

AVTOMATIZIRANI VAKUUMSKI SISTEM ZA PROIZVODNJO BAKTERICIDNIH SEVAL

Marko Pribošek, Inštitut za elektroniko in vakuumsko tehniko, Teslova 30, 61111 Ljubljana

1. Uvod

Pred nekaj leti smo na IEVT razvili sevalo z baktericidnim učinkom. To je nizekotlačna živosrebrna razelektrivna cev, ki seva pretežno UV svetlobo z valovno dolžino 253,7 nm. Sevanje je učinkovito za uničevanje mikroorganizmov v zraku, na direktno obsevanih površinah in v bistri vodi. Cev je po konstrukciji in delovanju podobna fluorescenčni za razsvetljavo. Baktericidna sevala vgrajujejo v posebne svetilke ali prezračevalne naprave. Uporabljajo jih predvsem v bolnišnicah, farmacevtski in živilski industriji ter skladiščih pokvarljivega blaga. Razvili smo dva tipa seval, in sicer za priključne moči 20 in 40W. Ker se je pokazalo, da sta izdelka tržno zanimiva, smo ju začeli maloserijsko proizvajati. Poizkusna proizvodnja je sprva tekla na improviziranem steklenem vakuumskem sistemu z malo plinsko pregrevalno pečjo, v katero smo lahko namestili le dve cevi istočasno. Naraščajoče potrebe tržišča so kmalu narekivale razširitev proizvodne kapacitete, zato je bilo potrebno razviti in izdelati sodobnejši avtomatizirani vakuumski sistem. Glavne zahteve, ki jih mora izpolnjevati novi sistem, so bile:

- povečati proizvodno kapaciteto ob istem številu zaposlenih
- zagotoviti ponovljivost procesa in boljšo kvaliteto seval
- zmanjšati čas nujne prisotnosti operaterja
- povečati varnost pri delu in
- izboljšati delovne razmere (hrup, sevanje toplote ipd.)

Razvoj sistema je potekal v dveh fazah:

- projektiranje vakuumskega sistema, krmilne in močnostne elektronike, izdelava komponent, montaža sistema in uvajanje proizvodnje seval z ročnim upravljanjem procesa ter
- razvoj strojne in programske opreme, avtomatizacija proizvodnega procesa z računalnikom ter optimizacija posameznih tehnoloških faz.

2. Opis naprave

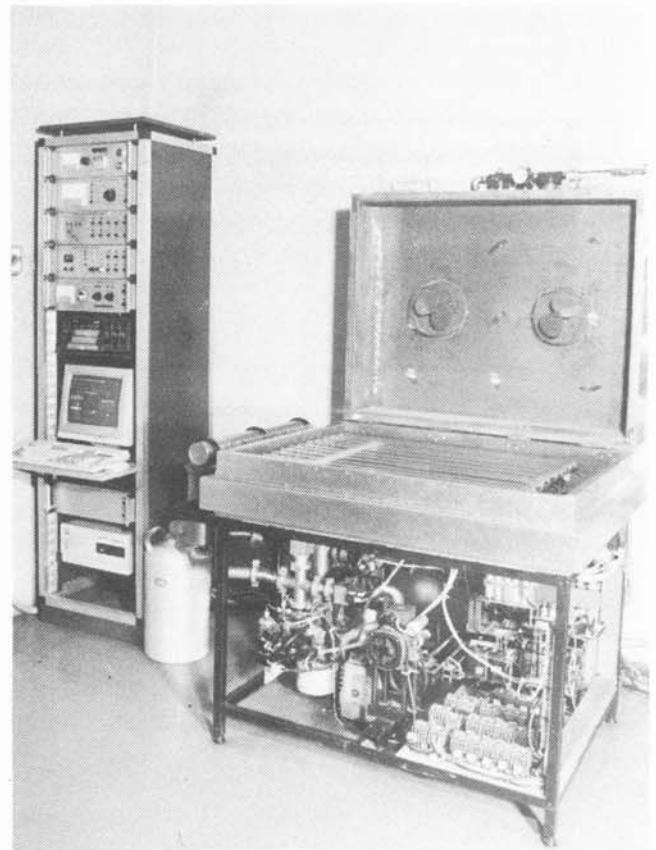
Avtomatizirani vakuumski sistem, ki je na sliki 1 prikazan brez zaščitnih pokrovov in z odprto procesno pečjo, sestavljajo:

