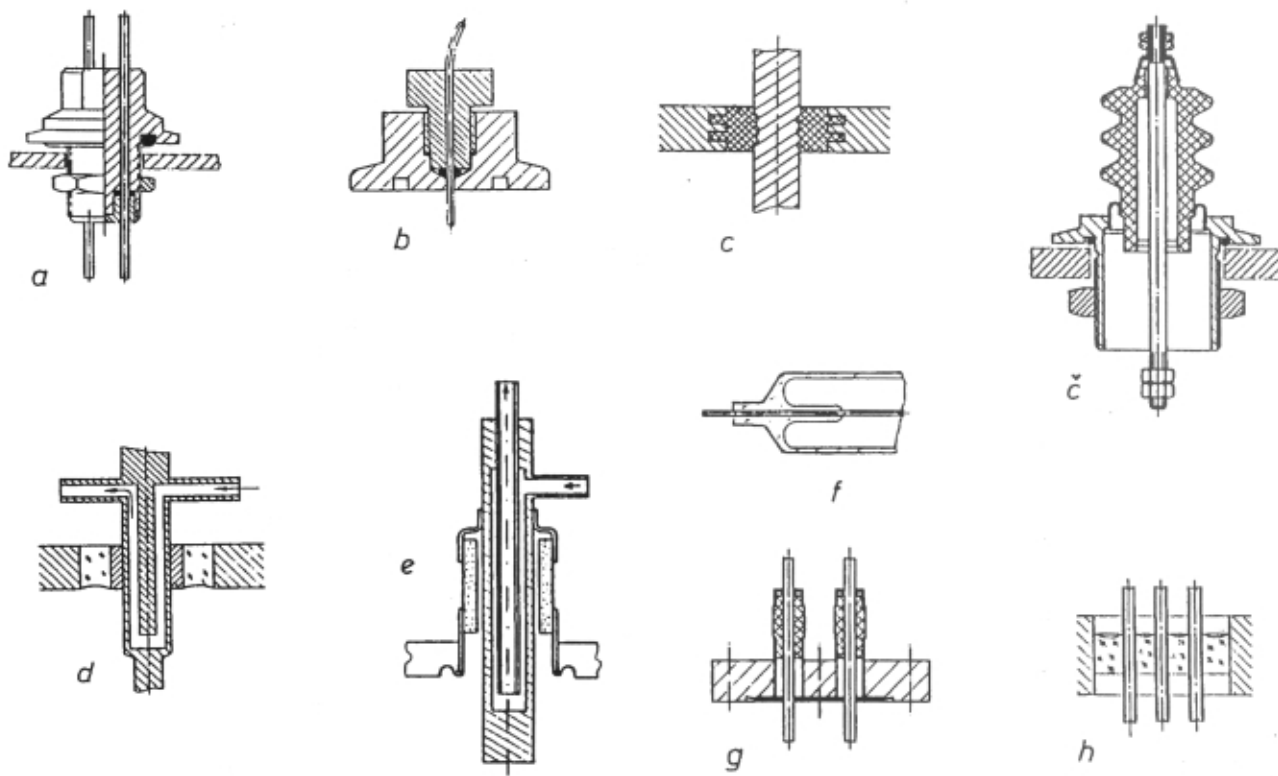
Pri vseh je lahko tesnilni in izolacijski material enak. Izbira stekla, keramike, elastomerov ali kake druge plastične snovi je odvisna od zahtev po tesnosti, izolacijski upornosti, pregrevnosti in tudi od izdelavne cene, možnosti demontaže itd.

Napetostne prevodnice uporabljamo največkrat za sorazmerno majhne tokove pri visokih napetostih (5 in tudi do 20 kV). Zato so vodniki navadno majhnih presekov, zaradi zahtev po visoki prebojni trdnosti pa imajo velike izolatorje, oblikovane kot cevke ali cevi s čim daljšo potjo za zračni ali plazeči preboj (npr. sl. 1č). Zgledi: vnos visokonapetostnega potenciala v elektronski mikroskop, TV elektronke, ionsko getrske črpalke, Penningove merilne sonde itd.

