

# Komparativna istraživanja sadržaja vode piljene bukovine parene zbog promjene boje pod tlakom od 1 do 4 bara

---

**Pavlin, Zdenko**

*Source / Izvornik:* **Glasnik za šumske pokuse: Annales pro experimentis foresticis, 1983, 21, 5 - 77**

**Journal article, Published version**

**Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:108:101579>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-10-21**



*Repository / Repozitorij:*

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



ZDENKO PAVLIN

KOMPARATIVNA ISTRAŽIVANJA SADRŽAJA  
VODE PILJENE BUKOVINE PARENE ZBOG  
PROMJENE BOJE POD TLAKOM OD 1 DO 4 BARA

COMPARATIVE INVESTIGATIONS ON WATER CONTENT  
IN SAWN BEECHWOOD STEAMED FOR COLOUR CHANGE  
UNDER PRESSURE FROM 1 TO 4 BARS

Na osnovu eksperimentalnih istraživanja zaključeno je, da promjena u sadržaju vode piljene bukovine parene zbog promjene boje, kod tlaka od 1 do 4 bara, pokazuje stalni porast zavisno o početnom sadržaju vode, naročito u intervalu od 60% do 120%.

Nepravilnosti rasporeda krivulja posljedica su različitog stupnja degradacije drvene tvari bukovine. Tako se od 1 do 3 bara razlika između početnog i konačnog sadržaja vode povećava, od 3 do 4 bara povećanje razlika između početnog i konačnog sadržaja vode je usporeno, ali još uvijek prisutno. Zaključeno je, da se s obzirom na isti efekat obojenosti parene bukovine, najpovoljnije razlike između početnog i konačnog sadržaja vode postižu parenjem kod tlaka od 3 bara.

**Ključne riječi:** parenje drva, promjene u sadržaju vode, početni i konačni sadržaj vode

UVOD — INTRODUCTION

Pod hidrotermičkom obradom drva razumjeva se obrada drva toplinom i vlagom. Područja temperatura i vlaga kreću se u širokim granicama.

Hidrotermička obrada drva obuhvaća sušenje drva u širem smislu (prirodno sušenje, preosušenje, umjetno sušenje), ubrzano sušenje (pregrijanom parom, u tekućinama, u otapalima, u vrućim uljima, u organskim parama, u prešama, infracrvenim zrakama, visokofrekventnom strujom, kemijsko, u vakuumu), sušenje furnira, sušenje iverja i piljevine, otvrdnjavanje laka na drvu, omekšavanje, kuhanje, zagrijavanje i parenje drva.

Parenje drva provodi se danas zbog sterilizacije, promjene boje, obrade zrakom visoke vlažnosti ( $\varphi$ ) i visoke temperature ( $t$ ) a u svrhu: zagrijavanja, ublažavanja kolapsa, odstranjenja skorjelosti i plastifikacije drva. Trupci se omekšavaju prije rezanja i ljuštenja vodenom parom (parenje) ili vrućom vodom (kuhanje). Parenje, kuhanje ili vlaženje drva primjenjuje se prilikom izrade iverja. Kod izrade vlakancu primjenjuju se ra-

zličiti režimi parenja, pod tlakom. Kod nas se parenje drva provodi uz atmosferski tlak, jer u praksi ne postoje specijalni uređaji potrebni za primjenu povećanog tlaka. Sam proces parenja provodi se na taj način da se u toku određenog vremena, a u ovisnosti od dimenzija materijala, u komori održava stalna temperatura  $\sim 100$  °C i relativna vlaga zraka od 100 %, pomoću zasićene vodene pare. Pojedini autori navode seriju povoljnih promjena u svojstvima drva, dok drugi proces parenja drva opravdavaju samo zbog sterilizacije i estetske promjene boje.

## PARENJE DRVA — STEAMING OF WOOD

Parenje drva provodi se u Evropi kao priprema za sušenje još od sredine 18 stoljeća. Pod procesom parenja podrazumijeva se obrada drva pomoću zasićene vodene pare određenog tlaka i temperature, u toku određenog vremena. Temperatura vodene pare može biti različita, već prema promjenama koje se žele postići i osjetljivosti drva na temperaturu (K r p a n, 1965). U tu svrhu koristi se ispušna ili svježa para. Nedostatak je ispušne pare što unatoč pažljivog odstranjivanja ulja dolazi do onečišćenja. Zasićena para može donekle da izmjeni svojstva drva — fizička, kemijska, mehanička i biološka — što zavisi uglavnom od tlaka i trajanja parenja. Utjecaj na fizička svojstva drva očituje se u prvom redu u izvjesnom, iako neznatnom, smanjenju volumne mase zbog izluživanja nekih sastojaka. (Bukova piljena građa — kod 100 °C — smanjuje težinu za oko 0,6%). Nominalna volumna masa neznatno se smanjuje uslijed parenja (K u b i n s k y, 1971b). Kod upotrebe svježe pare potrebno je reducirati njen tlak. Pri tome treba paziti da ne dođe do pregrijavanja. Pregrijana para nije pogodna za parenje jer u stvari vrši sušenje drva. Tlak pare zavisi od svrhe parenja i otpornosti zidova zatvorenog prostora na tlak. Obično se kreće od 1 do 4 bara, dok odgovarajuća temperatura pare iznosi 100 do 143 °C. Preko 143 °C nastupa izvjesna kemijska razgradnja drva, naročito pri dužem trajanju parenja. Parenje drva udomaćeno je u drvno industrijskoj praksi kao postupak omekšavanja drva u proizvodnji savijenog namještaja, sportske opreme, bačava, obradi furnirskih trupaca kao i za vrijeme umjetnog sušenja drva (K u b i n s k y, 1971b).

Za vrijeme procesa parenja dolazi do kemijskih procesa kojima se razgrađuje drvena tvar i mijenja boja drva. Postotak celuloze ne smanjuje se za vrijeme parenja, lignin neznatno opada, a akcesorne tvari (tanini, organske kiseline kao i topivi dio u organskim otapalima) opadaju znatno. Parenjem se iz drva ekstrahiraju drvene polioze (amorfne polioze) pri čemu se stvaraju monosaharidi (pentoze i heksoze) a i niže molekularne organske kiseline kao npr. mravlja, octena i druge. Pri tome se osjeća karakterističan miris parenja. Kontrola kondenzata pokazuje znatno opadanje pH vrijednosti, do pH 4,7 (K o l l m a n n, 1939). Obzirom na navedene kemijske promjene u toku parenja prvobitna vrijednost elastičnih svojstava drva ne da se više povratiti (ireverzibilni proces). Za vrijeme procesa parenja (pod utjecajem visoke temperature a uz prisustvo vode) u drvu se odvijaju kemijske promjene lako hidroliziranih sastojaka drva, pod ut-

jecajem nastalih organskih kiselina koje djeluju kao katalizatori. To se odražuje promjenom elastičnih i higroskopskih svojstava, a također i smanjenom čvrstoćom. Ova hidrolitička razgradnja, tokom povećanja temperature i tlaka kao i dužine vremena parenja, povećava se, kod čega se smanjuje suha drvena tvar (Nikitin, 1955). U toku procesa parenja dolazi do vrlo znatnog korozivnog djelovanja na uređaje u parionici, radi agresivnog djelovanja organskih kiselina. Korozivno djelovanje nastaje djelovanjem vodikovih iona (protona) nastalih elektrolitičkom disocijacijom iz organskih kiselina otopljenih u vodi, nastaloj kondenzacijom vodene pare. Agresivnost kiselina povećava se s temperaturom i vremenom djelovanja na uređaje u parionici. Završetak procesa parenja često se ustanovljuje po boji kondenzata, koji mora biti bistar i čist.

Bukovina je u Evropi često podvrgnuta parenju odmah nakon piljenja zbog promjene boje i sterilizacije (Kubinsky, 1971b). Ispitivanjem je utvrđeno da je sterilizacija potpuna, ako se sirovo drvo, svega nekoliko sati nakon prerade u piljenice podvrgne parenju kod temperature 100 °C i relativne vlage 100% za vrijeme od 3 do 6 sati. Parenje u trajanju od 48 do 72 sata, kao što je uobičajeno u praksi, daleko premašuje potrebno vrijeme (For. Prod. Res. Lab., 1940). Istraživanja o utjecaju hidrotermičke obrade borovine i smrekovine u vezi s modrenjem (Seehann, 1965) ukazuju da drvo nakon parenja nije zaštićeno od ponovnog napada. Tako je svježije drvo nakon pola satnog parenja kod temperature od 100 do 160 °C još uvijek napadano od gljiva uzročnika modrenja. Isto tako drvo osušeno ispod točke zasićenosti žice modri nakon ponovnog navlaživanja. Prethodno provedeni postupak parenja bio je bez utjecaja.

Parenjem se može izmijeniti boja sirovom drvu. Bukovina prilikom parenja postiže određenu i ujednačenu boju. To ukazuje da proces obojenja nastaje podjednako u svim stanicama drva. Boja parenog drva nastaje kod niskih tlakova uslijed izluživanja hidrolizirajućih i kondenzirajućih tanina. Prema literaturi neki autori smatraju da u prethidrolizatu bukovine kod nižih tlakova dolazi do ekstrakcije kondenziranih tanina (pirokatehinski tanini) koji daju obojenost drvu (Kozmal, Suty i Mozolova, 1969). Kod viših tlakova nastaju u hidrolizatu i fenolne supstance vrlo kompliciranog sastava (Hillis, 1971). U početku parenja bukovina dobiva ružičastu boju, koja tokom procesa parenja prelazi u smeđe crvenu boju cigle.

Faktori koji utječu na dobivanje boje su: temperatura, vrijeme trajanja procesa, početni sadržaj vode drva i kvalitet materijala. Za vrijeme procesa parenja potrebno je kontrolirati temperaturu u komori. U tu je svrhu potrebno na svakoj komori postaviti termometar i tlakomjer. S povišenjem tlaka a time i temperature parenja znatno se skraćuje trajanje parenja. Što je duže trajanje procesa parenja (uz istu temperaturu) to je intenzivnije obojenje. Parenje traje dok drvo ne postigne boju kakva se traži. Parenje piljenog drva traje 2—4 dana, već prema temperaturi pare, sadržaju vode i debljini drva (Krpán, 1965). Trajanje parenja zavisi od tlaka pare, debljine materijala koji se pari i svrhe parenja. Što je tlak manji za istu svrhu parenja i što je materijal deblji, to je duže parenje. Pod pritiskom od 1,2 do 1,7 bara parenje za razne sortimente traje 18 do

72 sata (srednje vrijeme 48 sati). Obično se računa da je za parenje 1 cm debljine drva potrebno 1 dan. Drvo mora neposredno prije parenja imati početni sadržaj vode iznad 40%. To je uvjet dobijanja odgovarajuće boje. U koliko se za parenje upotrijebi provelo drvo ili drvo s početkom procesa truleži, tada pareni materijal pokazuje velike razlike u boji.

Parenjem bukovine izjednačuje se boja neprave srčevine i bjeljike te bukovina dobiva jednoliku boju. Otvoreno je pitanje da li zbog promjene boje drva treba provoditi tako dugotrajan i skup postupak kao što je parenje, koje pored toga zahtijeva posebne uređaje i remeti normalni tehnološki proces proizvodnje. U mnogim poduzećima finalne obrade, kako kod nas tako i u svijetu problem je riješen jednostavnim močenjem (bajcanjem) drva u močila koja daju boju kao da se radi o parenom drvu. Mnoga poduzeća, koja izvoze piljenu građu, prisiljena su da ju pare, jer je tržište naučeno da mu se isporučuje parena piljena građa (Ilić, 1970).

Poznavanje kemijskih promjena prilikom promjene boje jako je ograničeno. Promjena boje vjerojatno nastaje (Frey-Wyssling i Boshard, 1959) zbog oksidacijske polimerizacije adsorbiranih fenolnih tvari. Kemijske analize komponenata obojenja u drvu otežane su činjenicom da svi sastojci drva osim celuloze mogu biti uključeni u boju i njene promjene.

Poznato je da je proces tamnjenja znatno ubrzan u koliko je temperatura drva povišena iznad 88 °C. Zadovoljavajuća promjena boje drva postiže se ako mu je sadržaj vode na početku parenja veći od točke zasićenosti. Kod parenja orahovine pri visokoj temperaturi promjena boje naglo se mijenja u prvih 4—6 sati. Nakon toga dolazi samo do malih promjena (Brauner i Conway, 1964). Može se zaključiti, da se promjena boje kod parenja bukovine ne zbiva linearno s trajanjem parenja, već su te promjene najbrže na početku parenja, a kasnije su sve sporije, tj. sve teže uočljive (Brežnjak, 1958). Bijela engleska bukovina poprimi ružičastu boju nakon parenja od samo 6 sati, a karakterističnu crvenkastu boju nakon 24 sata. Nastavak parenja dovodi do daljnjih promjena te nakon 4 dana boja parene bukovine postaje vrlo slična boji bukovine koja se uvozi iz Evrope (For. Prod. Res. Lab., 1940). Kod svježije bukovine uzrokuje ispušna para mahagoniju sličan ton boje već nakon 36 sati (Hribar, 1962). Bukovina osušena ispod točke zasićenosti žice postaje parenjem siva. Budući da obojenje parene bukovine nije sasvim trajno, nakon 2—3 godine dolaze razlike opet do izražaja. Svježije drvo tamni brže nego zračno suho drvo izvrgnuto istim uvjetima i kroz isto vrijeme. Utjecaj vode na obojenje u drvu nije posve jasan. Voda u drvu mora djelovati u kemijskom procesu koji uzrokuje promjenu boje (Brauner i Conway, 1964). Boja bukovine parene određeno vrijeme, bit će različita već prema promatranim presjecima kod čega osobitu ulogu ima položaj i veličina sržnih trakova, način obrade površine, vlaga drva na površini i osvjetljenje (Brežnjak, 1958). Već nakon 6 sati parenja boja bukovine je crvenkasta, za 24 sata crvena, a nakon toga sve tamnija. Piravo drvo se ne oboji, te takvo drvo postaje još više šareno. Neprava srž oboji se skoro jednako kao i ostalo drvo. U koliko je piljeno drvo gusto složeno ono se mora znatno duže pariti nego kod slaganja kao za sušenje. Daljnje skraćivanje parenja postiže

se mehaničkim pokretanjem pare (Fessel, 1955). S povišenjem tlaka a time i temperature znatno se skraćuje trajanje parenja (Hribar, 1962). Ružičasto-crvenkasta boja bukovine, koja se bestlačnim postupkom postiže na 50 mm debeloj bukovini za 36 sati parenja, može se tlačnim postupkom postići s parom od 2 bara za samo 10 sati. Neka istraživanja baziraju se isključivo na boji drva kao pogodnom kriteriju upotrebe parenja (Rafalski i Wojciechowska, 1965).

Boja drva, kao jedna važna estetska karakteristika drva, u mnogih vrsta vrlo je osjetljiva na utjecaj povišene temperature (Resch i Dost, 1965). Prirodni ton boje drva tamni zbog hidrolize pentozana na pentoze, koje djelovanjem organskih kiselina drva prelaze u furfural. Isti polimerizira u smeđe smolaste tvari, koje u prirodnim organskih spojevima zovemo huminske kiseline. Promjena boje bukovine parenjem smanjuje se smanjivanjem sadržaja vode, a potpuno prestaje kad sadržaj vode tretiranog drva padne ispod 20%. Za očuvanje prirodne boje drva sadržaj vode treba smanjiti na oko 20% pomoću preosušenja (Sobczak, 1959). Parenje osim što daje ukusnu boju, u stanju je pokriti sitne nedostatke i izjednačiti boju neprave srži i bijeli. Boja parenog drva ocjenjuje se vizuelno, a može se ocjenjivati i upoređivanjem s odgovarajućim uzorcima boje, jer je vizuelna procjena subjektivna (Krpán, 1965).

Drvo se omekšava parenjem prije: rezanja i ljuštenja furnira, savijanja, izrade iverja i vlakancu. Kod sušenja nastaju na drvu razne greške. Parenjem se može spriječiti nastajanje nekih grešaka pri sušenju, a neke se mogu i ukloniti. U proizvodnji furnira, parenjem se postiže omekšavanje vlakancu i — uz djelovanje topline — povećava plastičnost drva. Kako parenje povećava svojstvo plastičnosti drva, u prvom redu zagrijavanjem, ako je sadržaj vode drva u optimalnim granicama od 25 do 30%, ono se primjenjuje i u industriji savijenog drva. Drvo se zagrijava vodenom parom ili vrućom vodom. Između vodene pare ili vruće vode i drva izmjenjuje se toplina (Krpán, 1965).

Proces parenja možemo rastaviti u tri faze:

Prva faza (zagrijavanje) obuhvaća vrijeme od početka parenja pa sve dok drvo ne postigne temperaturu pare. Važno je da temperatura raste postepeno a ne u skokovima. U koliko se drvo naglo zagrijava, puca pod djelovanjem topline, zbog nejednolikog naprežanja. Potrebno vrijeme može se matematski izračunati, no u praksi se to vrši empirijski. U toj fazi još ne dolazi do obojenja drva.

Druga faza (obojenje) počinje kad relativna vlaga zraka ( $\varphi$ ) postigne vrijednost blizu 100%, a temperatura približno 100 °C. Prilikom uobičajenog parenja tlak u parionicama ne prelazi veličinu od 10 do 20 mm vodenog stupca. Potrebno je spomenuti da para pod tlakom ima uvijek jače djelovanje od pare bez tlaka, jer je kod viših temperatura proces obojenja ubrzan. Ton boje parenog drva ovisi o održavanoj temperaturi, relativnoj vlazi i vremenu trajanja parenja.

Treća faza (hlađenje) počinje smanjenjem temperature u parionici. Vrlo je važno da se hlađenje odvija postepeno. Neki autori (Fessel, 1955) predlažu da se drvo odmah nakon parenja izvlači iz parionice. Hlađenje

u parionici nije prema njihovom tumačenju potrebno ni poželjno, jer se kod polaganog hlađenja stvaraju površinske pukotine.

Za vrijeme parenja mogu na piljenom drvu nastati greške: pucanje, vitoperenje, mrlje, nejednolična boja ili boja ne odgovara (K r p a n, 1965). Bubrenja i utezanja su u tangencijalnom smjeru najveća uz najmanju čvrstoću materijala. Tangencijalna, radijalna i longitudinalna utezanja odnose se u prosjeku kao omjeri 20 : 10 : 1. Uzroci za ovakove razlike nalaze se u ranom i kasnom drvu, drvnim trcima, središnjoj lameli, sekundarnom sloju stanične membrane i kutu fibrila. Zbog toga će biti od velikog značenja pažljivo rukovanje prilikom hlađenja drva. Hlađenjem parenog drva dolazi do ubrzanog isparivanja vode s vlažnih i vrućih površina. Nakon prekida dovoda pare, drvo se mora postepeno hladiti uz zatvorena vrata parionice, tako da vlažna atmosfera sprečava naglo sušenje njegove površine. Ovo se provodi sve dok temperatura ne padne na oko 50 °C. Prebrano otvaranje izazvalo bi naglo hlađenje i raspucavanje drva. Zbog toga je potrebno smanjivati temperaturu postepeno, analogno postepenom povećanju temperature u fazi zagrijavanja (Z a h a r ž e v s k i j, 1949). Toplinska naprežanja koja nastaju u površinskom sloju prilikom zagrijavanja drva, su tlačna i manje su opasna od vlačnih naprežanja (prilikom hlađenja kao posljedica naglog sušenja površinskog sloja). Površina drva puno brže se suši (zbog parcijalnog pritiska pare) od ostalog dijela, uslijed toga izgleda pareno drvo na kraju hlađenja suho (F o r. P r o d. R e s. L a b., 1940). Značajno površinsko sušenje uvijek se javlja čim je drvo izveženo iz parionice i ono daje drvu varljivu pojavu prosušenosti. To sušenje je samo površinsko i rijetko utječe na unutarnji dio drva (F o r. P r o d. R e s. L a b., 1940). Drvo će se početi brzo sušiti u koliko dođe u dodir s hladnim zrakom odmah nakon parenja. Zbog toga treba drvo ostaviti u parionici da se polagano hladi, ili ako je izvučeno, treba ga smjestiti pokriti sa navlakom da se spriječi prebrzo sušenje koje može dovesti do oštećenja drva (B r a u n e r i C o n w a y, 1964).

Predparenje drva označuje proces parenja svježeg drva, prije prirodnog ili umjetnog sušenja, u svrhu skraćanja trajanja sušenja. Istraživanjima na eukaliptovini ustanovljeno je da kratkotrajno predparenje svježeg drva na trajanju od 2 do 4 sata smanjuje potrebno vrijeme naknadnog sušenja za 20 do 30%. Također je ustanovljeno da predparenje signifikantno smanjuje razlike u raspodjeli sadržaja vode s obzirom na poprečni presjek drva, što je inače normalna pojava u drvu koje se suši s poteškoćama (C a m p b e l l, 1961).