- visokovakuumski črpalni agregat
- močnostni visokonapetostni blok
- procesna peč in
- omara s krmilno elektroniko in računalnikom

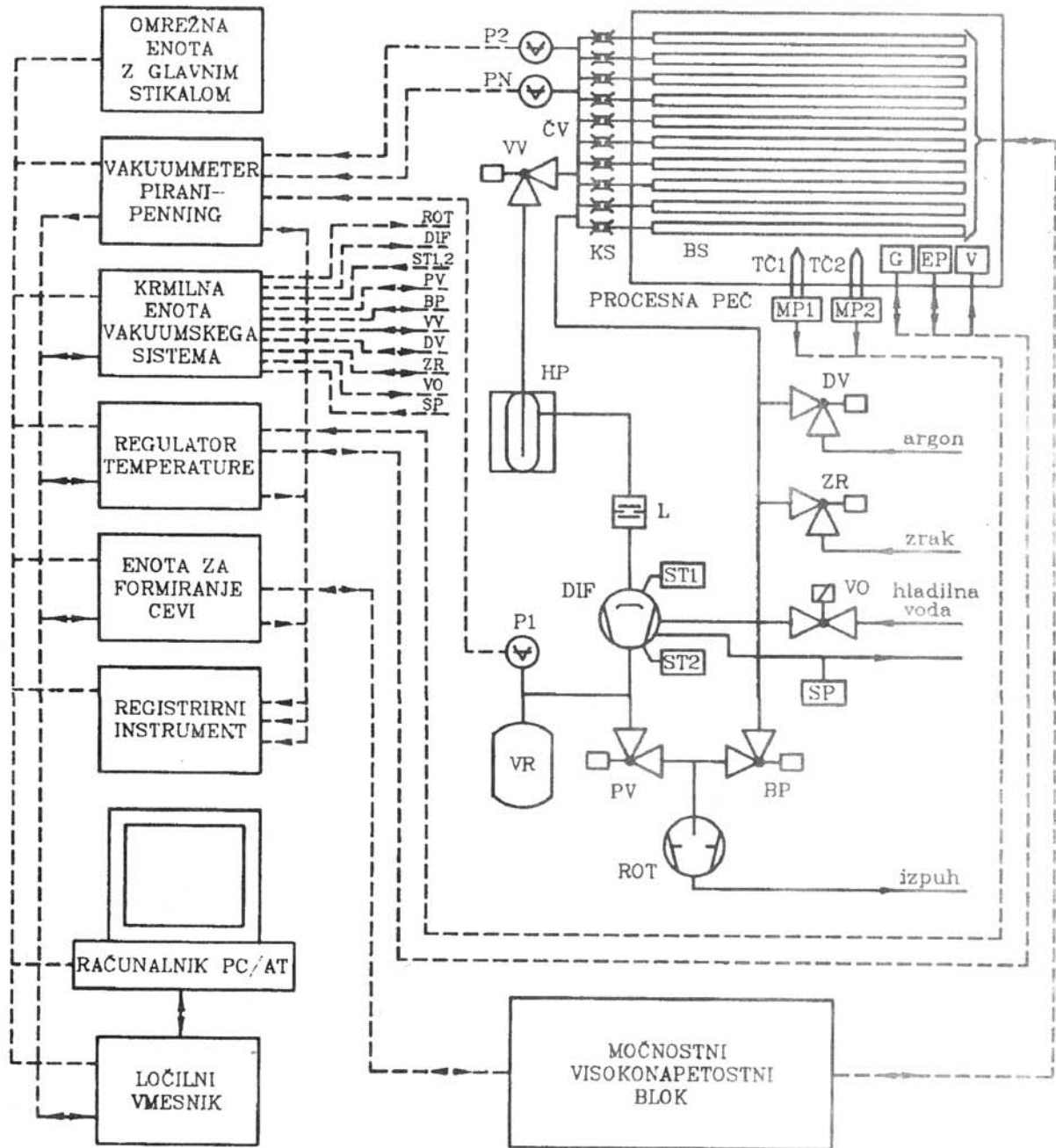
Blokovna shema celotnega sistema je prikazana na sliki 2.