Tokovne prevodnice praviloma rabijo za transport velikih tokov (npr. 5-100 A) pri nizkih napetostih (od nekaj V pa tudi do 220 oz. 380 V). Karakterističen zanje je velik presek vodnika. Za povečanje dovoljene tokovne obremenitve so mnoge tovrstne prevodnice izvedene tako, da jih je možno hladiti z vodo (sl. 1d in 1e). Nekaj zgledov: dovodi toka za gretje ladjic v naparevalnih napravah, za gretje žarilne nitke v močnih svetilih, za grelnike v vakuumskih pečeh in sušilnikih itd.

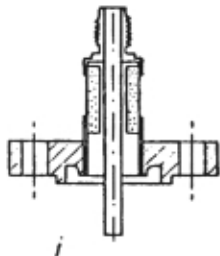
Električne merilne prevodnice rabijo za prenos signalov raznih senzorjev, torej nizkih tokov in napetosti. Pogosto je pri tem pomembno to, da so zaščitene pred vplivi elektromagnetnih motenj od sosednjih signalov ali od naprav iz okolice (npr. koaksialno zaščiteni skozniki za priklop koaksialnih kablov).

Posebnost pri merilnih prevodnicah so tudi izvedbe z večžilnimi skozniki v standardiziranih oblikah razporeditve. Zanimiva je izvedba s cevkami, skozi katere napeljemo npr. žici termočlena neprekinjeno od instrumenta do merilnega mesta in jih v cevko hermetično zaspajkamo (sl. 1a in 1h) s "cinom".



Slika 1. Primeri različnih električnih prevodnic:

- a,b – vodnik, tesnjen z elastomerom v telesu iz umetne snovi
 c – vodnik, tesno zalit z lepilom (araldit)
 č – visokonapetostna prevodnica s keramičnim telesom
 d,e – princip in izvedba visokoamperske prevodnice, ki je hlajena s tekočo vodo
 f – žica, zataljena v steklen vakuumski sistem ali hermetični element (npr. žarnica, TV elektronka,..)
 h – kompresijski spoj žic, ali cevki in stekla v steni ohišja oziroma v pribornici iz nerjavnega jekla
 g,i – izvedbe el. prevodnic s spojem: keramika-kovina



Pri električnih prevodnicah sta kot izolatorja zelo pomembna materiala steklo in keramika; na ohišje ju lahko pritrdimo in tesnimo z elastomernimi tesnili ali pa z neposrednim spojem na kovino, ki je seveda najkvalitetnejši.

Že od izdelave elektronk na začetku stoletja je dobro poznan spoj steklo-kovina z določenimi tehničnimi stekli in njim ustreznimi vtalnimi kovinami. Tovrstni spoji se dandanes, ko je doba elektronk že minila, še vedno mnogo uporabljajo tudi pri velikoserijskih izdelkih (npr. v rentgenskih in TV elektronkah, žarnicah itd.); pri njih imajo pari nastopajočih materialov bolj ali manj usklajene termične raztezke v temperaturnem območju vtaljevanja (sl. 1f). Izdelava mnogih električnih prevodnic pa temelji na principu temperaturno neusklajenega spoja. V tem primeru mora biti steklena izolacija vodnika obdana s kovino, navadno

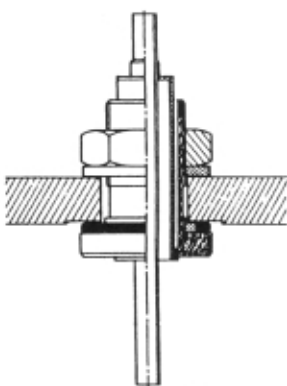
z nerjavnim jeklom, ki ima večje skrčke od vložka (sl. 1h); tak spoj je tudi pri spremembah temperatur vedno tlačno obremenjen in ga zato imenujemo kompresijski. Vezna plast pri spojih steklo-kovina je pravilno pripravljen oksid uporabljene kovine oz. zlitine.