Prilikom sušenja 25 mm debelih piljenica mamutovca od svježeg stanja na 8% sadržaja vode (E l l w o o d i E r i c k s o n, 1962), predparenje je smanjilo potrebno vrijeme u prosjeku za 20%. Kod prirodnog sušenja predparene daske postignu sadržaj vode od 35% za približno 40% kraće vrijeme od kontrolnih (netretiranih) dasaka. Smanjenje vremena sušenja bilo je veće od očekivanog. Prilikom ranijih američkih pokusa, parenje je samo kod svježe hrastovine ubrzavalo sušenje (C i v i d i n i, 1963). Izvještaji engleskih istraživača (F o r. P r o d. R e s. L a b., 1940) pokazuju da parenje ne skraćuje signifikantno prirodno ili umjetno sušenje engleske bukovine. Ispitivanjima je ustanovljeno (G o n e t, 1963 i 1964) da se pa-

reno drvo brže suši i uteže, a navlažuje i bubri polaganije od neparenog drva. Pored toga laboratorijskim ispitivanjem ustanovljeno je, da parenje uzrokuje povećano utezanje i bubrenje. Povećanja ovisе o primjenom tlaku i vremenu trajanja parenja. Kod prirodnog sušenja iste kvalitete parenog i neparenog drva, ustanovljene su razlike u sadržaju vode tokom prvog mjeseca u iznosu od 1—2%. Brižljivim pregledom i mjerenjem prije i poslije sušenja, utvrđeno je da pareno drvo ima veću sklonost vitopere-nju te nešto povećano utezanje. Nakon prirodnog sušenja ili poslije klima-tizacije parena bukovina (K u b i n s k y, 1956) stabilizira se pri nižoj ravnotežnoj vlažnosti od neparene, a umjetno osušena na apsolutno suho stanje pokazuje manje konačno utezanje. Površinsko sušenje, uzrokovano hlađenjem drva nakon završenog procesa parenja nije prednost ni za prirodno ni za umjetno sušenje (G o n e t, Krzysik i Szmit, 1960). Prisutna opasnost pojave pukotina traži blaže režime sušenja. Djelomičnim odstranjenjem u vodi lako topivih i bubrivih pektina i nekristaliziranih (amorfnih) drvnih polioza objašnjava se također poboljšanje nekih tehnoloških svojstava drva. Utjecaj ovih supstanci očituje se naročito jako u promjenama higroskopskih stanja ravnoteže. Kako amorfne polioze posjeduju najjaču sorpcionu snagu, smanjenje ravnotežnog sadržaja vode znatno je veće od njenog udjela u odnosu na ukupnu drvnu tvar. Ravnotežni sadržaj vode za pareno drvo nešto je niži od neparenog pod određenim atmosferskim stanjem (F o r. P r o d. R e s. L a b., 1940; Lukić, 1952 i K u b i n s k y, 1956). Ovo je smanjenje proporcionalno s dužinom trajanja parenja i primjenjenom temperaturom (K u b i n s k y, 1956). Jasnо je da smanjena higroskopska ravnoteža ima utjecaj na smanjeni rad drva. Vлага ravnoteže parenog drva leži kod uobičajenih vлага stalno niže od neobrađenog drva. Nosioci bubrenja su amorfne polioze (pentozani + heksozani + poliuronidi). Lignin sprečava bubrenje i utezanje celuloze i holoceluloze (drvne polioze + celuloza) kod normalnog drva. Anizotropija bubrenja drva u poprečnom smjeru tumači se nagomilavanjem drvnih polioza i pektina u sastavlјenu središnju lamelu (N e c e s a n y, 1961).

Utjecaj parenja na bubrenje ovisi o dužini parenja (K u b i n s k y, 1956). Bubrenje se povećava u tangencijalnom smjeru do 15 sati, a u radijalnom do 3 sata parenja. Veće je povećanje u % u radijalnom smjeru u odnosu na tangencijalni smjer. Osjetljivije povećanje koeficijenta bubrenja (H r i b a r, 1962) izaziva bestlačno parenje kroz 120 sati, zatim tlačno parenje s 2 bara i to od 35 sati na više, te tlačno parenje s 3,5 bara od 10 sati na više. Drvni traci kod preparednog drva jako su valoviti. Čini se da je drvo izvrgnuto radijalnom utezanju. Veza između pojedinih stanica je olabavljena. Pareno drvo polaganije prima vlagu i bubri od neparenog drva. Provedena su istraživanja u laboratorijskim i pogonskim uvjetima (G o n e t, 1963 i 1964) sa zadatkom da se ustanove razlike brzine bubrenja i iznosa bubrenja parenog i neparenog drva. Razlike su bile u skladu s gornjim iako jedva signifikantne. Istraživanja u laboratoriju (G o n e t, 1963) pokazala su da u potpuno zasićenoj atmosferi upija pareno drvo do ravnoteženog stanja isto toliko vlage kao i nepareno, no proces adsorpcije traje međutim duže vrijeme.



Prilikom ispitivanja adsorpcije vlage u vlažnoj atmosferi, u sklopu istraživanja promjena svojstava drva kod parenja (Kollmann, 1939), na parenom materijalu ustanovljeno je polaganije primanje vlage, kao i bubrenje, u usporedbi s neparenim materijalom. U zaključku istraživanja o utjecaju parenja na bubrenje i utezanje bukovog drva (Kubinsky, 1956) iznešeno je da neki specijalisti za drvo kao i potrošači pripisuju parenju smanjenje bubrenja i utezanja. Rezultati navedenog istraživanja pokazuju očitu zavisnost »r a d a« drva od vremena parenja. S produženim trajanjem parenja, bubrenje bukovog drva se povećava. Isto se tako povećava i utezanje parenog bukovog drva. Istraživanjima na bukovini (Perkitny, Lawniczak i Marciniak, 1959) ustanovljeno je da parenje drva pridonosi povećanju stabilizacije dimenzija strukture drva dok je kod prethodno navedenog rada (Kubinsky, 1956) određeno smanjenje bubrenja postignuto kod drva koje je samo kratko vrijeme pareno. U istraživanjima fizičkih i mehaničkih svojstava parene i neparene bukovine (Lukić, 1952) ustanovljeno je da se parenjem bukovine u zasićenoj pari pri temperaturi od 102 °C povećava volumno utezanje i čvrstoća na savijanje, dok se čvrstoća na tlak smanjuje. Istraživanja u vezi stabilizacije dimenzija bukovine pod utjecajem parenja (Gonet, 1962) pokazala su povećano bubrenje i utezanje. Pareno drvo imalo je veće dimenzije nego svježe drvo. U radijalnom smjeru promjene su negativne, a u tangencijalnom pozitivne. Pareno drvo je nešta postojanije na vlagu od neparenog, pa mu se u odgovarajućoj mjeri smanjuje i mogućnost raspucavanja, izazvana unutrašnjim naprezanjima. Promjene mehaničkih svojstava pri parenju kod temperatura od 100 do 140 °C praktički su bez značenja. Volumno utezanje od sirovog do zračno suhog stanja (Lukić, 1952) iznosilo je kod parene bukovine 11,94%, a kod neparene bukovine 7,22%. Sadržaj vode u drvu označen kao zračno suho stanje razlikovao se pri tome za 2,3%, tj. u prvom slučaju iznosio je 16,6%, a u drugom 18,9%. Prilikom ispitivanja higroskopsnosti i utezanja parene bukovine (Gonet, 1964) nije ustanovljena razlika između parenog i neparenog drva. Istraživanja britanskog Instituta (For. Prod. Res. Lab., 1940) dokazuju da su promjene dimenzija uslijed promjene atmosferskih uvjeta kod parenog i neparenog drva uvijek iste. Istraživanja slobodnog bubrenja kao i linearnog tlaka bubrenja (Perkitny, Lawniczak i Marciniak, 1959) vršena su na parenim i neparenim uzorcima koji su uranjeni u vodu temperature 20 °C. Pareno drvo nabubrilo je nakon oštrog sušenja na isti iznos kao i nepareno. Maksimalna vrijednost slobodnog bubrenja nije smanjivana da pače i nešto je povećana prethodnim procesom parenja. Pareni su uzorci pokazivali značajno i kontinuirano smanjenje njihovog maksimalnog tlaka bubrenja.

Normalno pareni uzorci pokazuju izraženo opadanje higroskopsnosti, u usporedbi s neparenim uzorcima. To vrijedi prije svega za bubrenje u prvih 15 sati. Ovdje je potrebno spomenuti da dolazi do iznenađujuće jakog bubrenja preparenih uzoraka (Kohler, 1959).

Parenjem bukovine mogu biti čvrstoća kao i elastičnost u odnosu na nepareno drvo povećani. Ta svojstva teže jednom izraženom optimumu čije vremensko nastupanje ovisi o visini temperature parenja. Na-

kon prekoračenja optimuma nastupaju vrlo brzo prvi znaci preparenja (Plath i Plath, 1957). Poznato je da se javlja permanentno smanjenje čvrstoće kad se drvo u svježem stanju izvrgne kroz duže vrijeme visokoj temperaturi. Toplinska razgradnja 2 puta je veća prilikom parenja, nego kod zagrijavanja u suhom stanju (Stamm, 1956). Parenje u bestlačnim parionicama snizuje sve vrste određivanih čvrstoća izrazitije samo u vlažnom materijalu i to općenito tim jače, što je trajanje parenja bilo duže. I kod parenja pod tlakom jače se smanjuje čvrstoća na tlak i čvrstoća na savijanje ako se radi o drvu koje ima velik postotak sadržaja vode na početku parenja, dok se kod drva s malim postotkom sadržaja vode na početku parenja znatnije snizuje samo čvrstoća u tangencijalnom smjeru (Hribar, 1962). Kod tlačnog parenja dolazi ne samo do poželjne promjene boje drva već lako dolazi (zbog visoke temperature i dugog parenja) i do negativnih promjena u kemizmu, strukturi, mehaničkim, higroskopskim i ostalim svojstvima drva. Ova se opasnost povećava s porastom temperature parenja. Promjene boje kod parenja su znak kemijskih promjena koje mogu imati utjecaj na čvrstoću. Kod parenja s pretlakom i s temperaturom iznad 100 °C trpi drvo jake gubitke u čvrstoći (Kollmann, 1939), međutim kod parenja ispod 100 °C pojava smanjenja čvrstoće dolazi tek nakon vrlo dugog parenja. Neznatno smanjenje čvrstoće dolazi već kod normalnih uvjeta parenja (Kollmann, 1939 i Kohler, 1959). Parenje u produženom trajanju ne donosi nikakva poboljšanja, već suprotne pojave (Kubinsky, 1971a). Kod hrastovine npr. produženo parenje rezultira povećanim utezanjem, koje može dovesti do pojave kolapsa.

#### PROMJENE U SADRŽAJU VODE DRVA ZA VRIJEME PARENJA — CHANGES IN WATER CONTENT OF WOOD DURING STEAMING

Pojedini autori se ne slažu u ocjeni, kada zapravo dolazi do smanjenja u sadržaju vode drva za vrijeme parenja. Provedena su istraživanja na orahovini parenoj zbog promjene boje (Brauner i Conway, 1964) koja ukazuju da je, povećanje ili gubitak u sadržaju vode, relativno nesignifikantno u prva 24 sata parenja. Najveće povećanje u sadržaju vode prethodno osušenog drva parenog kroz 24 sata kod temperature od 110 °C iznosilo je 12%, dok je najveći gubitak u sadržaju vode sirovog drva parenog u istim uvjetima iznosio 10%.

Parenjem drvo gubi vodu najviše na početku samog procesa, tj. u toku zagrijavanja (Veil, 1964). Istraživanjem parenja bukovine utvrđeno je da drvo sa visokim početnim sadržajem vode (75 do 86%) gubi vodu sve do iznosa od 48 do 55%. U tom slučaju nastaje gubitak u sadržaju vode prilikom parenja u prosjeku za 27%. Drvo sa niskim sadržajem vode (16.6 do 25.8%) povećava tokom parenja sadržaj vode na 44 do 55,1%. Nadalje je utvrđeno da su promjene u sadržaju vode (gubitak odnosno povećanje) u prvoj fazi parenja vrlo znatne. Na osnovu tih podataka zaključuje se, da se prilikom parenja bukovine s bilo kojim početnim sadržajem vode drva, sadržaj vode u toku parenja izjednačuje tako da sav pareni materijal postiže sadržaj vode od 45 do 55% (Zaharževskij, 1949). Jednolika

vlažnost parenog drva omogućuje kod impregniranja pragova i drugih proizvoda, jednoličnije dubine prodiranja. Rezana građa koja u svježem stanju pokazuje velike razlike u sadržaju vode, trebala bi nakon parenja biti osušena teoretski jednoličnije i sa manjim razlikama u sadržaju vode od neparene. Ranije se smatralo da sadržaj vode u drvu pri normalnim uvjetima parenja postiže uravnoteženo stanje koje se nekoć prema ranijim navikama označavalo kao točka zasićenosti vlakanaca (Kollman n. 1939). Danas znamo da se ovdje ne radi o točki zasićenosti vlakanaca budući je higroskopsko područje pređeno. Autor (Kollman n. 1939) također navodi da u koliko se sažmu ukupni rezultati može se reći da se kod parenja, uz prisustvo kondenzata, postiže sadržaj vode od 40 do 50% kao postojano stanje. U zasićenoj pari, koja se kreće, jasenovina (bez upijanja slobodne vode) postiže sadržaj vode od 25% kao ravnotežno stanje. Izveden je poseban niz pokusa sa svrhom da se kod visokih tlakova mogućnost upijanja vode iz kondenzata posve isključi ili bar smanji. U tu se svrhu stvoreni kondenzat kod svakog međumjerenja u toku parenja, posebnom napravom odvede. Sada drvo nastoji postići ravnotežno stanje od 25% sadržaja vode, bez obzira na vrstu drva i tlak pare. Praktički dolazi do povišenja u sadržaju vode uslijed kapilarne kondenzacije i upijanja. To postojano stanje kod primjenjenih vremena parenja (do 2 sata) ne prelazi 30%.

Prema ispitivanjima provedenim na bukovim poprugama (Ham m, 1953) može se uzeti da će konačni sadržaj vode drva na kraju parenja iznositi oko 50%. Ogledi parenja pod tlakom (Zaharževskij, 1949) provedeni u laboratorijima CNIIMOD\* dali su slijedeće rezultate:

a — Proces parenja bukovine pod tlakom ima također 3 faze kao i parenje bez tlaka.

b — Dužina trajanja parenja u prvoj i trećoj fazi ostaje ista kod oba načina parenja. Trajanje druge faze znatno se skraćuje.

c — Povećanjem tlaka pare prilikom parenja sadržaj vode u drvu se smanjuje. Sadržaj vode u drvu nakon 24 satnog parenja ostaje konstantan. Za tlak pare od 1,003 bara (30,1 mm H<sub>2</sub>O) sadržaj vode drva približava se vrijednosti od 50%, za tlak pare od 2 bara ustanovljen je konstantni sadržaj vode od oko 40%, dok za tlak pore 3,7 bara sadržaj vode iznosio je oko 30%. Ustanovljeno je da sadržaj vode u drvu, prilikom parenja postiže uravnoteženo stanje. Uravnoteženi sadržaj vode smanjuje se povećanjem temperature (tlaka).

Prilikom istraživanja toka temperature u zagrijanom trupcu za vrijeme njegovog hlađenja autori (Ilić i Misilo, 1965) su zaključili da u toku hidrotermičke pripreme trupaca dolazi do promjena u sadržaju vode drva. Trupci se prilikom parenja ponašaju analogno kao i piljeno drvo, s tim što se s obzirom na kraće trajanje, ne može očekivati konačni sadržaj vode od 50%. U drugom svom radu autor (Ilić, 1966) navodi da, bez obzira o kojem se načinu pripreme radi, sadržaj vode drva pokazuje tenden-

\* CNIIMOD (Centralni naučno-istraživački institut mehaničke obradke drveta)

ciju ustaljivanja na 50 do 55%. Vremensko kratko trajanje priprema ne dozvoljava postizanje ovog sadržaja vode, ali je očito iz svih podataka da kod nižeg početnog sadržaja vode dolazi do povećanja, a kod višeg do smanjenja.

Novija kao i neka ranija istraživanja u svijetu dala su suprotne rezultate. Tako je nakon parenja svježje bukovine debljine 40 mm, ustanovljen sadržaj vode drva između 54 i 100% (F o r. P r o d. R e s. L a b., 1940). Djelomično sušenje koje nastaje za vrijeme parenja, ovisno je o početnom sadržaju vode i debljini obrađenog drva. Smanjenje u sadržaju vode uslijed trodnevnog parenja, svježih piljenica debljine 25 mm, iznosi prosječno 12% s maksimumom od 20% (F o r. P r o d. R e s. L a b., 1940). Parena bukovina podesnija je za sušenje od neparene, jer posjeduje ravnomjernu vlažnost, a proces sušenja je ravnomjerniji. Sadržaj vode u bukovim piljenicama nakon parenja u klasičnim parionicama (P a v i ć i M a r i n k o v i ć, 1971) kretao se u granicama od 31,8 do 82,9%. Provedena su istraživanja u laboratorijskim i pogonskim uvjetima (G o n e t, 1963) na temelju kojih autor zaključuje da srazmjerno s povećanjem tlaka za vrijeme procesa parenja, sadržaj vode u drvu opada. Vrijeme trajanja procesa parenja nema utjecaja na smanjenje u sadržaju vode drva. Prosječni sadržaj vode u drvu nakon parenja nalazi se unutar granica od 54 do 100%. U vezi s prednjim autor navodi da očekivani sadržaj vode u drvu od oko 40%, kao što se spominje u literaturi, nije ustanovljen. Za vrijeme predparenja eukaliptovine (C a m p b e l l, 1961) sa početnim sadržajem vode od oko 100%, ustanovljeno je smanjenje u sadržaju vode od 5 do 20%. Istraživanja s eukaliptovinom debljine 25 mm koja je predparena u svježem stanju za vrijeme od 6, 12, 24 ili 48 sati, utvrdila su smanjenje od 10 do 12% sadržaja vode. Trupci prilikom parenja imaju relativno visok početni sadržaj vode. Istraživanja vršena na bukovini (K o l l m a n n i H a u s m a n n, 1955) pokazala su da je, za vrijeme parenja trupaca indirektnim načinom, sadržaj vode umanjen za prosječno 10% u centralnom, a za prosječno 20% u perifernim dijelovima.

Prilikom ispitivanja higroskopnosti i utezanja parene bukovine (G o n e t, 1964), autor je kod parenja drva s početnim sadržajem vode od 68% ustanovio, nakon završnog procesa parenja, konačni sadržaj vode od 54%. Smanjenje u sadržaju vode tokom parenja iznosilo je dakle 14%. Uspoređujući svoje rezultate s rezultatima iz literature ustanovio je naslaganje. Prema postojećoj literaturi srednji sadržaj vode u drvu nakon završnog procesa parenja trebao je iznositi približno 40%, a on je tek kao minimalnu vrijednost u svojim rezultatima ustanovio konačni sadržaj vode u drvu od 43%.

Najveći gubitak vode u drvu, parenom kod temperature od 110 °C kroz 24 sata (B r a u n e r i C o n w a y, 1964) iznosio je 10%. Maksimalno povećanje sadržaja vode kod umjetno osušenog drva, parenog kod temperature od 110 °C kroz 24 sata iznosilo je 12%. Zračno suho drvo pokazivalo je samo malu promjenu u sadržaju vode, parenjem kod bilo koje temperature.

Parenje sirovog drva uzrokuje smanjenje sadržaja vode isparivanjem za vrijeme zagrijavanja, kao i direktnim istiskivanjem vode ekspanzijom

zračnih mjehurića unutar drva. Nakon što je drvo izvezeno iz parionice, smanjenje u sadržaju vode se nastavlja isparivanjem za vrijeme hlađenja (Ellwood i Erickson, 1962).

U istraživanju odnosa sadržaja vode u piljenoj bukovini prije i nakon parenja, (Pavlin, 1968) ustanovljeno je da će drvo s početnim sadržajem vode  $X\%$ , imati nakon parenja, smanjen sadržaj vode u prosjeku za  $Y = 0,38 (X - 50)$ , što znači da će gubitak vode nakon parenja iznositi u prosjeku  $38\%$  od  $(X - 50)$ , tj. od količine vode iznad  $50\%$ .

#### POSTAVLJANJE ZADATKA — SETTING A TASK

Iz prethodnog poglavlja (promjene u sadržaju vode drva za vrijeme parenja) vidljivo je da postoje različita mišljenja o sadržaju vode u drvu nakon parenja. Prilikom istraživanja sadržaja vode u bukovim piljenicama prije i nakon parenja (Pavlin, 1968), kod temperature od približno  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  i relativne vlage od približno  $100\%$ , ustanovili smo ovisnost početnog i konačnog sadržaja vode. Gubitak vode nakon parenja prema navedenom istraživanju ovisi o početnom sadržaju vode u drvu prije parenja, te iznosi u prosjeku  $38\%$  od količine vode iznad  $50\%$ . Na osnovu toga zaključili smo (Pavlin, 1968) da možemo odbaciti tvrdnju da će sadržaj vode u drvu nakon parenja biti u granicama od 44 do  $55\%$ , ili u prosjeku oko  $50\%$ . Također nismo mogli prihvatiti tvrdnju da je gubitak u sadržaju vode nakon parenja u prosjeku  $14\%$  od početnog sadržaja vode.

Na osnovu dosadašnjih saznanja o parenju drva, našeg prethodnog rada kod uobičajenog tlaka parenja (Pavlin, 1968) i navedenih neslaganja u rezultatima dosadašnjih istraživanja o sadržaju vode nakon parenja, postavljeno je kao osnovni zadatak istraživanja u ovoj radnji da se ustanovi ovisnost konačnog sadržaja vode parene bukovine o početnom sadržaju vode i primjenjenom tlaku odnosno temperaturi za vrijeme parenja piljene bukovine. Kako za praktičnu primjenu dolaze u obzir samo relativno mali tlakovi, u ovom istraživanju izabrano je kao područje tlakova područje od 1 do 4 bara. Budući se kod nas parenje svježije piljene bukovine vrši isključivo zbog promjene boje, u ovom radu zadatak je ograničen na promatranje odnosa između početnog sadržaja vode, konačnog sadržaja vode i relativnih gubitaka sadržaja vode u procesu parenja, koji je vremenski ograničen postizavanjem određene boje dobro parenog drva kod uobičajenog postupka parenja.

#### METODA RADA — METHOD OF WORK

##### 1. Određivanje režima parenja — Determination of steaming procedure

Kako vrijeme trajanja procesa parenja, potrebno za dobivanje odgovarajuće boje drva, ovisi o temperaturi pare i njezinom tlaku, prethodno je bilo potrebno odrediti režim parenja za svaki tlak.