Visokovakuumski črpalni agregat

Za doseg dolge življenjske dobe baktericidnih seval je pomembno, da proces vakuumске obdelave katod in cevi poteka pri čim nižjem, vendar tehnološko še sprejemljivem tlaku. V ta namen je bilo potrebno izdelati kvaliteten visokovakuumski sistem z dovolj veliko črpalno hitrostjo. Uporabljena je varianta vakuumskega sistema z rotacijsko in difuzijsko črpalno ter hlajeno sorpcijsko pastjo. Dvostopenjska rotacijska črpalna ROT s črpalno hitrostjo 8 m³/h je proizvod firme Leybold (tip D8 A), oljna difuzijska črpalna DIF s črpalno hitrostjo 150 l/s, z vodnim hlajenjem in vgrajenim lovilnikom oljnih par L, pa je domača (ODF 150, IEVT). Pretok hladilne vode omogoča elektromagnetni servo ventil VO, nadzoruje pa senzor pretoka SP. Celotna vakuumška instalacija je izdelana iz nerjavečega jekla, tesnila so VITILAN-ska. Ker krmilimo črpalni proces tako v ročnem kakor tudi v avtomatskem načinu obratovanja elektronsko, so uporabljeni elektropnevmatski vakuumški ventili



Slika 1. Avtomatizirani vakuumski sistem za proizvodnjo baktericidnih seval



ROT - rotacijska črpalka
 DIF - difuzijska črpalka
 ST1, ST2 - senzorna temperatura difuzijske črpalke
 L - lovilnik oljnih par
 HP - hlajena past
 VR - vakuumski rezervoar
 PV - predvakuumski ventil
 BP - "by-pass" ventil
 VV - visokovakuumski ventil
 DV - dozirni ventil
 ZR - ventil za vpust zraka
 VO - el.magnetni ventil za vodo

SP - senzor pretoka hladilne vode
 P1, P2 - Pirani merilne glave
 PN - Penning merilna glava
 ČV - črpalne vilice vak. sistema
 KS - kompresijske spojke
 BS - baktericidno sevalo
 TČ1 - merilni termočlen
 TČ2 - varnostni termočlen
 MP1, MP2 - merilna pretvornika
 G - grelnik procesne peči
 EP - elektromotorni pogon za odpiranje in zapiranje peči
 V - ventilatorja procesne peči

Slika 2. Blokovna shema avtomatiziranega vakuumskega sistema

(PV, BP, VV, DV in ZR) z indikatorji končnih leg. Ventili imajo nazivne premere DN10KF do DN40KF in so izdelki firme Leybold. Za pravilno doziranje plina je pred dozirni ventil DV vstavljena primerna zaslonka. Vakuumski rezervoar VR vzdržuje potreben predtlak za delovanje difuzijske črpalke v času, ko se črpa preko "by-pass" ventila BP in je predvakuumski ventil PV zaprt. Tlake v sistemu meri Pirani-Penning vakuummeter (PPV40, IEVT) z merilnim področjem 10^{-6} do 10^3 mbar. Baktericidna sevala BS so priključena na črpalne vilice ČV vakuumskega sistema s kompresijskimi spojkami kovina-steklo KS, ki omogočajo hitro zamenjavo ter zagotavljajo tesen spoj. Črpalne vilice so povezane z difuzijsko črpalno preko visokovakuumskega ventila VV in pasti HP, ki jo hladimo s tekočim dušikom. Hladna sorpcijska past z veliko sposobnostjo črpanja, predvsem vodnih par, odločilno pripomore k skrajšaju črpalnih ciklov.

Močnostni visokonapetostni blok

Nizkonapetostno in visokonapetostno formiranje katod baktericidnih seval omogoča močnostni visokonapetostni blok. Sestavljata ga dva močnostna visokonapetostna transformatorja, vezje za prilagoditev bremena, preklopno polje kontaktorjev ter merilna pretvornika s standardnim izhodom 0-20 mA. Pretvornika sta namenjena za merjenje el. tokov formiranja med procesom. Močnostni blok je nameščen pod procesno pečjo ob vakuumskem sistemu, krmilimo pa ga ročno ali z računalnikom preko enote za formiranje cevi, ki bo opisana kasneje.

Procesna peč

Procesna peč ima obliko plitve skrinje z dviznim pokrovom in je montirana na nosilnem okviru vakuumskega sistema. Notranje stene so izdelane iz nerjaveče jeklene pločevine, zunanje stene pa iz aluminijeve. Izolacijski material med stenama dopušča trajne delovne temperature do 500°C . Ob dnu peči so nameščeni cevni grelniki skupne moči 7 kW, na pokrovu pa ventilatorja, ki z mešanjem zraka poskrbita za enakomerno porazdelitev toplote v peči. Za meritev temperature in zaščito sta v peči nameščena termočlena TC1 in TC2, ki sta preko merilnih pretvornikov MP1 in MP2 povezana z regulatorjem temperature. Pokrov procesne peči dviga elektromotor prek mehanskega prenosa, navojnega vretena in žičnih vrvi. V peč je možno namestiti do 10 obdelovancev (seval) različnih dolžin, kar omogočajo primerno oblikovani nosilci.