Spoji keramika-kovina, ki so se do svoje popolnosti razvili šele v zadnjih treh desetletjih, prekašajo tiste s steklom po trdnosti in po višji možni temperaturi pregrevanja. Temeljijo na visoko glinični keramiki (>96% Al_2O_3), ki je na stičnem mestu metalizirana; kovinsko plast nanese v obliki specialne paste in nato pri visokih temperaturah sintriamo na podlago. Nastala vezna plast omogoča trdo spajkanje keramike na primerne kovine (npr. Cu) oz. zlitine (npr. kovar). Primeri takih spojev na sliki 1 so: č, e, g in i.

Za manj zahtevne aplikacije se zelo pogosto uporablja ulite epoksidne smole (araldite) in razna druga lepila (sl. 1c), ki hkrati izolirajo in tesnijo.

3 PREVODNICE ZA PLINE IN TEKOČINE

To so cevi, navadno iz bakra ali iz nerjavnega jekla, vgrajene v steno recipienta ali v prirobnico. Lahko so izvedene razstavljivo z elastomernimi tesnili in holandskimi maticami ali pomožnimi prirobnicami, lahko pa tudi nerazstavljivo z varjenjem, spajkanjem ali lepljenjem. Poseben tovrsten element je npr. cev za pretok tekočega dušika (-196 °C) skozi "toplo" steno recipienta; realiziran je (sl. 2) s pomočjo pomožne dolge tankostenske cevi, ki prepreči pretok toplote s tem, da na sebi ohranja ves temperaturni gradient.



Slika 2. Izvedba prevodnice za pretok tekočega dušika

4 PREVODNICE ZA PRENOS GIBANJA

Že od samih začetkov vakuumske tehnike so nekateri tehnološki postopki zahtevali vnos različnih gibanj v delovno komoro; npr.: obračanje ponve v vakuumski metalurški peči, vrtenje izdelkov pred izvirom kovinskih par v naparjevalni komori, pomik varjenca pod elektronskim curkom, nameščanje vzorcev na položaj za detekcijo površine v analiznih aparaturnah itd. V osnovi so ta gibanja predvsem linearna in rotacijska, vendar v praksi pogosto želimo imeti tudi kombinacije, kot so: koordinatni pomiki ($X + X$, $X + Y$, $X + Y + Z$), obračanje in linearni pomik, polarno gibanje, polarno, kombinirano z linearnim itd. Naštete zahteve so med razvojem privedle do posameznih rešitev, ki so se obdržale kot primerne za posamezne namene in zahteve. Razdelimo jih lahko v štiri značilne skupine:

- tesnjene, drsno s tiščočimi tesnili
- tesnjene, statično tesno z gibkimi membranami in mehovi
- magnetni sklop skozi nemagnetno steno
- tesnjene z magnetno tekočino