Potrebno vrijeme za dobivanje boje parenog drva kod različitih tlakova, dobivena su pokusima na taj način da su za pojedini tlak vršeni procesi parenja s različitim trajanjem. Postepeno su se razlike trajanja pojedinog procesa smanjivale unutar intervala od 1 do 5 minuta. Na taj način se ustanovilo optimalno vrijeme za odgovarajući uzorak. Utvrđena vremena parenja za pojedine tlakove od 1 do 4 bara bila su fiksna u daljnjem istraživanju.

Procjene boja parenog drva prilikom određivanja režima parenja, vršene su na tri načina:

a) vizuelno, upoređivanjem boje pojedinih uzoraka s bojom uzoraka, normalno parene bukovine u parionicama

b) vizuelno, upoređivanjem boje pojedinih uzoraka s uzorcima skala boja (Seguy, 1936)

c) pomoću spektrofotometra za reflektirano svjetlo (»EEL« Unigalvo type 20 — reflectance spectrophotometer).

Ljudsko oko zapaža samo »vidljivo« zračenje, tj. elektromagnetske valove od približno 380 — 760 nm (nanometar). Zračenje svake pojedine dužine vala, podražavajući na različiti način prijemne mehanizme oka, daju utisak određene boje. Osnovne karakteristike svake boje su njezin ton (ovisan o valnoj dužini emitiranog odnosno reflektiranog zračenja), svjetlina (ovisna o intenzitetu zračenja) i zasićenost (ovisna o čistoći boje).

Većina objekata ne reflektira sve valne dužine jednako (Sears, 1963). Njihova refleksija (tj. onaj dio upadne svjetlosti koji se reflektira) funkcija je valne dužine. Metoda mjerenja refleksije jednog objekta na svakoj valnoj dužini čini dio nauke koja se zove spektrofotometrija. Izraz »boja objekta« uključuje poznavanje refleksije, dominantne valne dužine i zasićenosti za odgovarajući izvor svjetla. Tipičan postupak spektrofotometrijske analize, sastoji se u tome da se bijelo svjetlo pogodnog izvora rastavi na spektar. Iz tog se spektra izolira svjetlo podjednakih valnih dužina i tako dobiveni snop monokromatskog svjetla (svjetla jedne boje) razdjeli na dvije zrake. Jedna se baca na površinu ispitivanog uzorka a druga na bijelu površinu, koja reflektira praktično svekoliko svjetlo što na nju pada. Svjetlosni tokovi reflektirani s ovih dviju površina bit će različiti i oni se mogu pogodnim fotometrijskim postupkom (uz upotrebu oka, galvanometra, ili fotografske ploče) uporediti. Njihov omjer naziva se spektralna refleksija u upotrebljenom dijelu spektra.

## 2. Sirovina — Raw material

Pilana DIP — Turopolje iz koje je uziman materijal za istraživanja, nabavljala je trupce iz gospodarskog područja Samoborsko gorje, gospodarske jedinice Sječevačka gora. To je sirovina iz predjela koji su tek u posljednje vrijeme zahvaćeni šumsko uzgojnim mjerama i eksploatirani. To su mješovite sastojine obične bukve i hrasta. Promjer trupaca mjeren na pilani iznosio je cca 50 cm, s izrazito jako povećanom smeđom jezgrom u kombinaciji s mraznom srži. Ova je bukovina sklona pojavi deformacija prilikom parenja i sušenja.

Prilikom određivanja režima parenja za pojedini tlak korištena su 72 uzorka. Kako je svaki uzorak izrađen iz zasebne piljenice to je ukupan broj korištenih piljenica iznosio 504 komada ( $72 \times 7 = 504$ ). Za osnovna istraživanja (određivanje početnog i konačnog sadržaja vode u drvu kao i određivanje nominalne volumne težine) korišten je kod pojedinog tlaka različit broj uzoraka odnosno piljenica (tabela 1, sl. 1 i 2). Ukupni broj piljenica za osnovna istraživanja iznosio je 602 komada.

Tab. 1.

Broj uzoraka za pojedine tlakove — Number of samples for individual pressures

Tlak Pressure (bar)	Broj uzoraka Number of Samples (komada-pieces)
1	139
1.5	105
2.0	40
2.5	77
3.0	42
3.5	79
4.0	120
UKUPNO — TOTALLY	
	602

### 3. Oprema — Equipment

Svi procesi parenja izvršeni su u autoklavu \*Küster, unutarnjih dimenzija  $\varnothing 40$  cm,  $h = 75$  cm,  $V = 0,0942$  m<sup>3</sup>. Autoklav je opremljen plin-skom grijalicom, termometrom, manometrom, sigurnosnim ventilom, odušnim ventilom i ventilom za ispuštanje kondenzata.

Pred svaki proces parenja u autoklav je stavljena svježa destilirana voda. Ona je zauzimala cca 10% njegovog volumena. Iznad destilirane vode, na visini 15 cm od dna, nalazio se je perforirani metalni podložak kružnog oblika. Na podložak stavljena su prvo 2 komada drva, a tek na njih određeni uzorci za pojedini proces parenja. Oni su štitili uzorke od direktnog dodira s metalom.

Prilikom zagrijavanja autoklava, u početnom radu pojedinog procesa parenja, isti je bio otvoren sve dok temperatura destilirane vode nije postigla temperaturu 50—60 °C. Tada su stavljene određeni uzorci u autoklav. Od tog momenta autoklav je zatvoren i čvrsto stegnut stegačima sve do kraja procesa parenja, jedino je odušni ventil ostao otvoren kako bi mješavina zraka i vodene pare mogla izlaziti. Temperatura u autoklavu rasla je postepeno tako da je od njegovog zatvaranja do postizanja temperature od cca 100 °C prošlo u pravilu 30 min. Od tog vremena, tj. vremena kada je temperatura u autoklavu dosegla približno 100 °C pa do zatvara-

\* Küster (G. m. b. H.) Berlin N. 65

nja odušnog ventila prošlo je još 5 min. Tada je tek zatvoren i odušni ventil. Temperatura u autoklavu postepeno je sada rasla i dalje sve do željene temperature tj. do temperature pri kojoj je vođen pojedini proces parenja.

Kontrolirano je vrijeme održavanja određenog režima. Temperatura odnosno tlak pare u autoklavu, za vrijeme procesa, kontrolirani su termometrom odnosno manometrom.

Nakon završetka parenja, tj. po isteku određenog vremena koje je zadano, za pojedine tlakove, isključeno je zagrijavanje autoklava. Uslijed toga temperatura u autoklavu postepeno se smanjivala. Tek kada je temperatura u autoklavu pala na cca 100 °C otpušteni su stegači i otvaran je odušni ventil. Hlađenje sistema nastavljeno je uz još uvijek zatvoreni poklopac. Kada je temperatura pala na cca 60 °C otvaran je poklopac i vađeni su pareni uzorci.

Nakon svakog završenog procesa parenja, ispuštan je kondenzat iz autoklava.

#### 4. Odabiranje uzoraka i sam rad — Selection of samples and testing

Od slučajno odabranih piljenica na pilani neposredno nakon piljenja trupaca, odrezan je od svake pojedine piljenice odrezak dužine cca 50 cm (sl. 1). Iz tog odreska, neposredno uz rez, izrađen je tzv. mali uzorak za određivanje nominalne volumne težine drva ( $t_n$ ), dimenzija 2 cm x 2 cm x 3 cm. Iz preostalog dijela piljenice, počevši od samog prethodnog reza, izrađen je komad drva s dužinom 34 cm, širinom 7 cm i debljinom 2,5 cm. Oba su čela neposredno nakon izrade premazana silikonskom gumom. Na taj je način spriječen nagli gubitak vode u longitudinalnom smjeru.

Budući da smo u ovom radu željeli promatrati odnose između početnog sadržaja vode, konačnog sadržaja vode i relativnih gubitaka sadržaja vode u procesu parenja, bilo je potrebno u uzorcima postići različit početni sadržaj vode. Razlike u početnom sadržaju vode u komadima drva (iz kojih su kasnije izrađeni uzorci za proces parenja) dobivene su, ostavljanjem složenog drva u zatvorenom prostoru, tokom zime kroz različito vrijeme (do 40 dana).

Neposredno pred hidrotermičku obradu od svakog komada drva, s oba čela odstranjeni su odresci dužine cca 5 cm (sl. 1). Osim toga je odrezan i tzv. mali uzorak dužine cca 5 cm, koji je poslužio za određivanje početnog sadržaja vode ( $u_p$ ) u pojedinom uzorku (sl. 1).

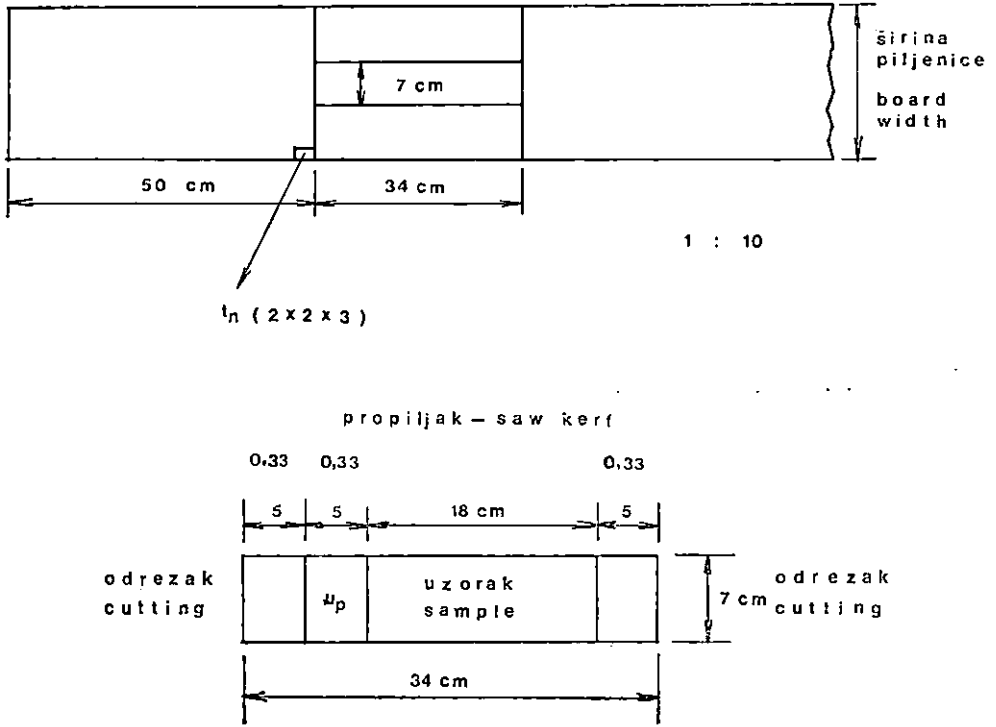
Ostatak drva, označen kao uzorak za pojedine procese parenja ponovo je premazan s oba čela silikonskom gumom zbog sprečavanja naglog sušenja u longitudinalnom smjeru.

Ovako pripremljeni uzorci za parenje, dimenzija dužine 18 cm, širine 7 cm i debljine 2,5 cm stavljeni su u procese pod različitim (odgovarajućim) tlakovima.

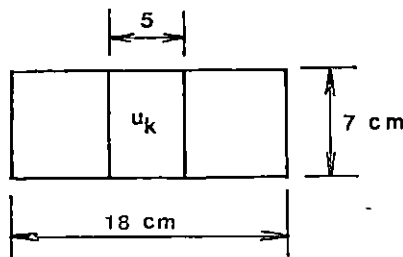
Konačni sadržaj vode u parenom drvu ( $u_k$ ) ustanovljen je neposredno nakon parenja. Iz sredine svakog parenog uzorka (sl. 2), ispiljen je mali uzorak dužine 5 cm.

Mali uzorci za određivanje početnog i konačnog sadržaja vode ( $u_p$  i  $u_k$ ) su neposredno nakon izrade označeni i vagani. Kasnije su osušeni u su-





Sl. 1. Izrada uzoraka prije parenja — Fig. 1. Making of samples before steaming



Sl. 2 Izrada uzoraka nakon parenja — Fig. 2. Making of samples after steaming

šioniku do apsolutno suhog stanja (pri temperaturi od  $103 \pm 2$  °C). Na taj su način gravimetrijskom metodom dobiveni podaci o sadržaju vode drva u sirovom stanju ( $u_p$ ) i neposredno nakon parenja ( $u_k$ ).

Mali uzorci, označeni na sl. 1 oznakom » $t_n$ «, obrađeni su u prizme približnih dimenzija 2 cm x 2 cm x 3 cm u sirovom stanju. Kasnije su fino obrađeni te stavljeni u vodenu kupelj. Iz tih je uzoraka određena nominalna volumna masa prema formuli:

$$t_n = \frac{T_o}{V_s}$$

$T_o$  : masa apsolutno suhog drva

$V_s$  : volumen sirovog drva

Volumeni ( $V_s$ ) izmjereni su u napojenom stanju pomoću volumenometa na bazi žive. Stavljanjem u sušionik i sušenjem kod  $103 \pm 2$  °C do apsolutno suhog stanja, određene su mase uzoraka ( $T_o$ ).

Broj piljenica korištenih za osnovna istraživanja dan je u tabeli 1. Broj piljenica (za pojedini tlak i ukupno) poklapa se s brojem odrezaka dužine 50 cm, malih uzoraka za određivanje nominalne volumne mase komada drva dužine 34 cm, malih uzoraka dužine 5 cm (za određivanje početnog sadržaja vode), uzoraka za parenje (dužine 18 cm) i malih uzoraka dužine 5 cm (za određivanje konačnog sadržaja vode).

#### 5. Statističke metode (obrada podataka) — Statistical methods (data processing)

Budući da smo imali namjeru istraživati oblik i čvrstoću stohastičke veze između:

1. konačnog sadržaja vode ( $u_k$ )
2. razlike između početnog i konačnog sadržaja vode ( $u_p - u_k$ )
3. relativnog gubitka sadržaja vode s obzirom na početni sadržaj vode

$$\left( \frac{u_p - u_k}{u_p} \right)$$

4. relativnog gubitka sadržaja vode  $\left( \frac{u_p - u_k}{u_k} \right)$  s obzirom na ko-

načni sadržaj vode, kao zavisnih varijabli i početnog sadržaja vode ( $u_p$ ) kao nezavisne varijable, to smo za svaku od te četiri kombinacije zavisne varijable pretpostavili tri oblika stohastičke veze. Na taj smo način dobili 12 slijedećih jednadžbi:

$$1. u_k = A + B u_p + C u_p^2$$

$$2. u_k = A + B \ln u_p$$

$$3. u_k = C + Ae^{-\frac{b}{u_p}}$$

$$4. u_p - u_k = A + B u_p + C u_p^2$$

$$5. u_p - u_k = A + B \ln u_p$$

6.  $u_p - u_k = C + Ae^{-\frac{b}{u_p}}$
7.  $\frac{u_p - u_k}{u_p} = A + B u_p + C u_p^2$
8.  $\frac{u_p - u_k}{u_p} = A + B \ln u_p$
9.  $\frac{u_p - u_k}{u_p} = C + Ae^{-\frac{b}{u_p}}$
10.  $\frac{u_p - u_k}{u_k} = A + B u_p + C u_p^2$
11.  $\frac{u_p - u_k}{u_k} = A + B \ln u_p$
12.  $\frac{u_p - u_k}{u_k} = C + Ae^{-\frac{b}{u_p}}$

Objasnit ćemo upotrebu svake od tri pretpostavljene veze.

Parabola daje mogućnost ekstrema. U slučaju da test pokaže da je C jednak nuli, onda se može odabrati pravac. Smatrali smo da, za odabrano područje tlakova od 1 do 4 bara promatrane promjene konačnog sadržaja vode ( $u_k$ ) kao i razlika između početnog i konačnog sadržaja vode ( $u_p - u_k$ ) ovise o početnom sadržaju vode ( $u_p$ ) na taj način da, s povećanjem početnog sadržaja vode stalno ali sve sporije i sporije rastu. Iz tog razloga nismo odmah u razmatranje uzeli i pravac. Logaritamska krivulja degresivno, dakle sve sporije i sporije raste, što bi moglo odgovarati promatranim pojavama. Prirodni logaritam uzeli smo zbog jednostavnosti. Funkcija

$$y = C + Ae^{-\frac{b}{u_p}}$$

ima horizontalnu asimptotu i infleksiju. Aditivna konstanta ( $C = 1,3$ ) u stvari je nepotrebna međutim kako je relativno malena prema vrijednostima  $y$ , ona tu ne smeta. Stavljena je zbog toga što je već postojao program za tu funkciju. Da nam je ta funkcija dala zadovoljavajuće rezultate računali bi preciznije tj. izradili bi program za funkciju

$$y = Ae^{-\frac{b}{u_p}}$$

Četiri različita oblika zavisne varijable odabrali smo zbog toga jer smo željeli promatrati uz odnose početnog i konačnog sadržaja vode ( $u_p$ ,  $u_k$ ,  $u_p - u_k$ ) i njihove relativne odnose

$$\left( \frac{u_p - u_k}{u_p}, \frac{u_p - u_k}{u_k} \right).$$

REZULTATI ISTRAŽIVANJA I OBRADE PODATAKA — RESULTS OF RESEARCH WORK AND DATA PROCESSING

1. Određivanje režima parenja — Determination of steaming procedure

Rezultati procesa parenja, provedenih zbog određivanja optimalnih režima za dobivanje boje parenog drva pod raznim tlakovima, dobiveni pokusima na bukovim poprugama debljine 25 mm prikazani su u tabeli 2.

Tab. 2. Optimalni režimi parenja za odgovarajući tlak — Optimal steaming treatment for adequate pressure

Tlak Pressure  (bar)	Odgovarajuća temperatura Adequate Temperature  (°C)	Potrebno vrijeme parenja Necessary Time of Steaming		Omjeri između faza Ratios Between Stages		
		2. faza 2nd Stage (h)	ukupno Total (h)	1. faza 1st Stage	2. faza 2nd Stage	3. faza 3rd Stage
1	99.1	24	36	1 :	4	: 1
1.5	110.8	19	20.67	1 :	22.8	: 1
2.0	119.6	10	11.83	1 :	10.9	: 1
2.5	126.8	5	7	1 :	5	: 1
3.0	132.9	3.4	5.57	1 :	3.14	: 1
3.5	138.2	2.5	4.83	1 :	2.14	: 1
4.0	142.9	2	4.5	1 :	1.0	: 1

Utvrđena vremena parenja za pojedine tlakove (od 1 do 4 bara) bila su fiksna u daljnjim istraživanjima. Dimenzije uzoraka bile su 7 cm x 2,5 cm x 18 cm. Broj uzoraka za svaki tlak iznosio je 72 komada. Budući da smo promatrali 7 različitih tlakova, ukupni broj uzoraka iznosi 72 x 7 = 504 komada.

Aritmetičke sredine početnog sadržaja vode, ustanovljene neposredno pred početak pojedinog pokusnog parenja za određene tlakove od 1 do 4 bara prikazane su u tabeli 3.

Kao što je rečeno, procjene boje parenog drva prilikom određivanja režima parenja vršene su na tri načina: a) vizuelno, upoređivanjem boje pojedinih uzoraka s bojom uzoraka normalno parene bukovine, b) vizuelno, upoređivanjem boje pojedinih uzoraka s uzorcima skala boja i c) pomoću spektrofotometra za reflektirano svjetlo.

Prethodno iznesena komparacija ovih triju metoda dovela je do slijedećih zaključaka.

Vizuelno upoređivanje boje pojedinih uzoraka s uzorcima skala boja (Seguy, 1936) nije moglo zadovoljiti. Skale boja ne odgovaraju za ovakvu ocjenu boje parene bukovine. Brojevi (oznake) boja, u navedenim skalama boja koje bi eventualno dolazile u obzir, kretale su se u okviru 6

Tab. 3. Aritmetičke sredine početnog sadržaja vode u uzorcima prilikom određivanja optimalnog režima — Arithmetic mean of initial water content in samples during determination of optimal treatment

Tlak Pressurq (bar)	Aritmetičke sredine početnog sadržaja vode Arithmetic Mean of Initial Water Content ( $u_p$ %)
1	75.7
1.5	81.5
2.0	76.1
2.5	79.1
3.0	69.5
3.5	72.4
4.0	76.8

predložaka. Kako ovi predlošci nisu iz iste skupine već s različitim primjesama drugih boja, između kojih ne postoje prelazni tonovi, daljnji rad s njima nije mogao zadovoljiti.

Vrijednosti refleksije dobivene pomoću spektrofotometra su relativni odnosi prema refleksiji od bijelog standarda. Prilikom rada sa spektrofotometrom dobivene su različite vrijednosti refleksije koje su se međusobno razlikovale već s obzirom na pojedina mjesta mjerenja na samom uzorku. Zbog toga smo smatrali da ova metoda neće moći dati zadovoljavajuće rezultate. Vrijednosti refleksije dobivene ovom metodom nisu potpuno točne. Ispitavanja u laboratoriju (Wright, 1969) pokazala su vrlo velika odstupanja prilikom određivanja boje iako su izvršena na instrumentima istog tipa. Na točnost rezultata utiče i nehomogenost površinske strukture drva na promatranom presjeku. Površine uzoraka drva nisu potpuno glatke homogene površine. Drvo sa svojom nehomogenom površinskom strukturom nije prikladan materijal za normalan rad sa spektrofotometrom.

Iz gore navedenih razloga, procjena boje parenog drva u nastavku istraživanja vršena je vizuelno, upoređivanjem boje pojedinih uzoraka s bojom uzoraka normalno parene bukovine u parionicama.