Omara s krmilno elektroniko in računalnikom

Krmilno elektroniko vakuumskega sistema sestavlja več enot, ki so vgrajene v standardna ohišja širine 19" in montirane v omaro višine 200 cm. V omaro s pultom za tastaturo je vgrajen tudi računalnik PC/AT z barvnim zaslonom.

Vakuumski sistem lahko obratuje v ročnem ali avtomatskem režimu. V ročnem režimu krmilimo posamezne enote ročno, s tipkami na prednjih ploščah, v avtomatskem režimu pa upravlja celoten proces

računalnik, ročne komande so pri tem blokirane. Preklop iz ročnega v avtomatski način in obratno opravimo z enim samim stikalom na prednji plošči. Krmilno elektroniko vakuumskega sistema sestavljajo naslednje enote:

- omrežna enota
- vakuummeter
- krmilna enota vakuumskega sistema
- regulator temperature
- enota za formiranje cevi
- registrirni instrument in
- računalnik s perifernimi enotami

a) Omrežna enota: V tej enoti so združeni v kompaktno celoto: glavno stikalo, avtomatske varovalke, voltmeter za kontrolo napetosti posameznih faz ter razdelilne vtičnice, prek katerih se napaja elektronski in močnostni del vakuumskega sistema. Izklop napajanja celotnega sistema je mogoč s pritiskom na varnostno tipko, ob izpadu ene od faz trifaznega omrežja pa se izvrši avtomatsko.

b) Vakuummeter: Za merjenje tlakov v vakuumskem sistemu je uporabljen naš serijski proizvod Pirani-Penning vakuummeter PPV40. Na aparaturu sta priključeni dve Pirani merilni glavi (PRG2) z merilnim območjem 10^{-3} do 10^3 mbar in ena Penning merilna glava (PNG2) z merilnim področjem 10^{-6} do 10^{-2} mbar. Zaradi varnosti obratovanja in možnosti avtomatskega upravljanja celotnega sistema je bilo potrebno vakuummetru dodati še elektronsko vezje za signalizacijo okvar na Pirani merilnih glavah ter zaščitno vezje, ki zapre in blokira visokovakuumski ventil v primeru nenadnega porasta tlaka v črpalnih vilicah sistema (npr. ob imploziji ali lomu ene od priključenih steklenih cevi). Ta zaščita deluje neodvisno od drugih elektronskih vezij v sistemu, tako v ročnem kakor tudi v avtomatskem načinu obratovanja.

c) Krmilna enota vakuumskega sistema: Ta enota omogoča ročno in računalniško upravljanje vakuumskega sistema. Ročno upravljamo črpalni proces s tipkami na prednji plošči, dejansko stanje pa spremljamo na simbolni shemi ob tipkah. Kontrolne lučke v simbolni shemi krmilijo signali stanja, ki jih generirajo indikatorji položajev elektro-pnevmatskih ventilov, končna stikala in senzorji sistema. Logično vezje krmilne enote detektira signale stanja posameznih elementov in komande operatorja ter preko močnostnega vezja enote krmili vakuumski sistem. Naloga logičnega vezja je tudi varovanje elementov vakuumskega sistema v primeru napak ali napačnih komand operatorja. V avtomatskem režimu obratovanja prevzame funkcijo logičnega vezja računalnik. Pomembnejši del krmilne enote je že omenjeno močnostno vezje z releji in kontaktorji, ki so preko konektorjev in vtičnic na zadnji plošči aparature povezani direktno z ventili, črpalkami in drugimi elementi vakuumskega sistema.