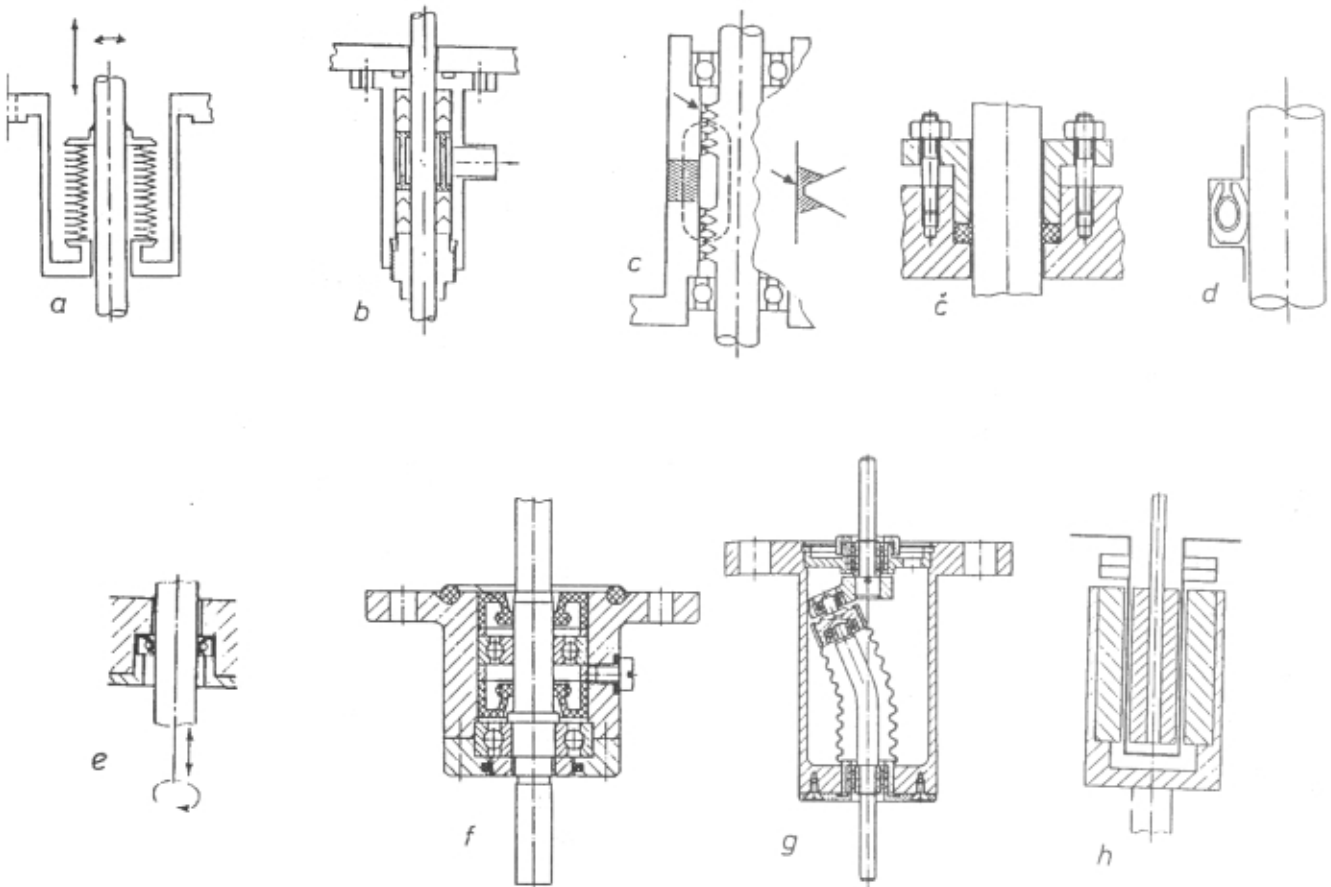
Prvo omenjene so najpogosteje uporabljene gibalne prevodnice. Nekaj osnovnih zgledov prikazuje slika 3. Kot tesnila se uporabljajo standardni elastomerni obroč in manšete, ki jih poznamo iz fluidne tehnike in strojništva. Omogočajo vrtenje in premo gibanje; so enostavni za montažo in razmeroma poceni. Pri višjih temperaturnih zahtevah je potrebno namesto navadne tehnične gume (NBR) uporabiti viton in po potrebi hladiti vrtečo se os v notranjosti s tekočo vodo. Za višje vakuumske zahteve predvidimo namesto ene, dve ali tri tesnilne zapore in po potrebi vmesne prekate posebej dinamično evakuiramo (3b) tako, da dosežemo na posameznem tesnilu manjšo tlačno razliko. Pri napravah za grobi vakuum je navadno prostor med dvema tesnili napolnjen z mastjo ali oljem (3f). Tu je prav, da opozorimo tudi na nove izvedbe tesnilnih obročev, kot so: 4-kotni presek, votli presek z vgrajeno vzmetjo, kombinacija teflona za drsni stik in elastomera za tiščanje; zanimivi so tudi novi tesnilni materiali (kombinacije s teflonom in gume z grafitnim prahom, ki ne zahtevajo mazanja).

Da tovrstni spoji kvalitetno tesnijo dalj časa, jih je potrebno primerno vzdrževati, (čiščenje osi, namaščanje tesnilnega roba) in v primeru poškodb ali obrabe zamenjati. Kljub nekaterim pomanjkljivostim (možnost puščanja po daljši uporabi in nezagotovljena odsotnost ogljikovodikov) se prevodnice s tiščočimi tesnili uporabljajo pri mnogih VV napravah.