## 2. Nominalna volumna masa — Wood specific gravity

Iz 602 komada malih uzoraka dimenzija 2 cm x 2 cm x 3 cm, označenih na sl. 1 oznakom  $t_n$ , određene su nominalne volumne mase za svaku piljenicu iz koje je izrađen uzorak za pojedini proces parenja.

Nominalne volumne mase bukovine prije parenja za pojedine tlakove prikazane su u tabeli 4.

## 3. Početni i konačni sadržaj vode — Initial and final water content

Broj malih uzoraka za određivanje početnog ( $u_p$ ) i konačnog ( $u_k$ ) sadržaja vode je identičan i iznosi 602 komada. Dimenzije malih uzoraka za određivanje početnog i konačnog sadržaja vode također su iste (7 cm x 2,5 cm x 5 cm).

Tab. 4. Nominalna volumna masa bukovine prije parenja, za pojedine tlakove — Wood specific gravity of beechwood before steaming, for individual pressures

Tlak Pressure (bar)	X min	$\bar{x}$	$\sigma_x$	X max	Standardna greška Standard Error ( $\sigma\bar{x}$ )
1	416 ...	530 ±	36 ...	629	3
1.5	463 ...	529 ±	30 ...	597	4
2.0	460 ...	526 ±	23 ...	571	4
2.5	462 ...	531 ±	26 ...	592	5
3.0	480 ...	533 ±	26 ...	591	5
3.5	470 ...	531 ±	25 ...	591	4
4.0	470 ...	531 ±	28 ...	600	4

Objašnjenja oznaka u tabeli 4 — Explanation of symbols in Tab. 4:

- x min ... minimalna vrijednost — minimum value
- $\bar{x}$  ... aritmetička sredina — arithmetic mean
- $\sigma_x$  ... standardna devijacija — standard deviation
- X max ... maksimalna vrijednost — maximum value
- $\sigma\bar{x}$  ... standardna greška — standard error

Broj uzoraka za pojedini tlak (tabela 1) varira od broja 40 do 139. Pojedina grupa uzoraka za parenje pod različitim tlakovima uzeta je posve slučajno. Tako je broj uzoraka od 40 (paren pod tlakom od 2 bara) mogao biti isto tako podvrgnut parenju pod tlakom od 2,5 bara ili pod tlakom od 3,5 bara.

Za svaki tlak od 1 do 4 bara s razmakom od 0,5 bara, određivan je sadržaj vode prije ( $u_p$ ) i nakon parenja ( $u_k$ ) gravimetrijskom metodom.

Podaci za početni ( $u_p$ ) i konačni ( $u_k$ ) sadržaj vode za pojedine tlakove izneseni su u tabelama 5 i 6.

Tab. 5. Podaci za početni sadržaj vode ( $u_p$ ) za tlakove od 1 do 4 bara — Data for initial water content ( $u_p$ ) for pressures 1 to 4 bars

Tlak Pressure (bar)	X min	$\bar{x}$	$\sigma_x$	X max	Standardna greška Standard Error $\sigma\bar{x}$
1	43.9 ...	79.03 ± 13.17 ...	107.5	1.117	
1.5	40.6 ...	77.70 ± 17.53 ...	122.3	1.710	
2.0	46.2 ...	74.98 ± 14.98 ...	106.0	2.370	
2.5	43.0 ...	77.99 ± 16.59 ...	115.3	1.892	
3.0	42.8 ...	67.46 ± 12.53 ...	96.3	1.934	
3.5	40,7 ...	66.44 ± 14.83 ...	104.1	1.668	
4.0	46.1 ...	69.18 ± 12.22 ...	107.5	1.116	

Tab. 6. Podaci za konačni sadržaj vode ( $u_k$ ) za tlakove od 1 do 4 bara — Data for final water content ( $u_k$ ) for pressures 1 to 4 bars

Tlak Pressure (bar)	X min	$\bar{x}$	$\sigma_x$	X max	Standardna greška Standard Error $\sigma_{\bar{x}}$
1	45.9 ...	67.95 ± 10.98 ...		96.3	.931
1.5	47.7 ...	61.99 ± 7.51 ...		88.7	.733
2.0	38.5 ...	56.73 ± 7.99 ...		72.8	1.264
2.5	35.4 ...	50.63 ± 8.49 ...		74.4	.968
3.0	36.3 ...	46.46 ± 7.37 ...		65.2	1.137
3.5	37.2 ...	50.23 ± 6.62 ...		67.0	.745
4.0	38.9 ...	49.14 ± 5.64 ...		68.4	.515

Objašnjenja oznaka u tabelama 5 i 6 — Explanation of symbols in Tab. 5 and 6:

- X min .... minimalna vrijednost — minimum value
- $\bar{x}$  .... aritmetička sredina — arithmetic mean
- $\sigma_x$  .... standardna devijacija — standard deviation
- X max .... maksimalna vrijednost — maximum value
- $\sigma_{\bar{x}}$  .... standardna greška — standard error

Iz tabele 6 proizlazi da je nakon parenja piljene bukovine konačni sadržaj vode ( $u_k$ ) u opadanju sve do tlaka 3 bara. Za tlakove od 3,5 i 4 bara konačni sadržaj vode ( $u_k$ ) veći je za 3,77% (50,23%—46,43%) odnosno za 2,68% (49,16% — 46,46%) s obzirom na tlak od 3 bara (46,46%). Iz tabele 5 i 6 proizlazi da je, razlika između početnog i konačnog sadržaja vode ( $u_p - u_k$ ), manja kod tlakova od 3,5 i 4 bara za 4,79% (21,00% — 16,21%) odnosno za 0,96% (21,00% — 20,04%) s obzirom na tlak od 3 bara (21,00%).

Raspon početnog sadržaja vode ( $u_p$ ) od 40,6% pa do 122,3% dobiven je u uzorcima za različite tlakove na taj način što je drvo u različitim vremenskim intervalima od piljenja trupaca ulazilo u proces parenja. Osnovna je svrha bila dobiti široko područje početnog sadržaja vode, zbog međusobne komparacije parenja kod različitih tlakova, kao i unutar pojedinog tlaka, s obzirom na područje sadržaja vode u drvu koje dolazi u obzir prilikom parenja u praksi.

#### 4. Obrada podataka — Data processing

Rezultati obrade podataka, dobivenih istraživanjem, svrstani su odnosno prikazani u niz tabele odnosno grafikona.

U tabeli 7 dane su promjene varijance i srednjih vrijednosti početnog i konačnog sadržaja vode za sve promatrane tlakove.

Tab. 7. Promjene varijance i srednjih vrijednosti početnog i konačnog sadržaja vode — Changes of variance and mean values of initial and final water content

Tlak Pressure (bar)	$u_p$	$u_k$	$\sigma^2 u_p$	$\sigma^2 u_k$	$\sigma^2 \bar{u}_p$	$\sigma^2 \bar{u}_k$	$\sigma u_p$	$\sigma u_k$
1	79.03	67.95	173.39	120.58	1.117	.931	13.17	10.98
1.5	77.70	61.99	307.22	56.38	1.710	.733	17.53	7.51
2.0	74.98	56.73	224.48	63.81	2.370	1.264	14.98	7.99
2.5	77.99	50.63	275.11	72.16	1.892	.968	16.59	8.49
3.0	67.46	46.46	157.09	54.38	1.934	1.137	12.53	7.37
3.5	66.44	50.23	219.81	43.78	1.668	.745	14.83	6.62
4.0	69.18	49.14	149.37	31.85	1.116	.515	12.22	5.64

Objašnjenja oznaka u tabeli 7 — Explanation of symbols in Tab. 7:

- $u_p$  ... početni sadržaj vode (‰) — initial water content (‰)
- $u_k$  ... konačni sadržaj vode (‰) — final water content (‰)
- $\sigma^2 u_p$  ... varijanca početnog sadržaja vode — variance of initial water content
- $\sigma^2 u_k$  ... varijanca konačnog sadržaja vode — variance of final water content
- $\sigma^2 \bar{u}_p$  ... varijanca aritmetičke sredine početnog sadržaja vode — variance of the arithmetic mean of initial water content
- $\sigma^2 \bar{u}_k$  ... varijanca aritmetičke sredine konačnog sadržaja vode — variance of the arithmetic mean of final water content
- $\sigma u_p$  ... standardna devijacija početnog sadržaja vode — standard deviation of initial water content
- $\sigma u_k$  ... standardna devijacija konačnog sadržaja vode — standard deviation of final water content

Iz tabele 7 vidi se velika varijabilnost početnog sadržaja vode.

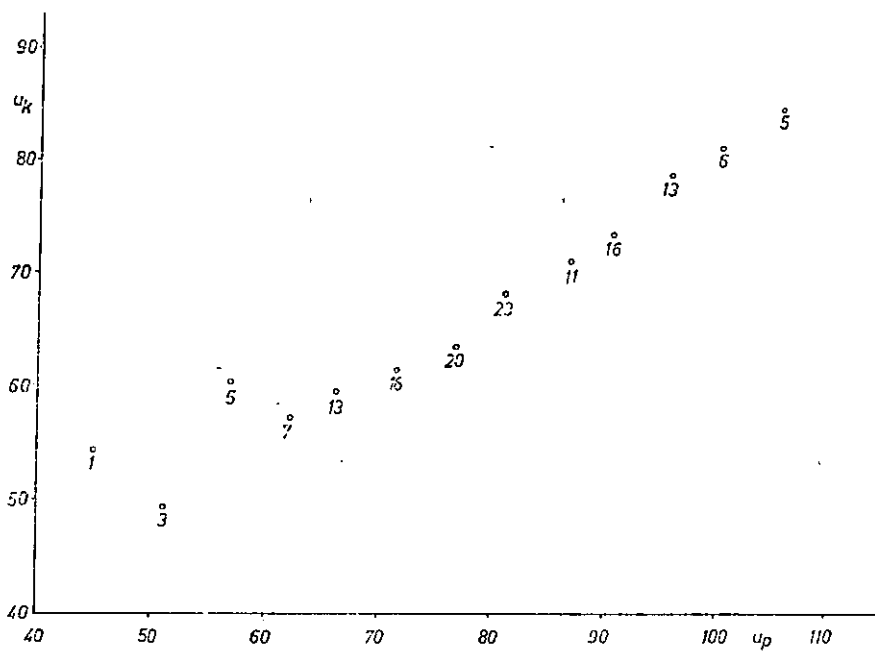
Trendovi svih četiri zavisnih varijabli

$$\left( u_k; u_p - u_k; \frac{u_p - u_k}{u_p}; \frac{u_p - u_k}{u_k} \right)$$

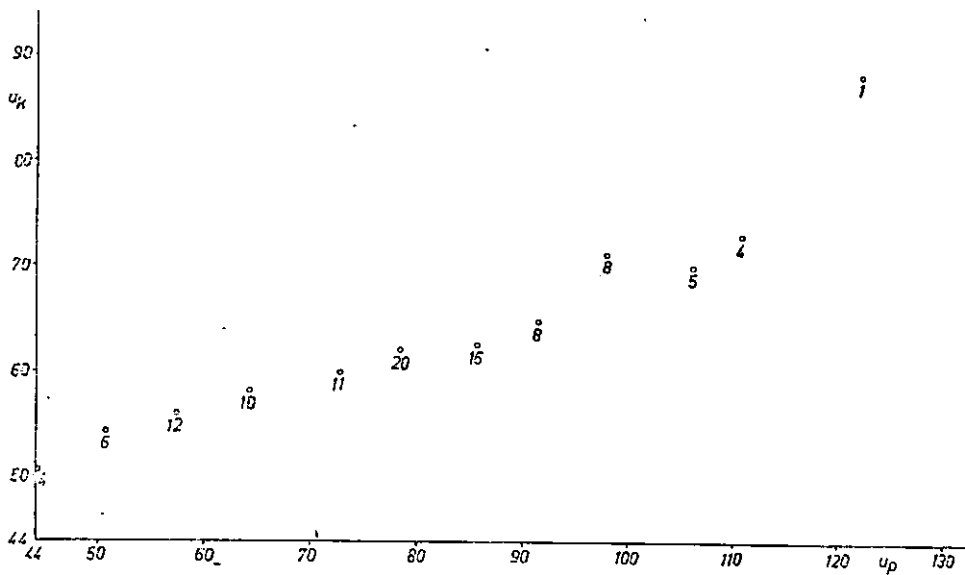
mogu se vidjeti na slikama 3 do 30. Na slikama su nanese srednje vrijednosti različitih promatranih zavisnih varijabli. Kraj svake srednje vrijednosti nanese je njezina težina (broj probe koja se nalazi u toj grupi). Dijagrame smo nacrtali s namjerom da se lako može uočiti tok promatrane pojave. Podaci za izradu dijagrama uzeti su iz originalnih tabela mjerenih podataka.

Iz slika 3 do 30, na osnovu nanešenih srednjih vrijednosti različitih promatranih zavisnih varijabli, može se reći da se s povećanjem početnog sadržaja vode povećavaju vrijednosti u sve četiri promatrane varijable (konačni sadržaj vode, razlika u sadržaju vode i relativni gubici u sadržaju vode s obzirom na početni i konačni sadržaj vode).

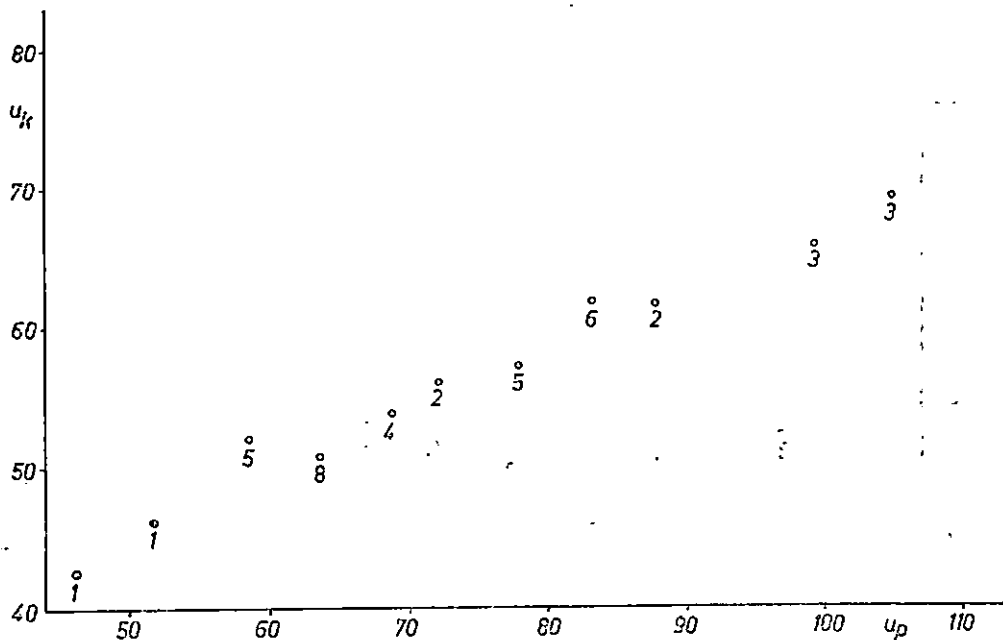




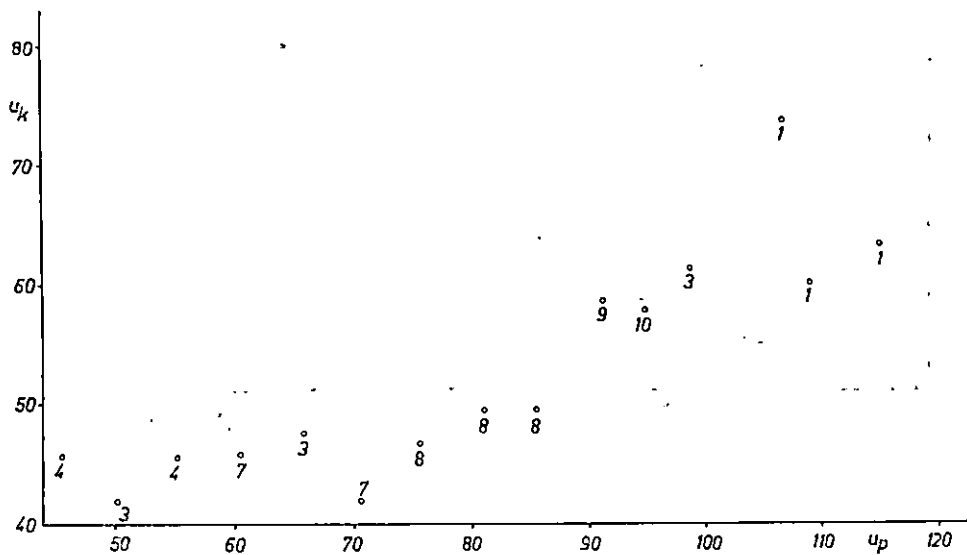
Sl. 3. Tlak 1 bar ( $u_k$ ) — Fig. 3. Pressure 1 bar ( $u_k$ )



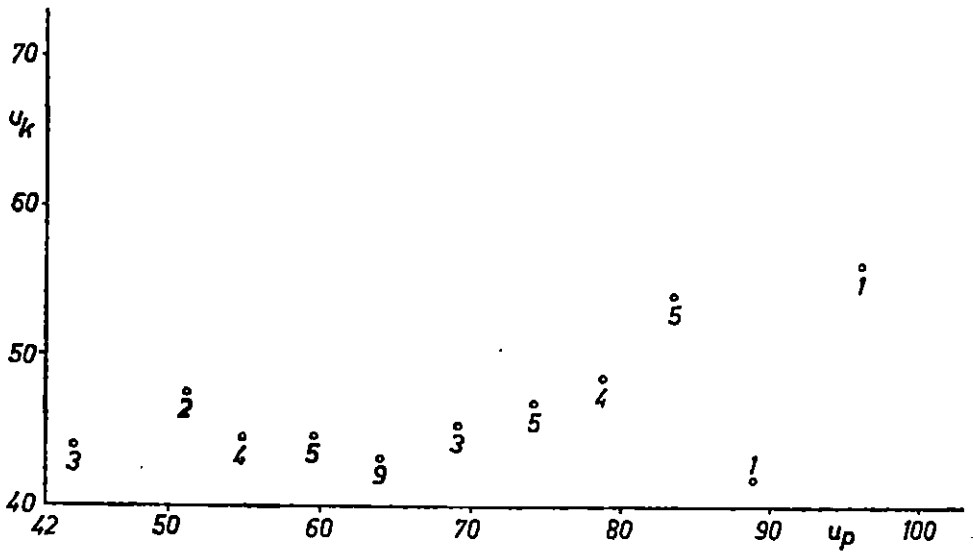
Sl. 4. Tlak 1,5 bar ( $u_k$ ) — Fig. 4. Pressure 1.5 bar ( $u_k$ )



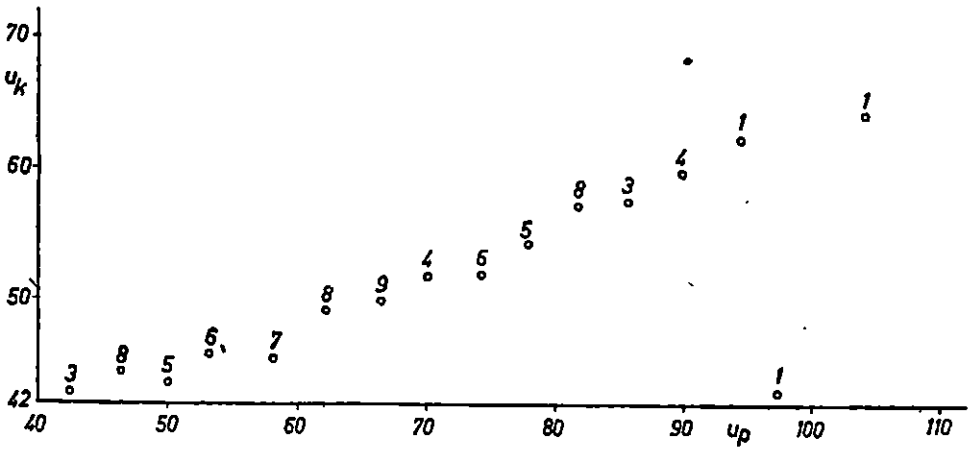
Sl. 5. Tlak 2 bara (u<sub>k</sub>) — Fig. 5. Pressure 2 bars (u<sub>k</sub>)



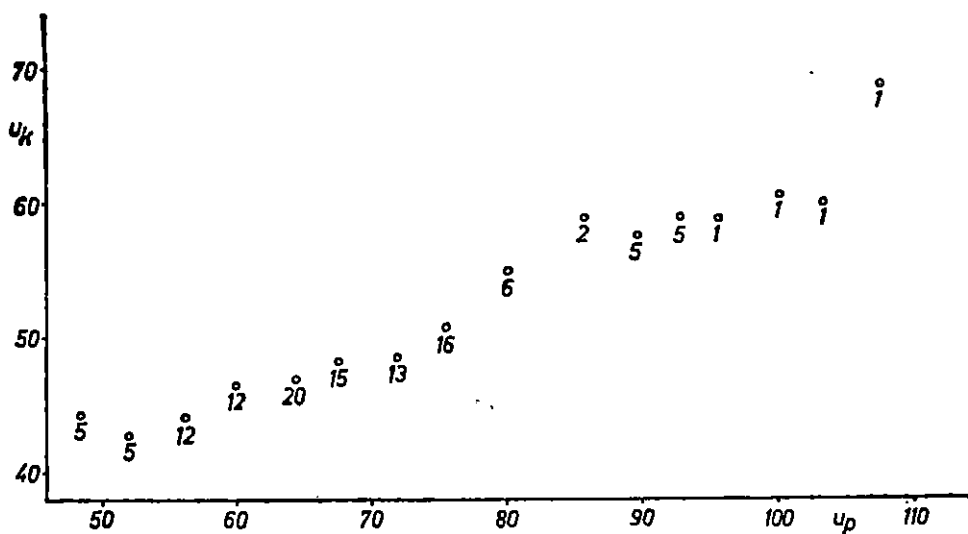
Sl. 6. Tlak 2,5 bara (u<sub>k</sub>) — Fig. 6. Pressure 2.5 bars (u<sub>k</sub>)