d) Regulator temperature: Za regulacijo temperature v procesni peči je bil razvit proporcionalno-integralni regulator temperature z močnostno trifazno tiristorsko izhodno stopnjo. V istem ohišju se nahajajo še el. vezja za upravljanje z ventilatorji in motornim

pogonom za dviganje in spuščanje pokrova peči. Na prednji plošči regulatorja so poleg digitalnega merilnika temperature še kontrolne lučke za kontrolo delovanja grelnikov, potenciometri za nastavitev delovne temperature, zaščitne temperature, moči grelnikov, parametrov proporcionalno-integralnega regulatorja ter tipke za ročno upravljanje s procesno pečjo. Regulator temperature je prirejen za delovne temperature do 600 °C, na njegovo močnostno izhodno stopnjo pa je mogoče priključiti grelnike skupne moči do 10 kW. Za merjenje temperature in zaščito v primeru "pobega" peči sta uporabljena dva termočlena Ni-NiCr, ki sta preko merilnih pretvornikov s standardnim izhodom 0-20 mA priključena na vhod regulatorja. Vgrajena elektronska zaščita nas opozori z zvočnim in svetlobnim signalom ter izključi peč v naslednjih primerih:

- pri prekoračenju nastavljenih (delovne) temperature za 15%
- pri prekoračenju poljubno nastavljenih varnostnih temperatur
- pri prekinitvi merilnega ali varnostnega termočlena
- pri prekinitvi ali kratkem stiku grelnika z ohišjem sistema
- pri preboju močnostnega tiristorja v eni od faz.

Procesno peč lahko upravljamo tudi z računalnikom. V tem primeru so ročne komande blokirane, računalnik pa lahko krmili temperaturo peči v skladu z zahtevami procesa.

e) Enota za formiranje cevi: Ta enota omogoča ročno ali računalniško krmiljenje močnostnega visokonapetostnega bloka z visokonapetostnimi transformatorji in preklopnim poljem kontaktorjev, s katerim so električno povezana sevala v procesni peč. V ročnem režimu delovanja krmilimo preklopno polje z dvema preklopnikoma na prednji plošči aparature, tokove formiranja pa nastavljamo z variacijskim transformatorjem in odčitavamo na kazalčnem instrumentu. V avtomatskem režimu delovanja so ročne komande blokirane, preklopno polje pa krmili računalnik. Trenutno stanje preklopnega polja in toka formiranja lahko v avtomatskem režimu delovanja nadzorujemo s pomočjo kontrolnih lučk in instrumenta na prednji plošči (enako kot v ročnem režimu) ali pa na zaslonu računalnika. Tokove nizkonapetostnega in visokonapetostnega formiranja seval regulira računalnik s pomočjo koračnega motorja, ki obrača variacijski transformator. V regulacijsko zanko je vključen vedno tudi en od merilnih pretvornikov močnostnega visokonapetostnega bloka, katerih naloga je pretvorba izmeničnega toka formiranja v standardni enosmerni nivo 0-20 mA, ki ga zaznavata kazalčni instrument na prednji plošči in računalnik.

f) Registrirni instrument: Vakuummeter, regulator temperature procesne peči in enota za formiranje cevi so opremljeni tudi z izhodi za pisalnik. Ti izhodi so povezani s trokanalnim pisalnikom firme Goerz (tip SE430), ki beleži tlak, temperaturo in el. tok formiranja med ročno ali računalniško vodenim procesom. Redna kontrola in arhiviranje diagramov

poteka posameznih procesov omogoča nadzor nad delovanjem celotnega sistema, zgodnje odkrivanje napak ter kontrolo kvalitete opravljenega dela.

g) Računalnik s perifernimi enotami: V avtomatskem načinu obratovanja krmili vakuumski sistem in celoten proces računalnik PC/AT. Da lahko računalnik komunicira z "realnim svetom", sta bili razviti dve razširitveni kartici s skupno 64 digitalnimi vhodi/izhodi ter 16 analognimi vhodi. Na vsak analogni vhod je mogoče priključiti napetosti 0-10 V, resolucija analogno-digitalnega pretvornika je 12 bitna, čas pretvorbe pa 25 μ s. Napetostni nivoji digitalnih vhodov in izhodov so 5V TTL, izhodi pa so opremljeni še z izhodnimi ojačevalniki (bufferji), ki omogočajo izhodni tok do 20 mA po kanalu. Razširitveni kartici sta nameščeni na prostih mestih v ohišju računalnika in z dvema 50 polnima ploščatima kabloma povezani z ločilnim vmesnikom.