Statično tesnjene prevodnice (3a) uporabljamo v primerih, ko se zahteva čim manjše puščanje ter kadar je potrebno pregrevanje in odsotnost ogljikovodikov. Zelo kratke gibe lahko enostavno dosežemo z elastomerno ali kovinsko membrano, daljše pa z membransko ali gubasto ("meh") cevjo. Omogočajo dokaj enostavno izvedbo za prenos linearnih in polarnih gibanj, zahtevnejša konstrukcija pa je potrebna za prenos rotacije. Tovrstne vrtilne prevodnice so bistroumno konstruirane z uporabo dvojne ročice in gibkih zglobov (sl. 3c), pri tem se meh le zvijajoče upogiba. Tehnične rešitve so prilagojene namenu uporabe ter deloma tudi oblikovalnim in tehnološkim sposobnostim proizvajalca.

Posebna varianta za tesnjenje prenosa rotacije je težko hlapljiva tekočina, pomešana z magnetnim prahom (suspenzija delcev Fe_2O_3). Le-ta se zadržuje v malih režah vležajenja rotirajoče osi, ki so magnetno polarizirane z vgrajenimi permanentnimi magnetki in tako preprečuje pretok plina skozi špranjo (3c). Firma Ferrofluidics priporoča ta svoj patent za različna področja uporabe (za vakuume do 10^{-8} mbar).

Pogost način prenosa rotacijskega in translatorskega gibanja v hermetično zaprto komoro je tudi z magnetno sklopko skozi primerno oblikovan izrastek komore. Ta princip je pravzaprav najbolj idealen, kajti stena sploh ni prekinjena in ni izpostavljena pregibanju (3h). Tovrstne prevodne sklope je možno pregrevati, ne omogočajo pa povsem preciznega prenosa gibov (mrtvi hod). Uporabljajo se lahko



Slika 3. Principi in izvedbe prevodnic za prenos gibanja

- a – aksialno in polarno gibanje, doseženo z membrano ali z membranskim mehomo
- b – stisnjena tesnila in evakuiranje vmesnega prostora
- c – tesnjenje gredi z magnetno tekočino
- č, d, e – princip tesnjenja z različno oblikovanimi in različno stisnjenimi tesnili
- f – izvedba vleženja gredi, tesnjene z dvema radialnima oljnima tesniloma
- g – UV prevodnica za prenos rotacije, izvedena z mehomo
- h – prenos sile oz. momenta z magnetno sklopko

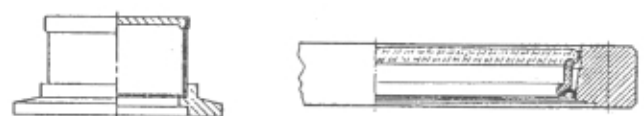
permanentni magneti in elektromagneti (npr. pri elektromagnetnih ventilih itd.)

Poleg naštetih osnovnih principov obstaja v praksi še veliko zanimivih izpeljank (npr. elektromotorji v vakuumskem sistemu). Pomembni, predvsem v proizvodnji, so avtomatizirani podajalniki.

5 OKNA

Okna omogočajo prestop vseh vrst svetlobe oz. elektromagnetnih valovanj v vakuumski sistem ali iz njega. Za določeno vrsto sevanja moramo samo izbrati ustrezen prepustni material. Tako npr. uporabimo za opazovalna okna (za fotografiranje, za pirometrične meritve...) kovarsko steklo, zataljeno na kovarski obroč (sl. 4); za prenos UV in IR svetlobe se uporabljajo kremenova ali safirna okna, za

rentgenske žarke pa berilijevo okno. Prenos visokofrekvenčne energije (mikrovalovi) omogočajo posebna stekla in keramike. Tesnjenje je lahko izvedeno kot kompresijski spoj ali z lepljenjem in tudi z elastomernimi tesnili, odvisno od vakuumskih zahtev aparature.