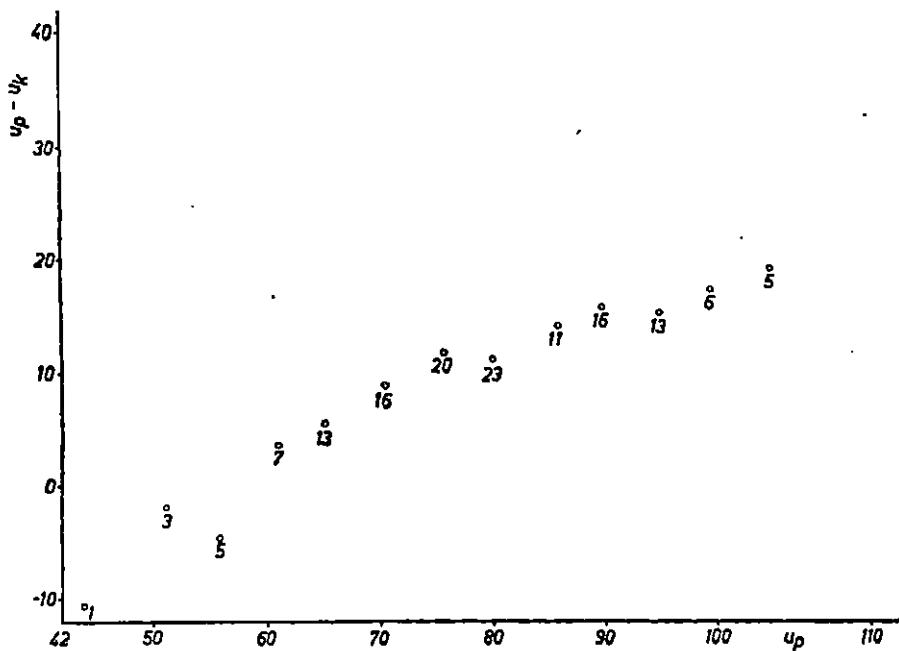
Sl. 7. Tlak 3 bara ( $u_k$ ) — Fig. 7. Pressure 3 bars ( $u_k$ )



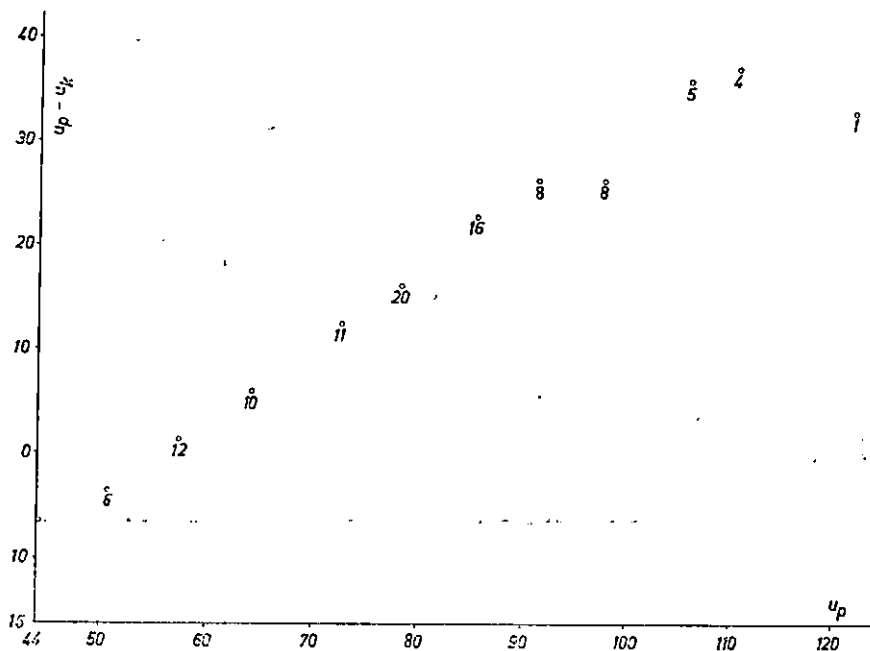
Sl. 8. Tlak 3,5 bara ( $u_k$ ) — Fig. 8. Pressure 3.5 bars ( $u_k$ )



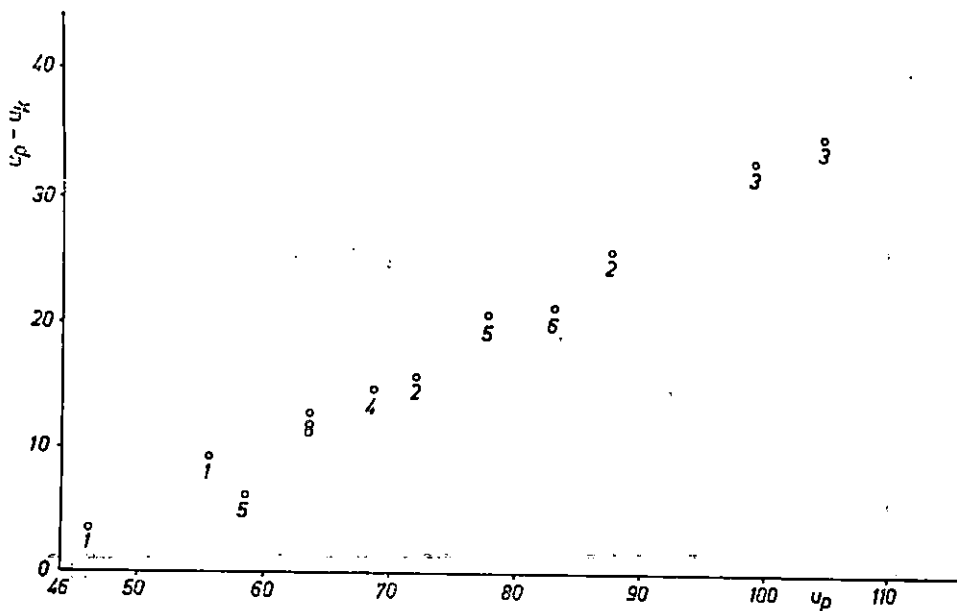
Sl. 9. Tlak 4 bara ( $u_k$ ) — Fig. 9. Pressure 4 bars ( $u_k$ )



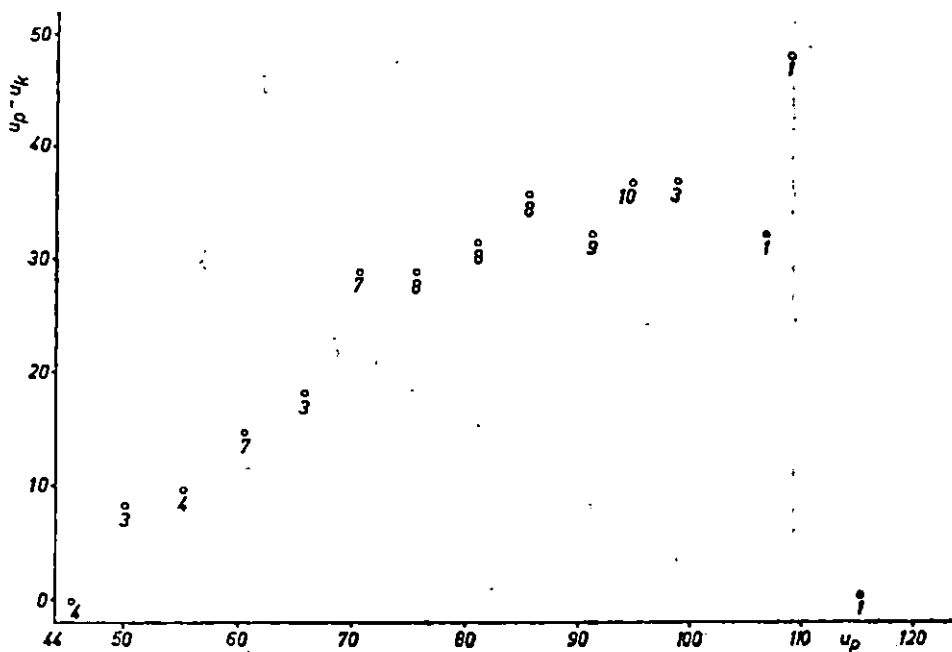
Sl. 10. Tlak 1 bar ( $u_p - u_k$ ) — Fig. 10. Pressure 1 bar ( $u_p - u_k$ )



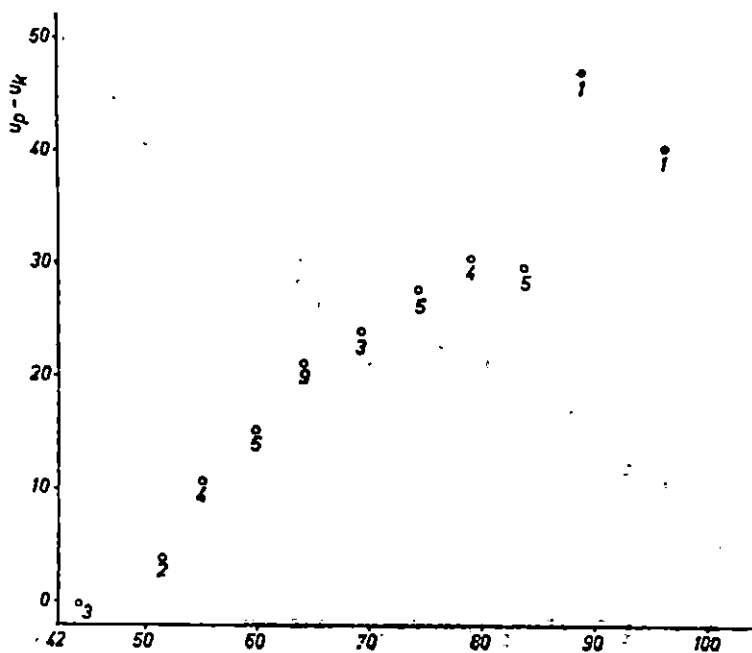
Sl. 11. Tlak 1,5 bar ( $u_p - u_k$ ) — Fig. 11. Pressure 1.5 bar ( $u_p - u_k$ )



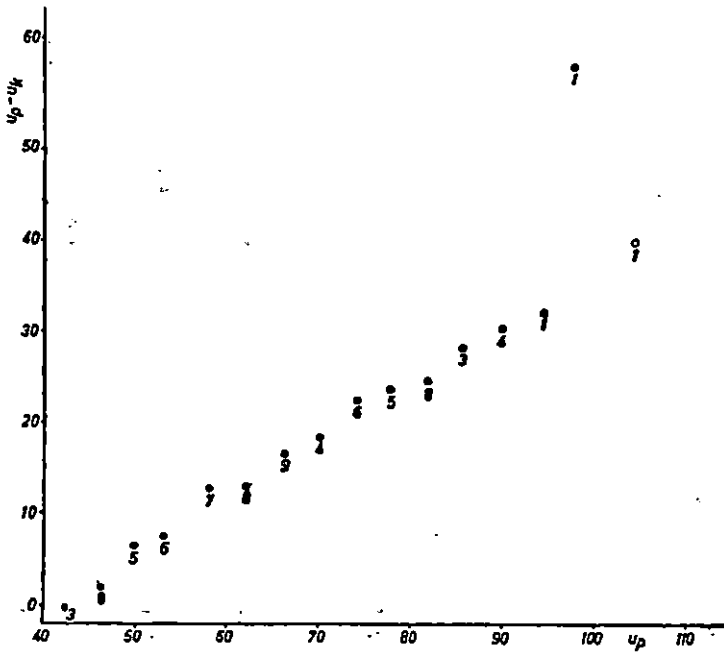
Sl. 12. Tlak 2 bara ( $u_p - u_k$ ) — Fig. 12. Pressure 2 bars ( $u_p - u_k$ )



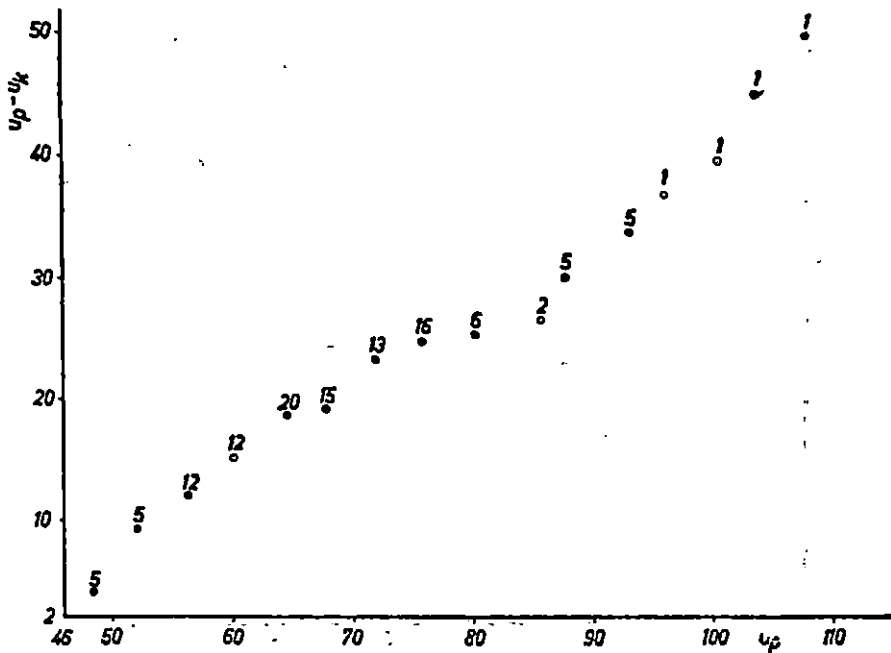
Sl. 13. Tlak 2,5 bara ( $u_p - u_k$ ) — Fig. 13. Pressure 2,5 bars ( $u_p - u_k$ )



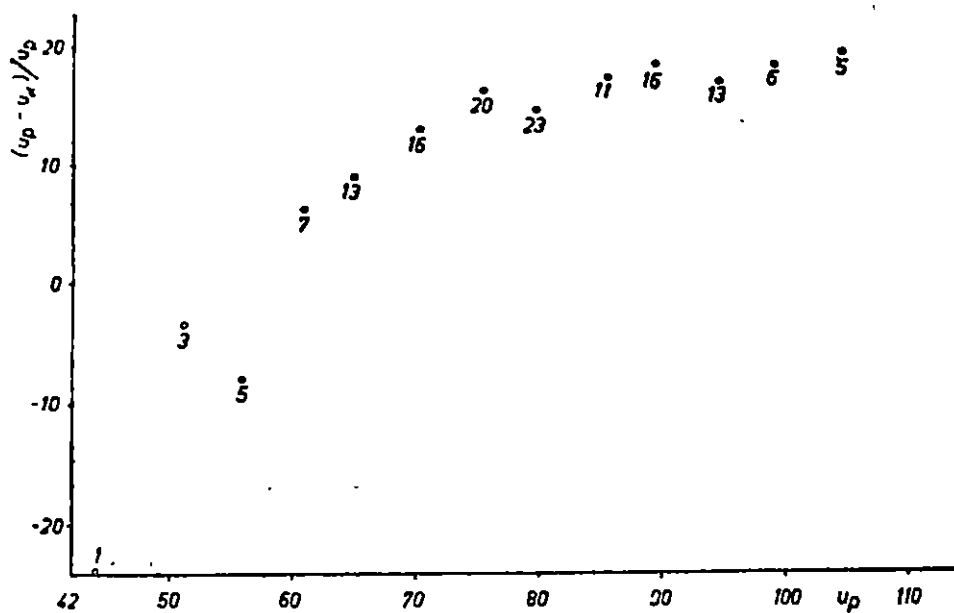
Sl. 14. Tlak 3 bara ( $u_p - u_k$ ) — Fig. 14. Pressure 3 bars ( $u_p - u_k$ )



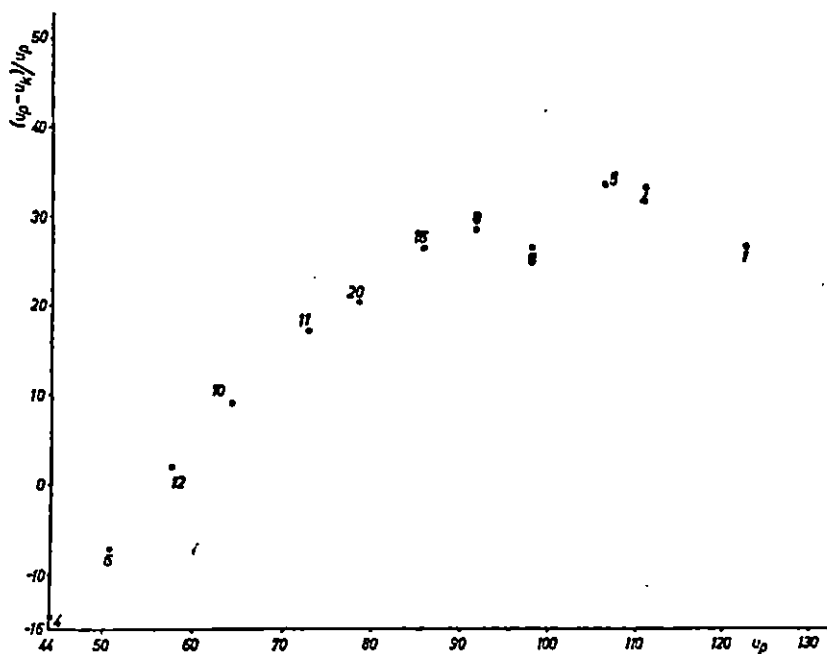
Sl. 15. Tlak 3,5 bara ( $u_p - u_k$ ) — Fig. 15. Pressure 3.5 bars ( $u_p - u_k$ )



Sl. 16. Tlak 4 bara ( $u_p - u_k$ ) — Fig. 16. Pressure 4 bars ( $u_p - u_k$ )

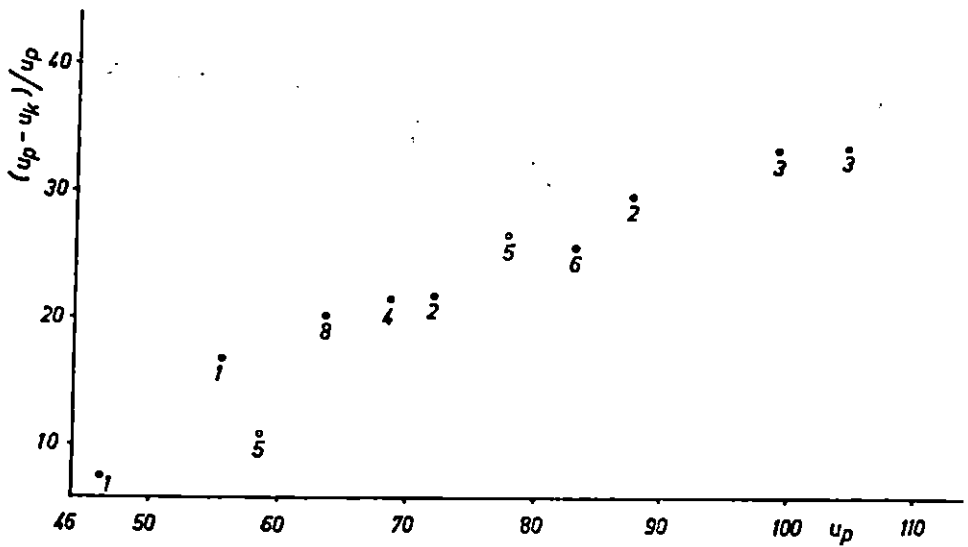


Sl. 17. Tlak 1 bar  $(u_p - u_k) / u_p$  — Fig. 17. Pressure 1 bar  $(u_p - u_k) / u_p$

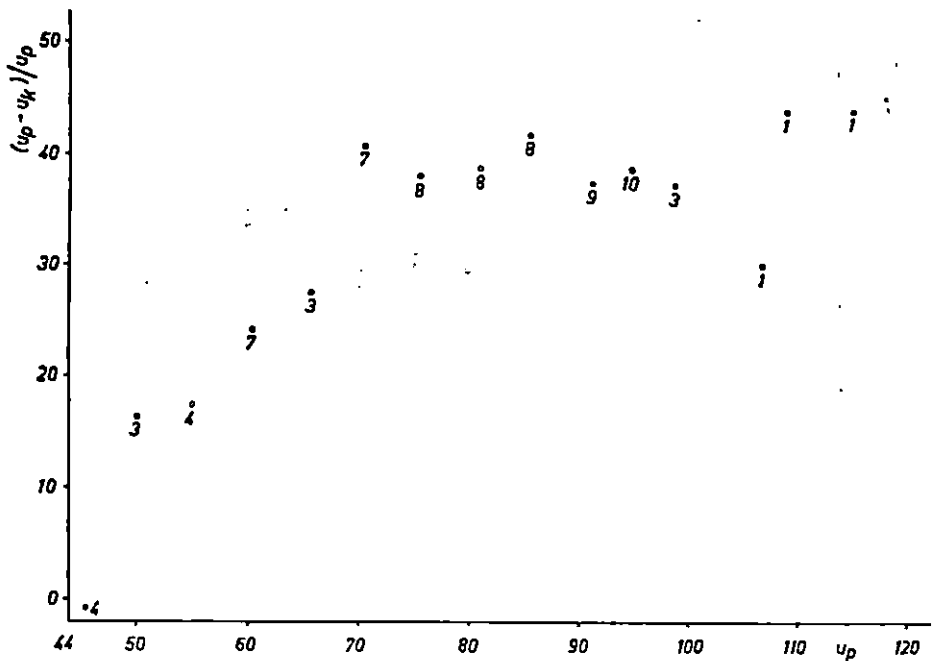


Sl. 18. Tlak 1,5 bar  $(u_p - u_k) / u_p$  — Fig. 18. Pressure 1,5 bar  $(u_p - u_k) / u_p$