Naloga ločilnega vmesnika je galvanska ločitev vseh digitalnih in analognih signalov, ki jih obdeluje računalnik. Ločilni vmesnik je bil razvit predvsem zaradi varnosti delovanja sistema. Preboj ali okvara v močnostnem visokonapetostnem bloku, nekaterih priključnih kabliah ali konektorjih bi lahko povzročila hude poškodbe ali celo uničenje občutljivih vezij računalnika, kar je povezano z velikimi stroški. Za galvansko ločitev digitalnih vhodnih in izhodnih signalov so uporabljeni optični sklopni elementi, za galvansko ločitev analognih signalov pa posebni izolacijski ojačevalniki firme Burr-Brown. Ločilni vmesnik se nahaja v panelu širine 19" pod pultom za tastaturo. Z ustreznimi kablji je povezan z vakuummetrom, krmilno enoto vakuumskega sistema, regulatorjem temperature ter enoto za formiranje cevi. Pretok podatkov preko teh povezav je dvosmeren, kar je označeno tudi v blokovni shemi (slika2). Na prednji plošči ločilnega vmesnika se nahaja poleg stikala za vklop še stikalo za preklop celotnega sistema iz ročnega načina obratovanja v avtomatski način in obratno. To stikalo je zelo uporabno posebno v primerih, ko pride do nepredvidenih napak ali zapletov v toku procesa, saj lahko operator z enostavnim posegom kadarkoli in brezpogojno prekine avtomatsko vodenje procesa in nadaljuje z ročnim vodenjem, če je to potrebno.

3. Računalniški program

Računalniški program za avtomatsko vodenje procesa je pisan v programskem jeziku Turbo Pascal. Na barvnem zaslonu računalnika z EGA resolucijo, ki je prikazan na sliki 3, je možno spremljati delovanje celotnega sistema. V zgornjem delu zaslona so v obliki "bar-graph" prikazani glavni parametri procesa: tlak v črpalnih vilicah vakuumskega sistema, temperatura procesne peči in tok formiranja seval. Stanja črpalnik, ventilov, senzorjev in drugih elementov sistema so prikazana grafično v simbolni shemi, ob kateri se nahaja glavni menu programa. V njem lahko izbiramo izvajanje CELOTNEGA PROCESA ali podprocesov: PREDVAKUUM, VISOKI VAKUUM, PREGREVANJE, NIZKONAPETOSTNO FORMIRANJE, VPUST ARGONA, VISOKONAPETOSTNO FORMIRANJE, VPUST ZRAKA, IZKLOP SISTEMA in PREKINITEV PROCESA.