Slika 4. Dve izvedbi okna s steklom, zataljenim v kovarski obroč

6 SKLEP

Predstavili smo osnovne tipe različnih vakuumskih prevodnic. Mnoge izvedbe so že dolgo v uporabi in so standardni program vseh večjih proizvajalcev vakuumske opreme, veliko pa je posebnih konstrukcij, izdelanih za določen namen. Nenehni razvoj na področju materialov tudi tu prinaša nove rešitve.

7 Literatura

- /1/ H. Bollinger et al.: Industrielle Vakuumtechnik, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1981
- /2/ Prospekti različnih proizvajalcev
- /3/ M. Wutz, A. Adam, W. Walcher: Theorie und Praxis der Vakuumtechnik, F. Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 1982
- /4/ E. Kansky, A. Zalar, Reaktivni spoji keramika-kovina, Zbornik referatov 5. jug. vak. kongres, maj 1971, Bilten JUVAK-11
- /5/ D. Gorjan, J. Zoubek, E. Kansky, A. Gala: Preiskave spojev domače visokoglinične keramike s kovinami za elektronske sestavne dele, poročilo za RSS, IEVT 1982



- VAKUUMSKI SISTEMI
- VAKUUMSKE KOMPONENTE

IEVT - oddelek za razvoj vakuumskih komponent in sistemov

Imamo več kot 30-letne izkušnje z načrtovanjem in izdelavo vakuumskih sistemov ter pri razvoju visokih tehnologij. Naši izdelki so standardni ali izdelani po naročilu in so 100% preizkušeni na tesnost. Uvajanje standarda ISO-9000, uporaba kvalitetnih materialov (nerjavno jeklo, Al itd) in modernih tehnoloških postopkov (specialna varjenja, leak detekcija, analiza materialov itd.) nam omogočajo doseganje kvalitete, ki je na področju tehnike visokega vakuuma nujno potrebna.

Sistemi:

- za grobi, srednji, visoki in ultravisoki vakuum
- ročni, računalniško krmiljeni
- laboratorijski, proizvodno tehnološki (prijemalne naprave, impregnacija, sušenje, polnjenje elementov, naparevanje,...)

Komponente:

- spojke in prirobnice: ISO-KF, ISO-CF, ISO-K
- prevodnice: električne, za prehod plinov in tekočin ter za prenos gibanja
- spojni cevni kosi: reducirni ter oblike I,L,T,X
- ventili: ročni, el.pnevmatski, za različna področja vakuuma in uporabe (ravni, kotni, ploščati, dvopotni, igelni itd...)
- črpalke: membranske, rotacijske, difuzijske
- merilniki s senzorskimi glavami (Pirani, Penning), merilniki grobega vakuuma
- adsorpcijske pasti, filtri, okna, stekleni deli
- komore in zvonovi s standardnimi in specialnimi priključki, s hlajenjem oz. z ogrevanjem itd.
- prehodni kosi: kovinski mehovi, spoji steklo-kovina, keramika-kovina

Storitve:

- testiranje tesnosti in odkrivanje netesnih mest s helijevim leak detektorjem
- hermetični spoji: kovina-keramika, kovina-steklo, kovina-kovina (TIG, laser, mikroplazma, spajkanje)
- VV in UVV inženiring ter svetovanje
- servisi, meritve, priklop in zagon naprav ter vzdrževalna dela
- razvoj in postavitve vakuumskih tehnoloških postopkov
- izobraževanje kadrov (v sklopu z Društvom za vakuumsko tehniko Slovenije)
- nanos tankih plasti (naparevanje, naprševanje)
- visokozahtevna steklopihaška dela
- toplotne obdelave manjših predmetov v vakuumu in v inertni atmosferi
- mikroanalize sestave površine in globinskih profilov materialov (AES, SEM)

Za vse standardne komponente so na voljo tudi posamezni prospekti s tehničnimi podatki. Podrobnejše informacije dobite na oddelku "Vakuumski sistemi in komponente".



INŠTITUT
ZA ELEKTRONIKO
IN VAKUUMSKO
TEHNIKO p. o.

TESLOVA ULICA 30, POB 59, 61111 LJUBLJANA,
SLOVENIJA
TELEFON: (061) 123-13-41, 263-461
TELEFAX: (061) 263-098, TELEX: 39714/IEVT