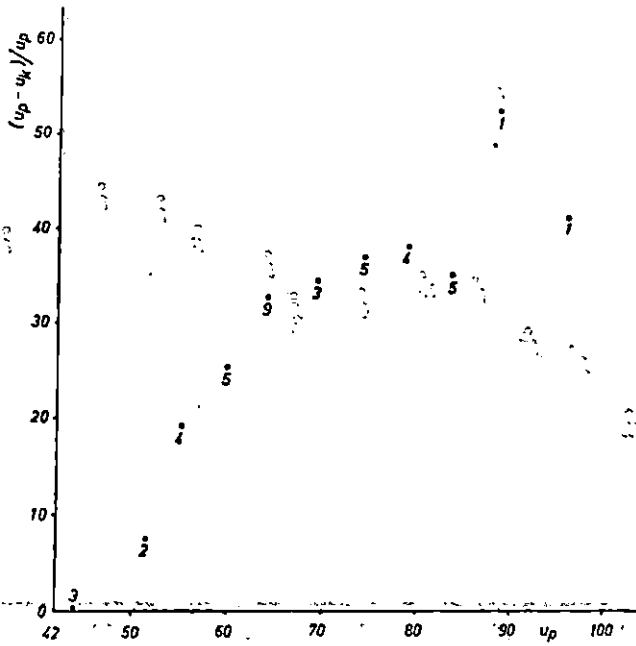




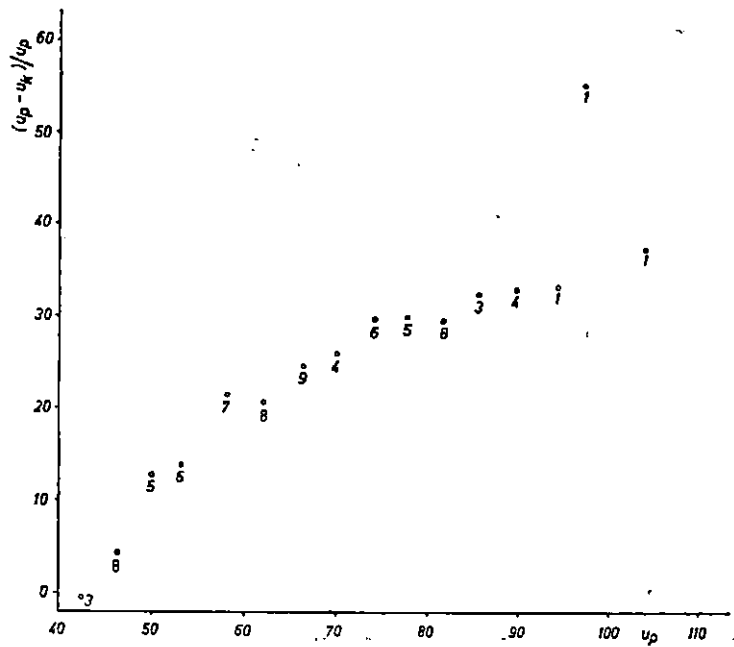
Sl. 19. Tlak 2 bara  $(u_p - u_k) / u_p$  — Fig. 19. Pressure 2 bars  $(u_p - u_k) / u_p$



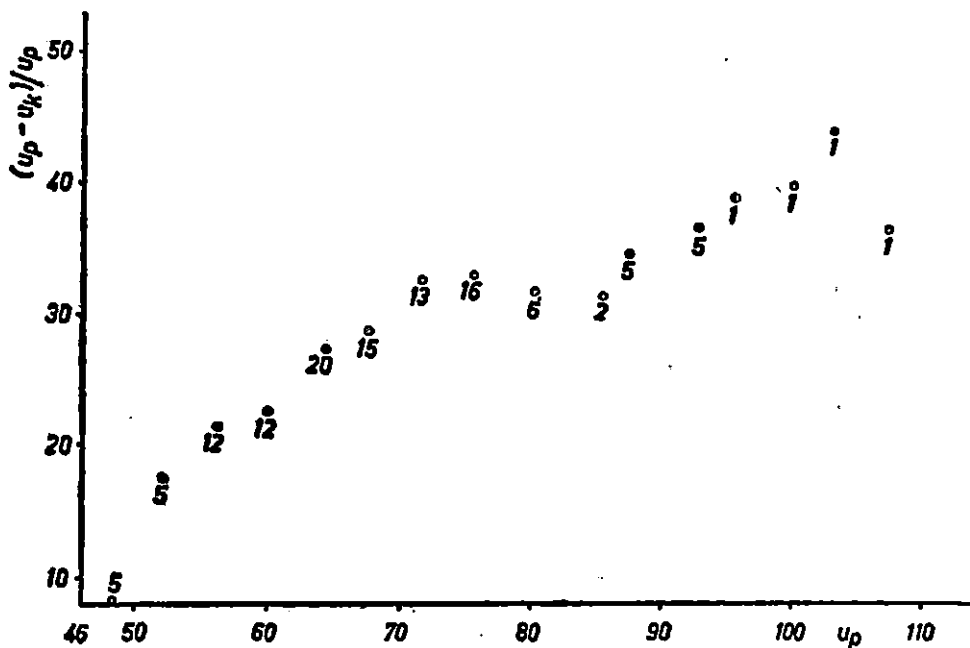
Sl. 20. Tlak 2,5 bara  $(u_p - u_k) / u_p$  — Fig. 20. Pressure 2.5 bars  $(u_p - u_k) / u_p$



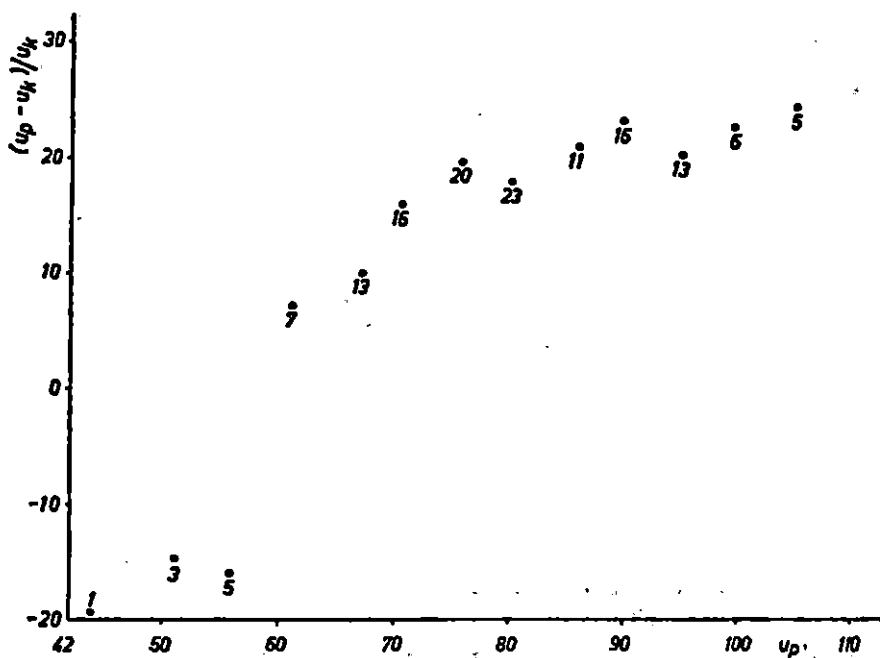
Sl. 21. Tlak 3 bara  $(u_p - u_k) / u_p$  — Fig. 21. Pressure 3 bars  $(u_p - u_k) / u_p$



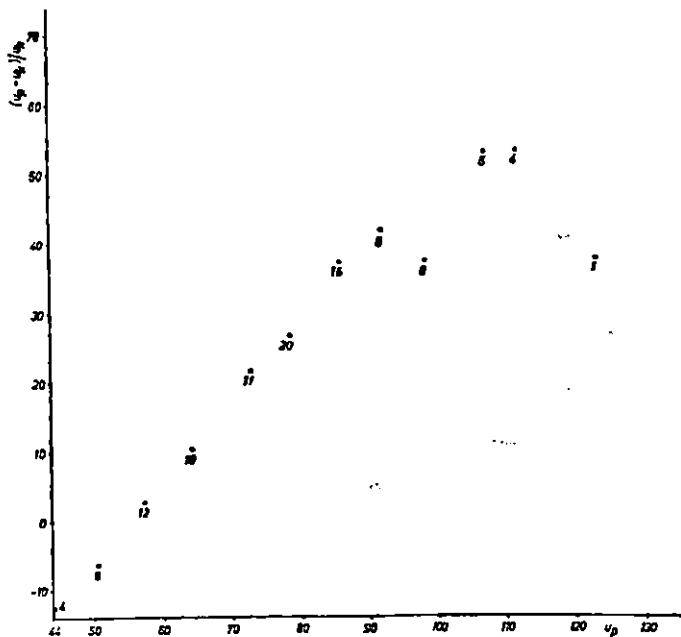
Sl. 22. Tlak 3,5 bara  $(u_p - u_k) / u_p$  — Fig. 22. Pressure 3.5 bars  $(u_p - u_k) / u_p$



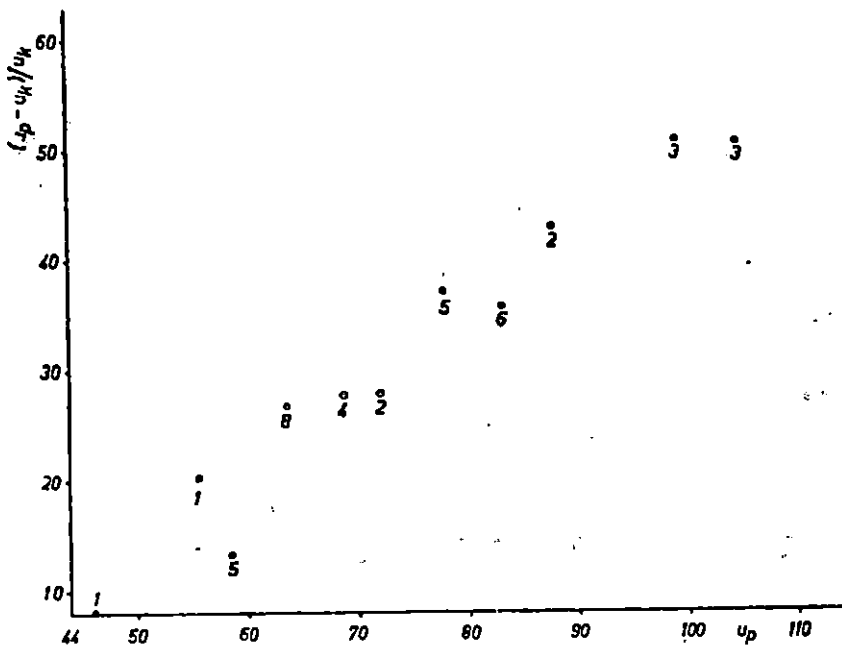
Sl. 23. Tlak 4 bara  $(u_p - u_k) / u_p$  — Fig. 23. Pressure 4 bars  $(u_p - u_k) / u_p$



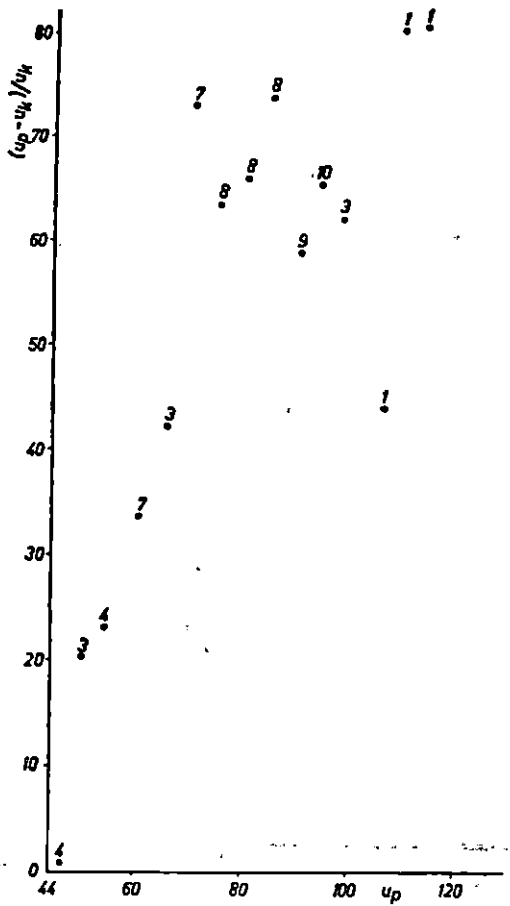
Sl. 24. Tlak 1 bar  $(u_p - u_k) / u_k$  — Fig. 24. Pressure 1 bar  $(u_p - u_k) / u_k$



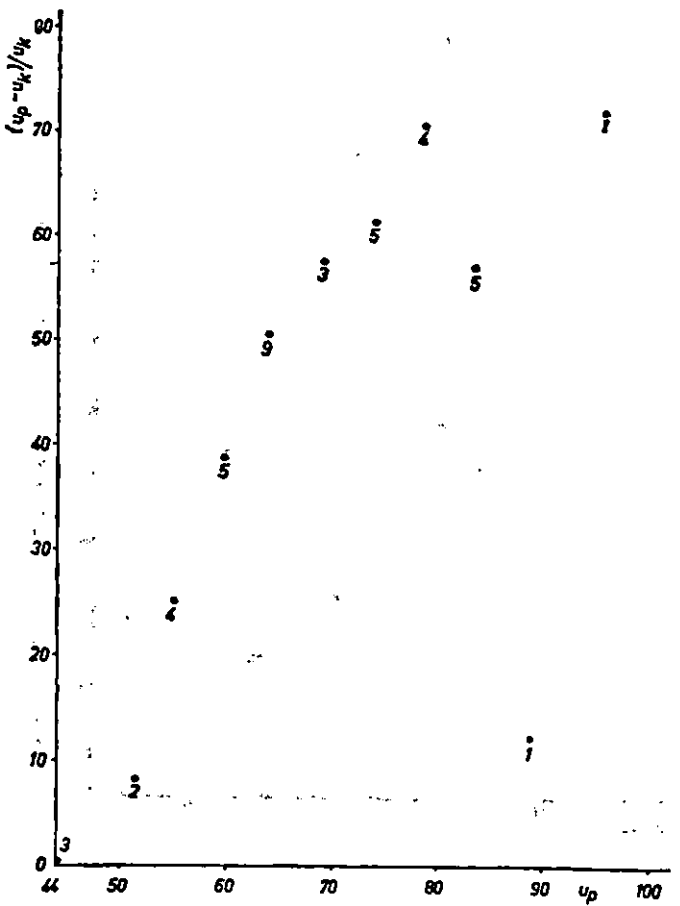
Sl. 25. Tlak 1,5 bar  $(u_p - u_k) / u_k$  — Fig. 25. Pressure 1.5 bar  $(u_p - u_k) / u_k$



Sl. 26. Tlak 2 bara  $(u_p - u_k) / u_k$  — Fig. 26. Pressure 2 bars  $(u_p - u_k) / u_k$

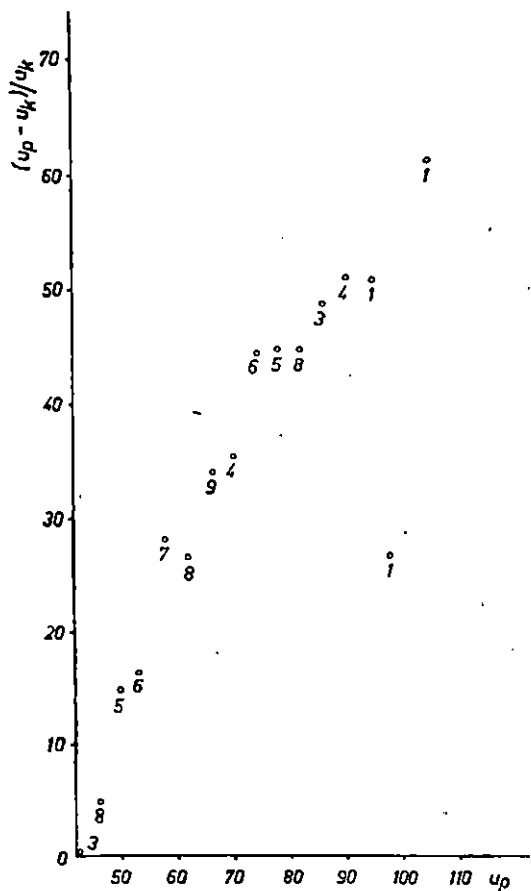


Sl. 27. Tlak 2,5 bara  $(u_p-u_k)/u_k$  — Fig. 27. Pressure 2.5 bars  $(u_p-u_k)/u_k$

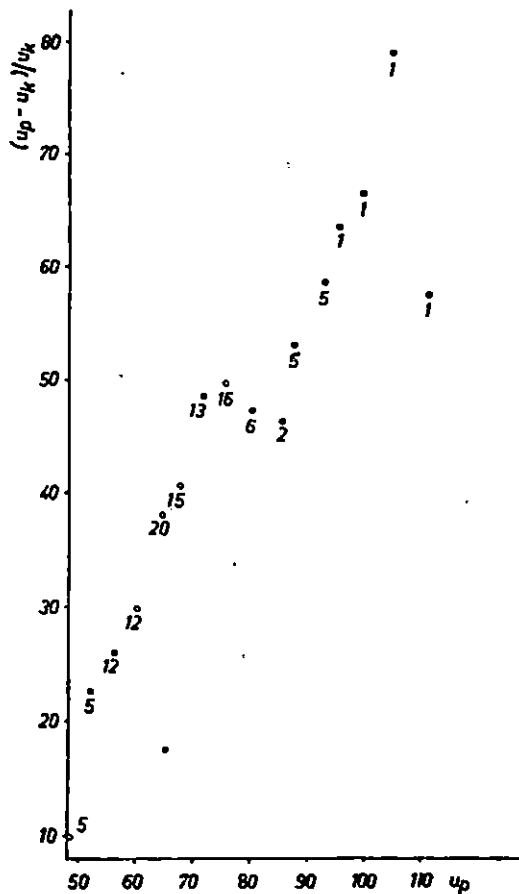


Sl. 28. Tlak 3 bara  $(u_p-u_k)/u_k$  — Fig. 28. Pressure 3 bars  $(u_p-u_k)/u_k$

Površin Z.: Komparativna istraživanja sadržaja vode pijšene bukovine parene zbog promjena boje pod tlakom od 1 do 4 bara. Glasnik za šum. pokuse 21:5-77, 1983.



Sl. 29. Tlak 3,5 bara  $(u_p - u_k) / u_k$  — Fig. 29. Pressure 3.5 bars  $(u_p - u_k) / u_k$



Sl. 30. Tlak 4 bara  $(u_p - u_k) / u_k$  — Fig. 30. Pressure 4 bars  $(u_p - u_k) / u_k$

Pavlin Z.: Komparativna istraživanja sadržaja vode plijene bukovine parene zbog promjene boje pod tlakom od 1 do 4 bara. Glasnik za šum. pokuse 21:5-77, 1983.

Objašnjenja oznaka na slikama 3 do 30 — Explanation of symbols in figures 3 to 30:

$u_p$  . . . . početni sadržaj vode (‰) — initial water content (‰)

$u_k$  . . . . konačni sadržaj vode (‰) — final water content (‰)

$u_p - u_k$  . . . . razlika između početnog i konačnog sadržaja vode (‰) — difference between initial and final water content (‰)

$\frac{u_p - u_k}{u_p}$  . . . . relativni gubitak sadržaja vode s obzirom na početni sadržaj vode — relative loss of water content with respect to initial water content

$\frac{u_p - u_k}{u_k}$  . . . . relativni gubitak sadržaja vode s obzirom na konačni sadržaj vode — relative loss of water content with respect to final water content

Za svaku od 4 kombinacije zavisne varijable pretpostavili smo 3 oblika stohastičke veze i tako dobili ukupno 12 jednadžbi. Budući da je sve ovo rađeno za 7 različitih tlakova to je izvršeno ukupno  $12 \times 7 = 84$  izjednačenja. Izlaz iz stroja (električni računar Instituta za matematiku — CAE 90 — 40) sadržavao je slijedeće informacije:

1. Matricu koeficijenata normalnih jednadžbi
2. Parametre krivulja izjednačenja
3. Matrice C-multiplikatora
4. Sumu kvadrata razlika oko krivulje izjednačenja
5. Varijance i standardne devijacije oko linije izjednačenja
6. Varijance i standardne devijacije procjenjenih parametara. Sve ove veličine ispisane su u formatu E 18.12, tj. s 12 signifikantnih znamenki.
7. Tabelu, tj. za svaki razred početnog sadržaja vode ( $u_p$ ) ispisano je slijedeće:
  - a) broj elemenata koji se pojavljuje u tom razredu dakle broj mjerenja
  - b) ordinate krivulje izjednačenja u tom razredu
  - c) suma kvadrata razlika oko krivulje izjednačenja
  - d) varijance unutar samog razreda računana od linije izjednačenja
  - e) sigma ordinate linije izjednačenja
  - f) 95 i 99 ‰-tne granice konfidencije

Zbog ilustracije dani su u priložima podaci dobiveni obradom na elektronskom računaru (originalni listing) za tlakove od 1 do 4 bara.