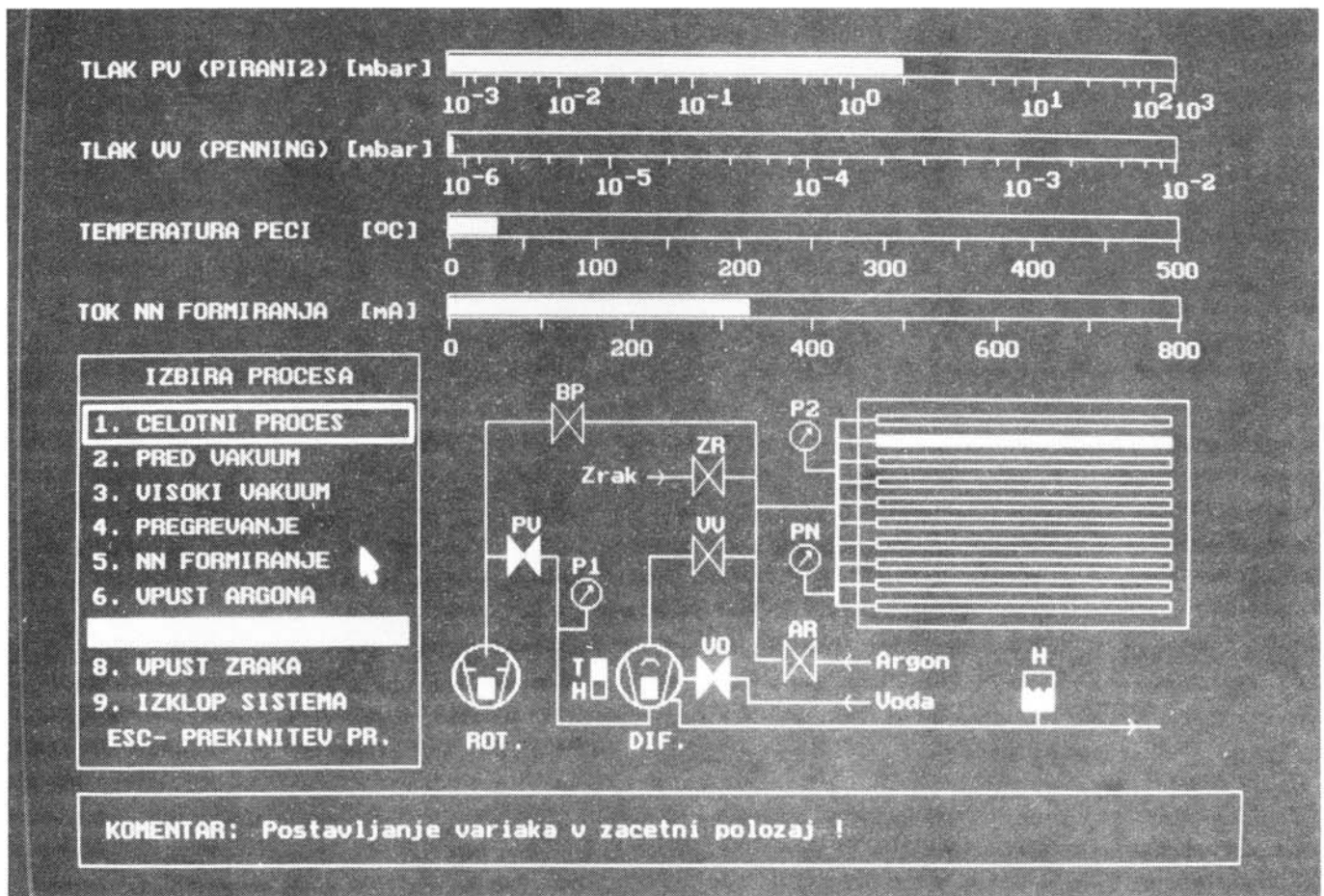
Če pride med delovanjem do nepredvidljivih napak, ki zahtevajo ročni poseg, lahko izvajanje programa prekinemo in po odpravi napake nadaljujemo delo z izbiro ustreznega podprocesa. Izbrano opcijo v glavnem meniju označuje okvir okrog napisa, trenutno tekoč podproces pa napis na rdeči podlagi. Delo na sistemu zaključimo z izbiro podprocesa IZKLOP SISTEMA. Pri tem računalnik poskrbi za varen in postopen izklop posameznih elementov, po ohladitvi difuzijske črpalke pa zapre še dotok hladilne vode.

V spodnjem delu zaslona se nahaja komentarsko okno, ki stalno obvešča operaterja o dogajanju na sistemu in mu omogoča vnašanje komand, če je to potrebno. V primeru napake na katerem od elementov sistema se izvajanje programa ustavi, računalnik pa z zvočnim signalom in kratkim obvestilom o mestu napake opozori operaterja na nepravilnost. Pri razvoju programa je bilo precej truda posvečeno ravno detekciji in javljanju napak ter reakcijam računalnika v primeru napake. Ker je za tako kompleksen sistem praktično nemogoče vnaprej prevideti vse možne napake in kombinacije, je potrebno računalniški pro-

gram predvsem v začetku eksploatacije redno vzdrževati in dopolnjevati, kar je tudi splošna praksa v računalništvu.

4. Zaključek

Opisani vakuumski sistem obratuje v redni proizvodnji že dve leti. Sprva je sistem deloval v ročnem režimu obratovanja, v letu 1990 pa je bilo prvič preizkušeno tudi računalniško vodenje procesa. Celoten sistem se je izkazal kot kvaliteten in zanesljiv, saj je bilo do sedaj potrebno odpraviti le nekaj manjših okvar. Proizvodna kapaciteta baktericidnih seval se je z uporabo novega vakuumskega sistema povečala za več kot petkrat, kar precej presega trenutno povpraševanje po tovrstnih izdelkih na našem tržišču. Z uvedbo računalniškega vodenja si obetamo še dodaten prihranek do 600 delovnih ur letno. Avtomatizirani vakuumski sistem bomo uporabili tudi pri razvoju in kasneje za izdelavo nekaterih seval s posebnimi učinki, s katerimi nameravamo razširiti naš proizvodni program. Omeniti velja tudi, da je to naš prvi računalniško vodeni vakuumski sistem za proizvodnjo, ki pomeni temelj za nadaljevanje dela na tem področju.



Slika 3. Zaslona računalnika med izvajanjem podprocesa: Visokonapetostno formiranje seval