IZJEDNAČENJE PO  $u_p - u_k = A + B \ln u_p$  (za tlak 1 bar) — EQUALIZATION  
 $u_p - u_k = A + B \ln u_p$  (for pressure 1 bar)

MATRICA KOEFICIJENATA NORMALNIH JEDNADŽBI — MATRIX OF COEFFICIENTS OF NORMAL EQUATIONS

.139000000000E 03 .60537467843E 03 .154219999995E 04

.605374678243E 03 .26407265138E 04 .684483408847E 04

A = -.122167750180E 03

B = .305984342272E 02

MATRICA C-MULTIPLIKATORA — MATRIX C-MULTIPLIER

.453355775776E 01

-.103929772906E 01

-.103929772906E 01

.238633014449E 00

KONTROLA — CONTROL

A = -.122167750180E 03

B = .305984342247E 02

SYK = .281477399974E 05

SKRY = .711363866758E 04

VY/X = .519243698362E 02 SIX/X = .720585663442E 01

VA = .235402129687E 03

SIA = .153428201347E 02

VB = .123908688974E 02

SIB = .352006660411E 01

D	N	HI	SKRHI	VARHD	SIY	DVG	DUG	GUG	GVG
43.90	1	-6.45	16.4261	.0000	2.1086	11.89	10.58	-2.31	-1.01
51.20	3	-1.74	111.2950	55.6475	1.5981	-5.86	-4.87	1.39	2.38
55.90	5	.95	425.7677	06.4419	1.3177	-2.45	-1.64	3.53	4.35
61.10	7	3.67	201.2943	33.5491	1.0504	.96	1.61	5.73	6.38
65.20	13	5.66	283.6207	23.6351	.8747	3.40	3.94	7.37	7.91
70.60	16	8.09	855.4179	57.0279	.7021	6.28	6.71	9.47	9.90
75.80	20	10.27	724.2420	38.1180	.6186	8.67	9.05	11.48	11.86
80.10	23	11.95	1553.2881	70.6040	.6191	10.36	10.74	13.17	13.55
86.00	11	14.13	412.3294	41.2329	.7038	12.31	12.75	15.51	15.94
89.90	16	15.49	1090.8445	72.7230	.7929	13.44	13.93	17.04	17.53
95.10	13	17.21	648.9470	54.0789	.9315	14.80	15.38	19.03	19.61
99.70	6	18.65	411.7084	82.3417	1.0626	15.91	16.57	20.73	21.39
105.20	5	20.29	378.4575	94.6144	1.2221	17.14	17.90	22.69	23.45

SUMA — SUM 139

7113.6386



IZJEDNAČENJE PO  $u_p - u_k = A + B \ln u_p$  (za tlak 1,5 bar) — EQUALIZATION

$u_p - u_k = A + B \ln u_p$  (for pressure 1,5 bar)

MATRICA KOEFICIJENATA NORMALNIH JEDNADŽBI — MATRIX OF COEFFICIENTS OF NORMAL EQUATIONS

.105000000000E 03 .454236675331E 03 .165129999995E 04

.454236675331E 03 .197088464326E 04 .743444824168E 04

A = -.200148996387E 03

B = .499011767469E 02

MATRICA C-MULTIPLIKATORA — MATRIX C-MULTIPLIER

.322076640911E 01

-.742301296374E 00

-.742301296374E 00

.171588161749E 00

KONTROLA — CONTROL

A = -.200148996443E 03

B = .499011767358E 02

SYK = .432508299980E 05

SKRY = .276915200043E 04

VY/X = .268849708779E 02

SIY/X = .518507192601E 01

VA = .865902111134E 02

SIA = .930538613454E 01

VB = .461314273160E 01

SIB = .214782278868E 01

D	N	HI	SKRHI	VARHD	SIY	DVG	DUG	GUG	GVG
44.10	4	-11.20	105.3375	35.1125	1.2646	-14.46	-13.68	-8.72	-7.94
50.60	6	-4.34	50.2763	10.0553	1.0010	-6.92	-6.30	-2.38	-1.76
57.30	12	1.87	211.5534	19.2321	.7823	-.15	.33	3.40	3.88
64.20	10	7.54	105.3755	11.7084	.6166	5.95	6.33	8.75	9.13
72.70	11	13.74	254.0327	25.4033	.5132	12.42	12.74	14.75	15.07
78.40	20	17.51	454.0955	23.8998	5118	16.19	16.51	18.51	18.83
85.60	16	21.90	335.4302	22.3620	.5714	20.42	20.78	23.02	23.37
91.50	8	25.22	276.3905	39.4844	.6504	23.54	23.95	26.50	26.90
97.90	8	28.60	223.2470	31.8924	.7502	26.66	27.12	30.07	30.53
106.20	5	32.66	294.2214	73.5554	.8871	30.37	30.92	34.39	34.94
110.80	4	34.77	421.9834	40.6611	.9633	32.29	32.88	36.66	37.26
122.30	1	39.70	37.2083	.0000	1.1492	36.73	37.45	41.95	42.66

SUMA — SUM 105

2769.1519

IZJEDNAČENJE PO  $u_p - u_k = A + B \ln u_p$  (za tlak 2 bara) — EQUALIZATION

$u_p - u_k = A + B \ln u_p$  (for pressure 2 bars)

MATRICA KOEFICIJENATA NORMALNIH JEDNADŽBI — MATRIX OF COEFFICIENTS OF NORMAL EQUATIONS

.400000000000E 02 .171900505526E 03 .729799999990E 03

.171900505526E 03 .740308479592E 03 .320436026487E 04

A = -.168714831587E 03

B = .435041958755E 02

MATRICA C-MULTIPLIKATORA — MATRIX C-MULTIPLIER

.118344487079E 02

-.274797300260E 01

-.274797300260E 01

.639433373202E 00

KONTROLA — CONTROL

A = -.168714831650E 03

B = .435041958392E 02

SYK = .172035199996E 05

SKRY = .928487472653E 03

VY/X = .244338808593E 02

SIY/X = .494306391414E 01

VA = .289161509763E 03

SIA = .170047496236E 02

VB = .156238388583E 02

SIB = .395270019837E 01

D	N	HI	SKRHI	VARHD	SIY	DVG	DUG	GUG	GVG
46.20	1	-1.96	29.8567	.0000	1.9956	-7.11	-5.88	1.95	3.18
55.60	1	6.09	10.9363	.0000	1.3527	2.60	3.44	8.74	9.58
58.50	5	8.30	144.1672	36.0418	1.1944	5.22	5.96	10.65	11.39
63.60	8	11.94	182.9932	26.1419	.9690	9.44	10.04	13.84	14.44
68.70	4	15.30	33.7093	11.2364	.8262	13.17	13.68	16.92	17.43
72.10	2	17.40	5.6799	5.6799	.7853	15.37	15.86	18.94	19.42
77.90	5	20.76	98.5521	24.6380	.8144	18.66	19.17	22.36	22.87
83.20	6	23.63	258.1610	51.6322	.9220	21.25	21.82	25.44	26.01
87.80	2	25.97	48.0543	48.0543	1.0504	23.26	23.91	28.03	28.68
99.30	3	31.32	82.9467	41.4733	1.4223	27.65	28.54	34.11	34.99
104.90	3	33.71	33.4309	16.7155	1.6079	29.56	30.56	36.86	37.87
SUMA — SUM 40			928.4875						

Pavlin Z.: Komparativna istraživanja sadržaja vode pitljene bukovine porene zbog promjene boje pod tlakom od 1 do 4 bara. Glasnik za šum. pokuse 215-77, 1983.

IZJEDNAČENJE PO  $u_p - u_k = A + B \ln u_p$  (za tlak 2,5 bara) — EQUALIZATION  
 $u_p - u_k = A + B \ln u_p$  (for pressure 2,5 bars)

MATRICA KOEFICIJENATA NORMALNIH JEDNADŽBI — MATRIX OF COEFFICIENTS OF NORMAL EQUATIONS

.770000000000E 02 .333551468601E 03 .205499999994E 04  
 .333551468601E 03 .144891058375E 04 .907456602019E 04

A = -.15934848484565E 03            B = .429463955639E 02

MATRICA C-MULTIPLIKATORA — MATRIX C-MULTIPLIER

.468096063778E 01            —.107759672178E 01  
 —.107759672178E 01            .248762051400E 00

KONTROLA — CONTROL

A = -.159348484576E 03            B = .429463955462E 02  
 SYK = .668260599956E 05            SKRY = .456729389572E 04            VY/X = .608972519429E 02            SIY/X = .780366913334E 01  
 VA = .285057639293E 03            SIA = .168836500583E 02  
 VB = .151489253179E 02            SIB = .389216203643E 01

D	N	HI	SKRHI	VARHD	SIY	DVG	DUG	GUG	GVG
45.50	4	4.61	211.2282	70.4094	2.1898	—1.04	.32	8.90	10.26
50.10	3	8.74	32.4120	16.2060	1.8535	3.96	5.11	12.38	13.53
55.20	4	12.91	173.2229	57.7410	1.5332	8.95	9.90	15.91	16.86
60.50	7	16.85	164.2797	27.3800	1.2596	13.60	14.38	19.31	20.10
65.80	3	20.45	183.3104	91.6552	1.0537	17.73	18.39	22.52	23.17
70.60	7	23.48	458.9220	76.4870	.9358	21.06	21.64	25.31	25.89
75.60	8	26.41	191.7536	27.3934	.8897	24.12	24.67	28.16	28.71
81.10	8	29.43	163.2940	23.3277	.9234	27.05	27.62	31.24	31.81
85.60	8	31.75	242.5373	34.6482	1.0006	29.17	29.79	33.71	34.33
91.30	9	34.52	459.1517	57.3940	1.1377	31.58	32.29	36.75	37.45
94.90	10	36.18	188.0046	20.8894	1.2372	32.99	33.75	38.60	39.37
98.90	3	37.95	32.5555	16.2777	1.3539	34.46	35.30	40.61	41.44
106.90	1	41.29	77.3083	.0000	1.5946	37.18	38.17	44.42	45.41
109.20	1	42.21	40.8740	.0000	1.6640	37.91	38.95	45.47	46.50
115.30	1	44.54	1948.4399	.0000	1.8463	39.78	40.92	48.16	49.30
SUM — SUM 77			4567.2939						

IZJEDNAČENJE PO  $u_p - u_k = A + B \ln u_p$  (za tlak 3 bara) — EQUALIZATION

$$u_p - u_k = A + B \ln u_p \text{ (for pressure 3 bars)}$$

MATRICA KOEFICIJENATA NORMALNIH JEDNADŽBI — MATRIX OF COEFFICIENTS OF NORMAL EQUATIONS

.420000000000E 02 .176140680106E 03 .882899999987E 03

.176140680106E 03 .740230100237E 03 .378340222552E 04

A = -.200575147038E 03

B = .528387659797E 02

MATRICA C-MULTIPLIKATORA — MATRIX C-MULTIPLIER

.115435454372E 02

-.274683229376E 01

-.274683229376E 01

.654970539847E 00

KONTROLA — CONTROL

A = -.200575147092E 03

B = .528387659639E 02

SYK = .247647899994E 05

SKRY = .194228251684E 04

VY/X = .485570629209E 02

SIY/X = .6968289811320E 01

VA = .560520662121E 03

SIA = .236753175716E 02

VB = .318034457146E 02

SIB = .563945438093E 01

D	N	HI	SKRHI	VARHD	SIY	DVG	DUG	GUG	GVG
44.00	3	-.62	6.0639	3.0319	2.5481	-7.20	-5.62	4.37	5.95
51.50	2	7.69	32.6649	32.6649	1.7832	3.09	4.20	11.19	12.29
55.10	4	11.26	90.7549	30.2516	1.4969	7.40	8.33	14.20	15.13
59.90	5	15.68	334.9115	83.7279	1.2172	12.54	13.29	18.06	18.82
64.20	9	19.34	316.0434	39.5054	1.0901	16.53	17.20	21.48	22.15
69.40	3	23.46	183.1113	91.5557	1.1062	20.60	21.29	25.62	26.31
74.40	5	27.13	123.7102	30.9276	1.2575	23.89	24.67	29.60	30.38
79.10	4	30.37	434.9949	144.9983	1.4667	26.58	27.49	33.24	34.15
83.80	5	33.42	310.1633	77.5408	1.7049	29.02	30.08	36.76	37.82
88.90	1	36.54	109.4230	.0000	1.9746	31.44	32.67	40.41	41.63
96.30	1	40.76	.4412	.0000	2.3656	34.66	36.13	45.40	46.87
SUMA — SUM 42			1942.2825						

Pavlin Z.: Komparativna istraživanja sadržaja vode pitljene bukovine prene zbog promjene boje pod tlakom od 1 do 4 bara. Glasnik za šum. pokuse 21:5-77, 1983.

IZJEDNAČENJE PO  $u_p - u_k = A + B \ln u_p$  (za tlak 3,5 bara) — EQUALIZATION

$u_p - u_k = A + B \ln u_p$  (for pressure 3,5 bars)

MATRICA KOEFICIJENTA NORMALNIH JEDNADŽBI — MATRIX OF COEFFICIENTS OF NORMAL EQUATIONS

.790000000000E 02 .329523277398E 03 .128169999997E 04

.329523277398E 03 .137852162331E 04 .551999688551E 04

A = -.164084899965E 03

B = .432273167763E 02

MATRICA C-MULTIPLIKATORA — MATRIX C-MULTIPLIER

.434018878845E 01

-.103748335167E 01

-.103748335167E 01

.248726540442E 00

KONTROLA — CONTROL

A = -.164084899992E 03

B = .432273167744E 02

SYK = .299613299986E 05

SKRY = .165429230463E 04

VY/X = .214843156446E 02

SIY/X = .463511765163E 01

VA = .932459858879E 02

SIA = .965639611281E 01

VB = .5343711950402E 01

SIB = .231164865496E 01

D	N	HI	SKRHI	VARHD	SIY	DVG	DUG	GUG	GVG
42.50	3	-2.00	63.9898	31.9949	1.1055	-4.86	-4.17	.16	.85
46.40	8	1.79	41.7321	5.9617	.9315	-.61	-.03	3.62	4.19
50.00	5	5.02	27.4033	6.8508	.7943	2.97	3.46	6.58	7.07
53.20	6	7.70	17.8990	3.5798	.6925	5.92	6.35	9.06	9.49
58.10	7	11.51	84.8166	14.1361	.5792	10.02	10.38	12.65	13.01
62.10	8	14.39	71.7739	10.2534	.5306	13.02	13.35	15.43	15.76
66.40	9	17.28	186.8294	23.3537	.5246	15.93	16.26	18.31	18.64
70.10	4	19.63	13.1173	4.3724	.5523	18.20	18.55	20.71	21.05
74.20	6	22.08	177.6914	35.5383	.6084	20.52	20.89	23.28	23.65
77.80	5	24.13	152.4631	38.1158	.6714	22.40	22.82	25.45	25.87
81.70	8	26.25	263.6610	37.6659	.7478	24.32	24.78	27.71	28.18
85.60	3	28.26	8.6050	4.3025	.8285	26.13	26.64	29.89	30.40
89.80	4	30.33	111.3551	37.1184	.9172	27.97	28.54	32.13	32.70
94.40	1	32.49	.3518	.0000	1.0143	29.88	30.51	34.48	35.11
97.30	1	33.80	424.3160	.0000	1.0749	31.03	31.69	35.91	36.57
104.10	1	36.72	8.2875	.0000	1.2138	33.59	34.34	39.10	39.85
SUMA — SUM 79			1654.2923						

IZJEDNAČENJE PO  $u_p - u_k = A + B \ln u_p$  (za tlak 4 bara) — EQUALIZATION  
 $u_p - u_k = A + B \ln u_p$  (for pressure 4 bars)

## MATRICA KOEFICIJENATA NORMALNIH JEDNADŽBI — MATRIX OF COEFFICIENTS OF NORMAL EQUATIONS

.120000000000E 03 .506602033021E 03 .245929999991E 04

.506602033021E 03 .214226984936E 04 .105418665228E 05

A = -.168821876042E 03

B = .448437306688E 02

## MATRICA C-MULTIPLIKATORA — MATRIX C-MULTIPLIER

.501982261252E 01

-.118708310331E 01

-.118708310331E 01

.281187131341E 00

## KONTROLA — CONTROL

A = -.168821876049E 03

B = .448437306583E 02

SYK = .595725899951E 05

SKRY = .201960663676E 04

VY/X = .171153104809E 02 . SIY/X = .413706544315E 01

VA = .859158225721E 02

SIA = .926907884161E 01

VB = .481260505613E 01

SIB = .219376504123E 01

D	N	HI	SKRHI	VARHD	SIY	DVG	DUG	GUG	GVG
48.40	5	5.15	76.8257	19.2064	.8403	2.98	3.50	6.80	7.32
52.10	5	8.45	60.1277	15.0319	.6997	6.65	7.08	9.82	10.26
56.20	12	11.85	72.0910	6.5537	.5670	10.39	10.74	12.96	13.31
60.00	12	14.78	495.5521	45.0502	.4698	13.57	13.86	15.70	16.00
64.40	20	17.96	454.5594	23.9242	.3975	16.93	17.18	18.74	18.98
67.60	15	20.13	132.0256	9.4304	.3781	19.16	19.39	20.87	21.11
71.70	13	22.77	92.5992	7.7166	.3938	21.76	22.00	23.54	23.79
75.60	16	25.15	146.1200	9.7413	.4410	24.01	24.28	26.01	26.29
80.20	6	27.80	136.9476	27.3895	.5198	26.46	26.78	28.82	29.14
85.50	2	30.67	61.8814	61.8814	.6247	29.05	29.44	31.89	32.28
87.50	5	31.70	54.7070	13.6768	.6658	29.99	30.40	33.01	33.42
92.90	5	34.39	101.6980	25.4245	.7776	32.38	32.86	35.91	36.39
95.70	1	35.72	1.9039	.0000	.8351	33.57	34.08	37.36	37.87
100.20	1	37.78	4.4913	.0000	.9262	35.39	35.97	39.60	40.17
103.30	1	39.15	40.3595	.0000	.9876	36.60	37.21	41.08	41.70
107.50	1	40.93	87.7170	.0000	1.0889	38.18	38.84	43.03	43.69

SUMA — SUM 120

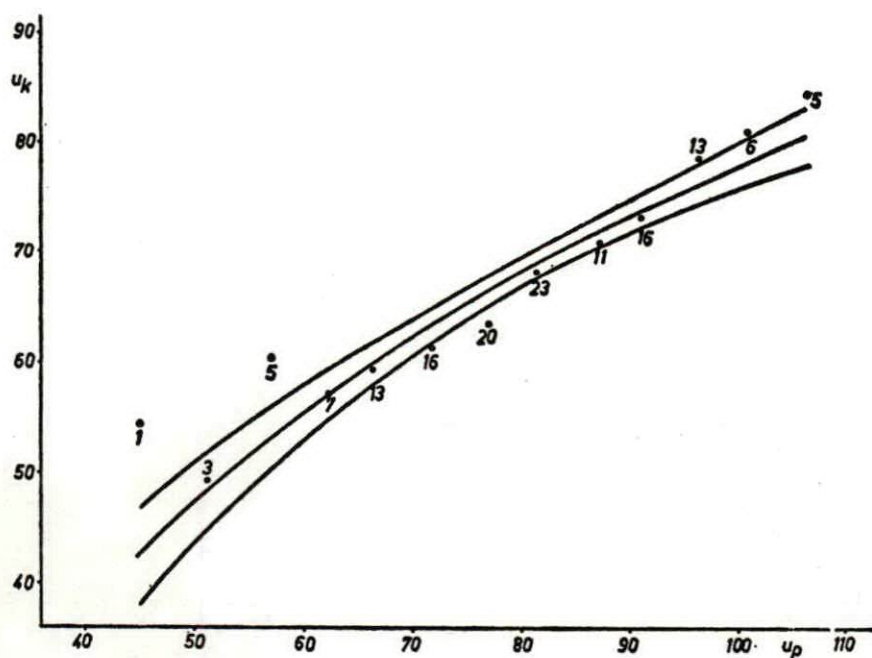
2019.6066

Objašnjenje oznaka u listingu — Explanation of symbols in the listing:

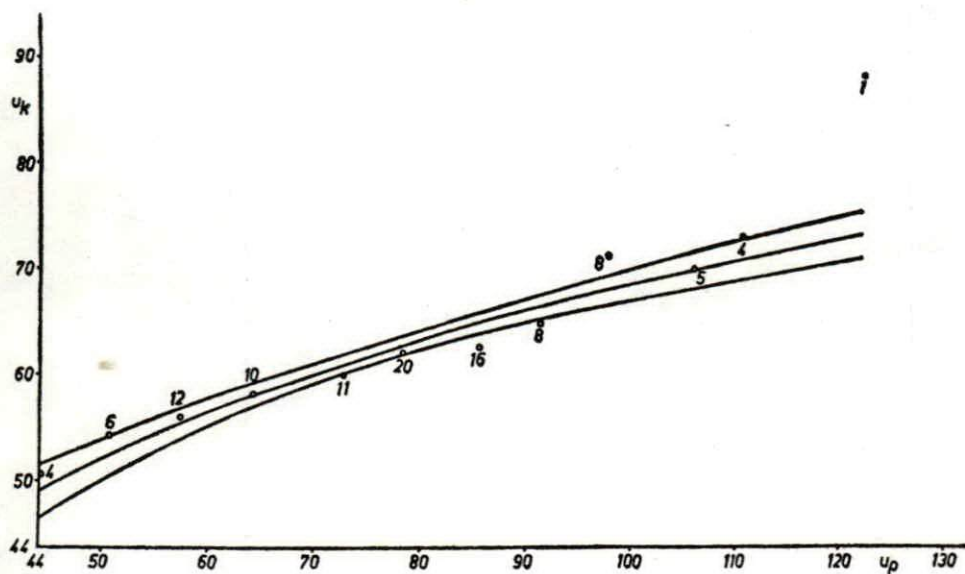
SYK	... suma kvadrata Y — sum of squares Y
SKRY	... suma kvadrata odstupanja Y od srednje vrijednosti — sum of square deviation Y from the mean value
VY/X	... varijanca Y s obzirom na X — variance Y with respect to X
SIY/X	... standardna devijacija — standard deviation
VA	... varijanca parametra A — variance of parameter A
SIA	... standardna devijacija parametra A — standard deviation of parameter A
VB	... varijanca parametra B — variance of parameter B
SIB	... standardna devijacija parametra B — standard deviation of parameter B
D	... nezavisna varijabla — independent variable
N	... broj podataka u razredu — number of data in a class
HI	... ordinata do krivulje izjednačenja — coordinate to curve of equalization
SKRHI	... suma kvadrata odstupanja od krivulje izjednačenja u dotičnom razredu — sum of square deviation to curve of equalization in respective class
VARHD	... varijance oko linije izjednačenja u dotičnom razredu — variance around line of equalization in respective class
SIY	... standardna devijacija — standard deviation
DVG	... donja vanjska granica konfidencije — lower outer confidence limit
DUG	... donja unutarnja granica konfidencije — lower inner confidence limit
GUG	... gornja unutarnja granica konfidencije — upper inner confidence limit
GVG	... gornja vanjska granica konfidencije — upper outer confidence limit

Sve 84 dobivene krivulje bile su nanešene na milimetarski papir zajedno s granicama konfidencije — elementarnim podacima. Ovdje su prikazane samo logaritamske krivulje za zavisne varijable konačnog sadržaja vode ( $u_k$ ) odnosno razlike između početnog i konačnog sadržaja vode ( $u_p - u_k$ ) (sl. 31 do 44). To ograničenje objašnjava se kasnije.

Iz slika 31 do 44 vidljivo je da se kod svih tlakova s porastom početnog sadržaja vode povećavaju promatrane promjene (konačni sadržaj vode i razlika između početnog i konačnog sadržaja vode). Budući da su promjene konačnog sadržaja vode ( $u_k$ ) kao i razlika između početnog i konačnog sadržaja vode ( $u_p - u_k$ ) ovisne o početnom sadržaju vode, može se reći da te promjene do određene granice pokazuju stalni porast, u odnosu na povećanje početnog sadržaja vode za pojedini tlak, u obliku regresivnih logaritamskih krivulja.

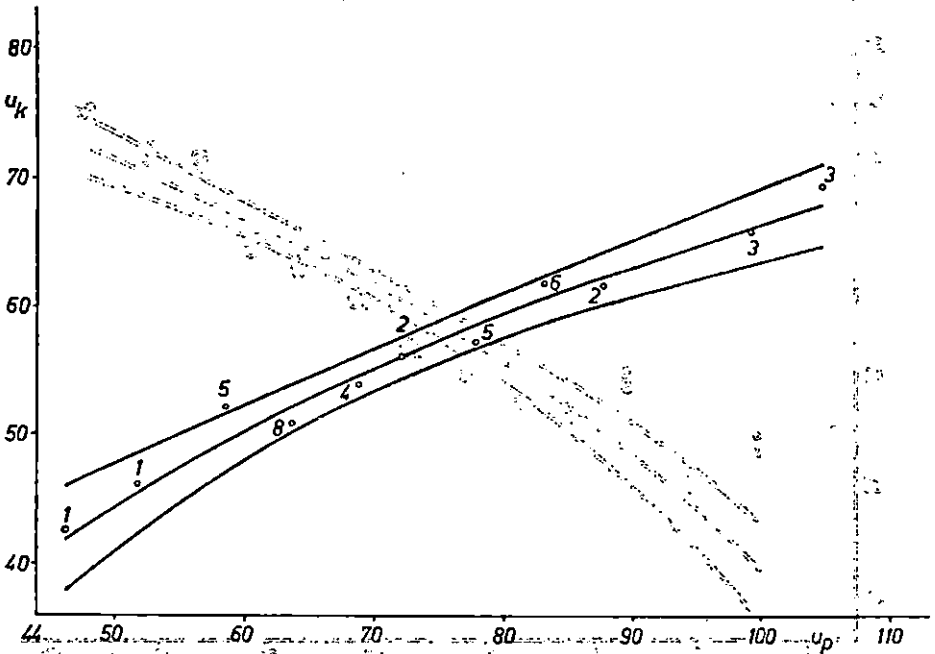


Sl. 31. Tlak 1 bar ( $u_k$ ) — Fig. 31. Pressure 1 bar ( $u_k$ )

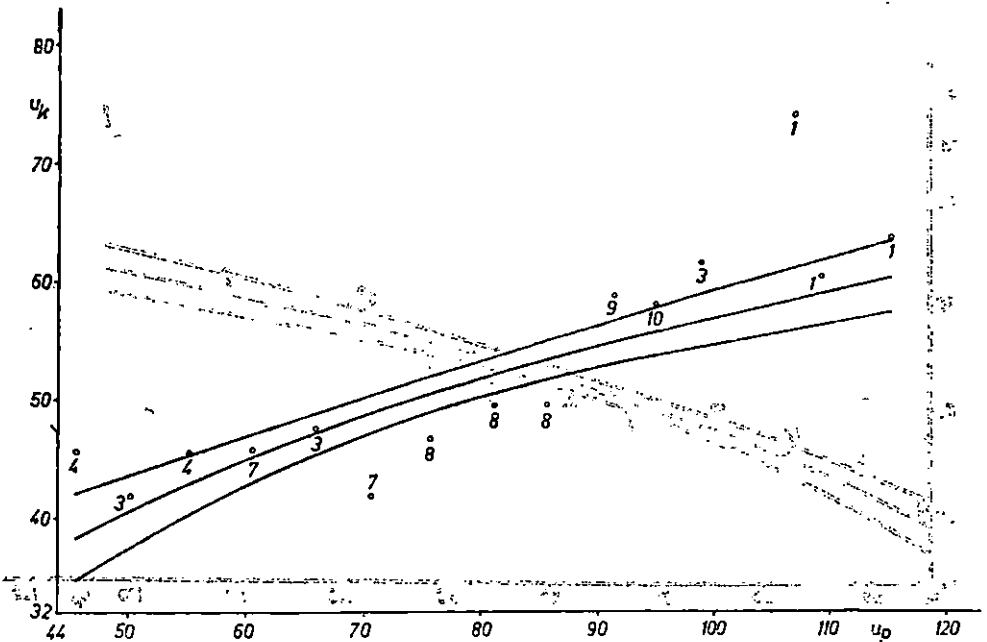


Sl. 32. Tlak 1,5 bar ( $u_k$ ) — Fig. 32. Pressure 1.5 bar ( $u_k$ )

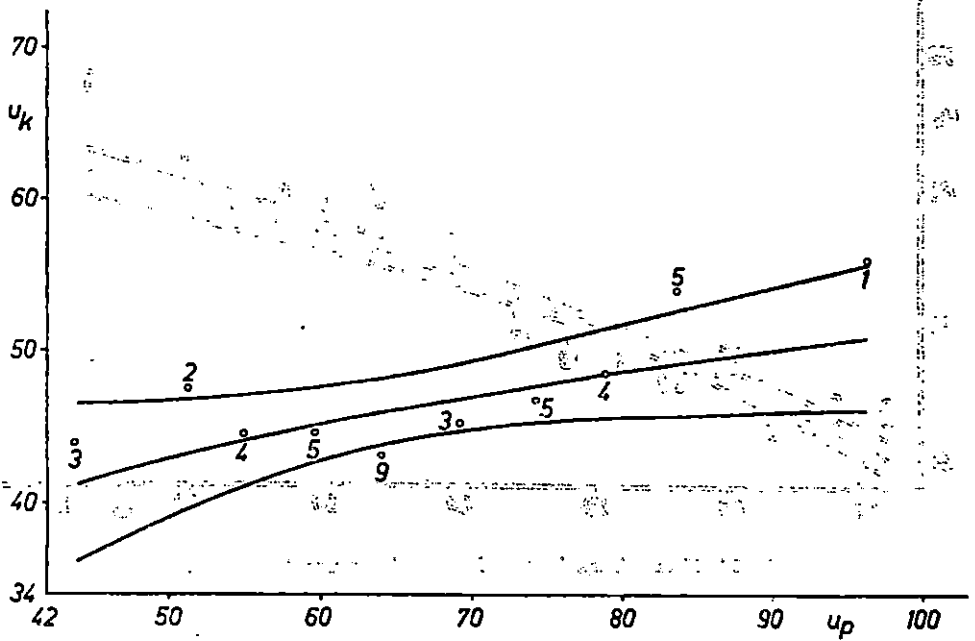




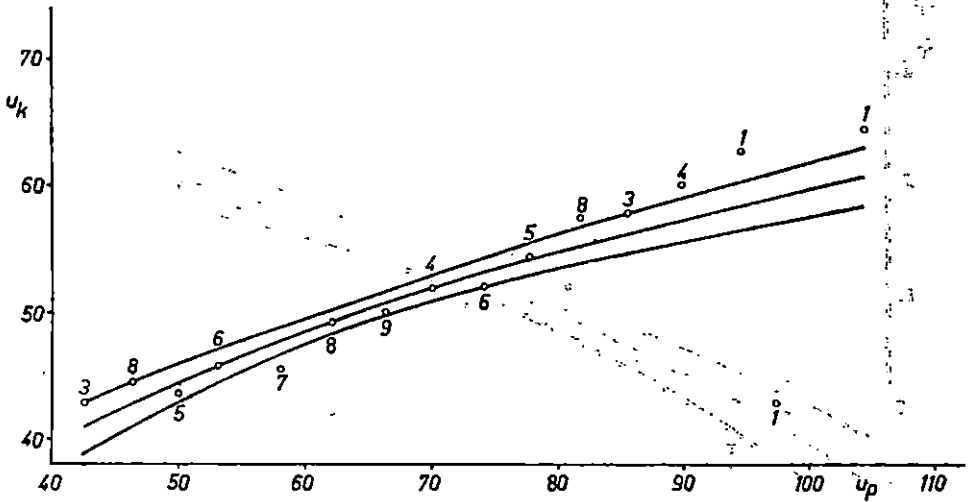
Sl. 33. Tlak 2 bara ( $u_k$ ) — Fig. 33. Pressure 2 bars ( $u_k$ )



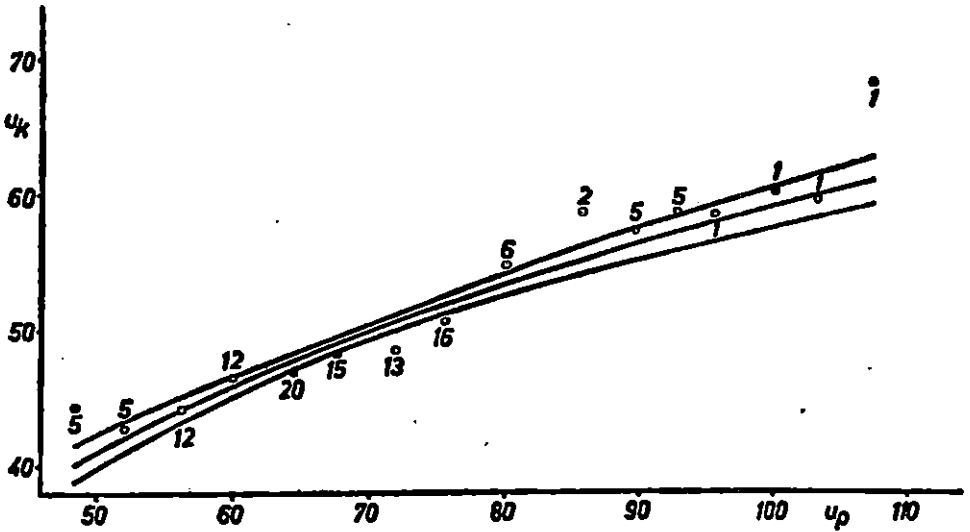
Sl. 34. Tlak 2,5 bara ( $u_k$ ) — Fig. 34. Pressure 2.5 bars ( $u_k$ )



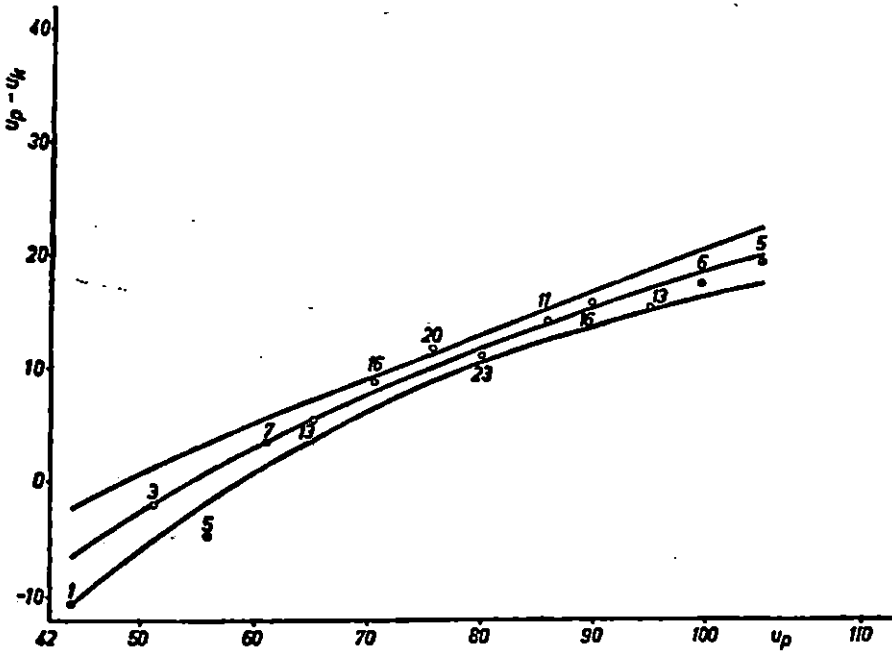
Sl. 35. Tlak 3 bara ( $u_k$ ) — Fig. 35. Pressure 3 bars ( $u_k$ )



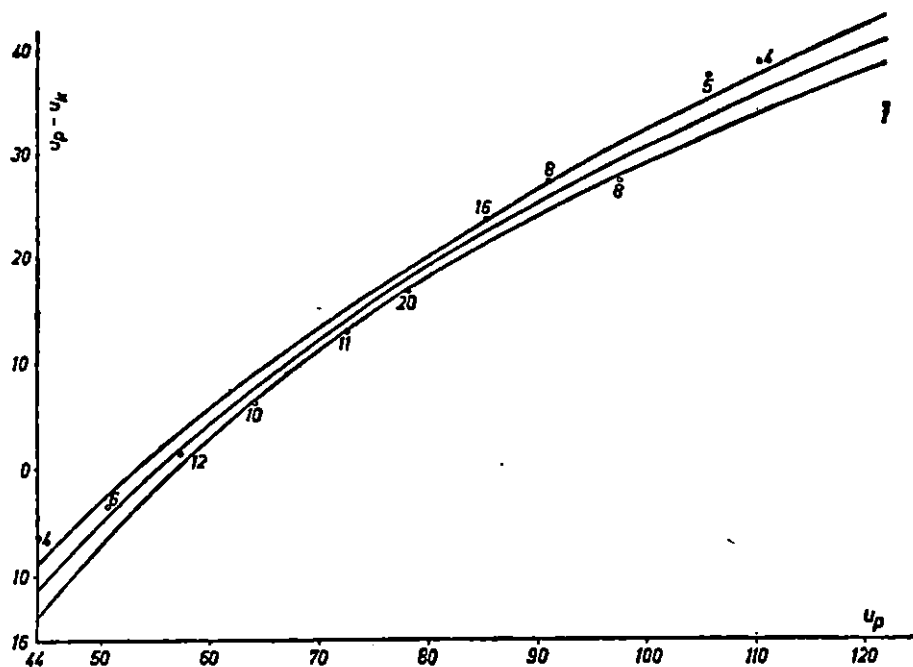
Sl. 36. Tlak 3,5 bara ( $u_k$ ) — Fig. 36. Pressure 3.5 bars ( $u_k$ )



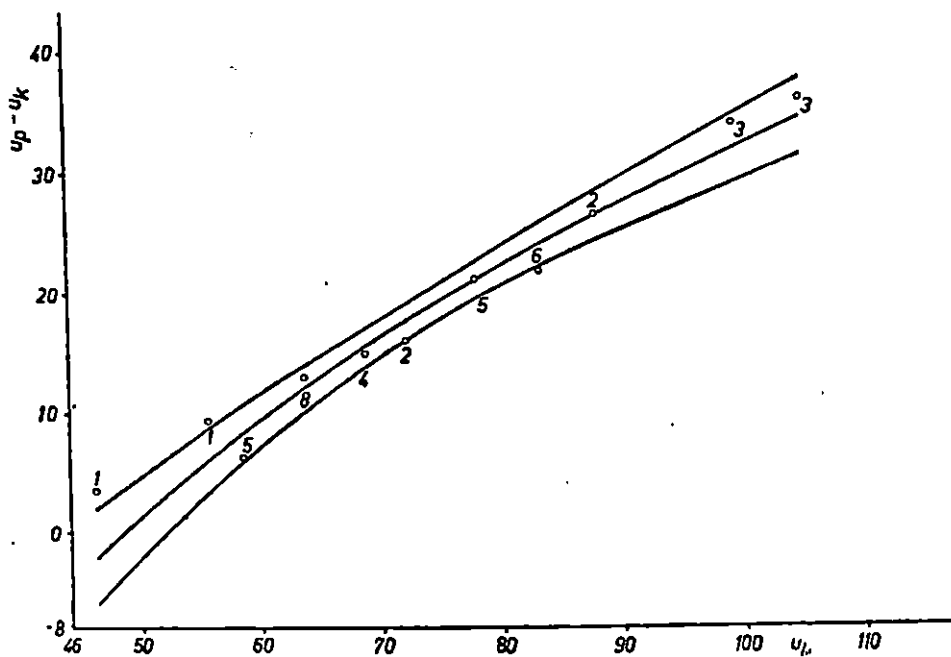
Sl. 37. Tlak 4 bara ( $u_k$ ) — Fig. 37. Pressure 4 bars ( $u_k$ )



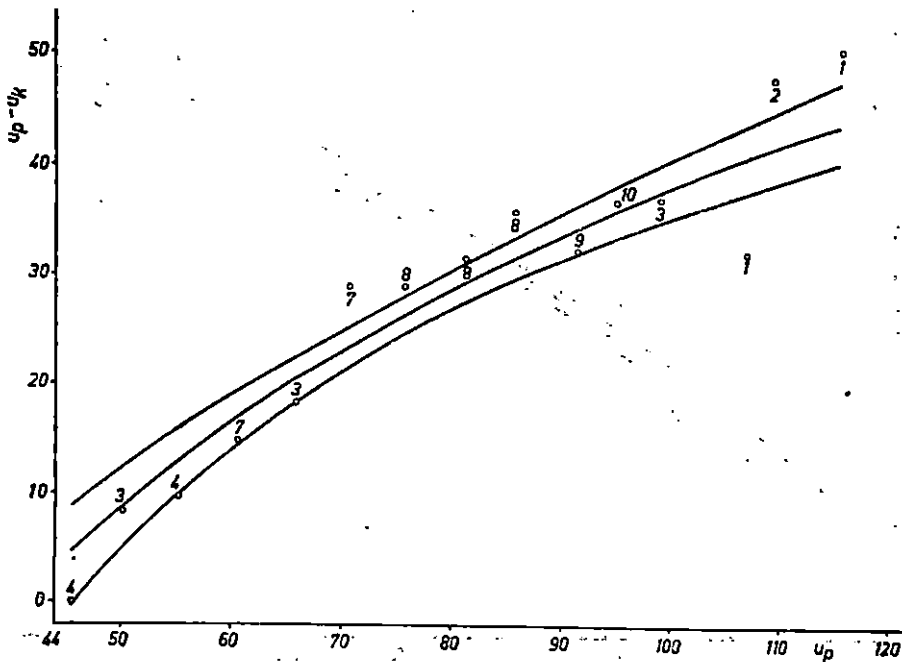
Sl. 38. Tlak 1 bar ( $u_p - u_k$ ) — Fig. 38. Pressure 1 bar ( $u_p - u_k$ )



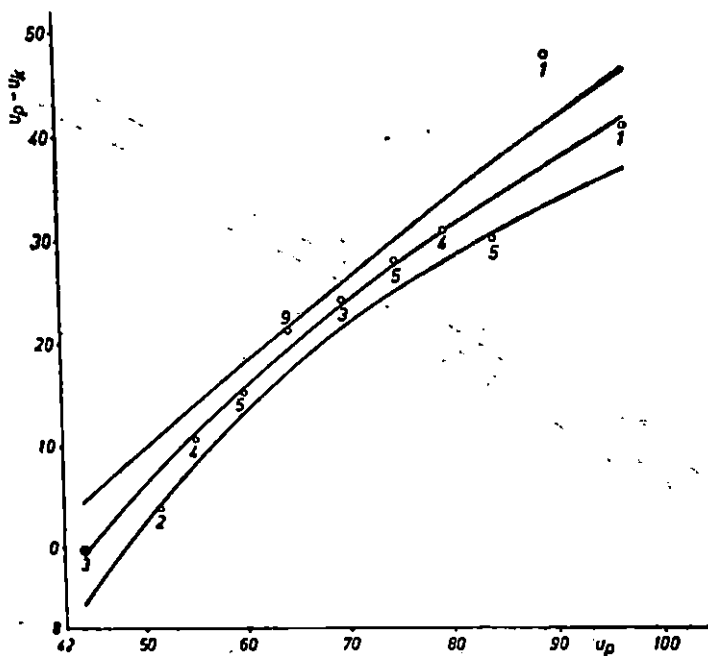
Sl. 39. Tlak 1,5 bar ( $u_p - u_k$ ) — Fig. 39. Pressure 1.5 bar ( $u_p - u_k$ )



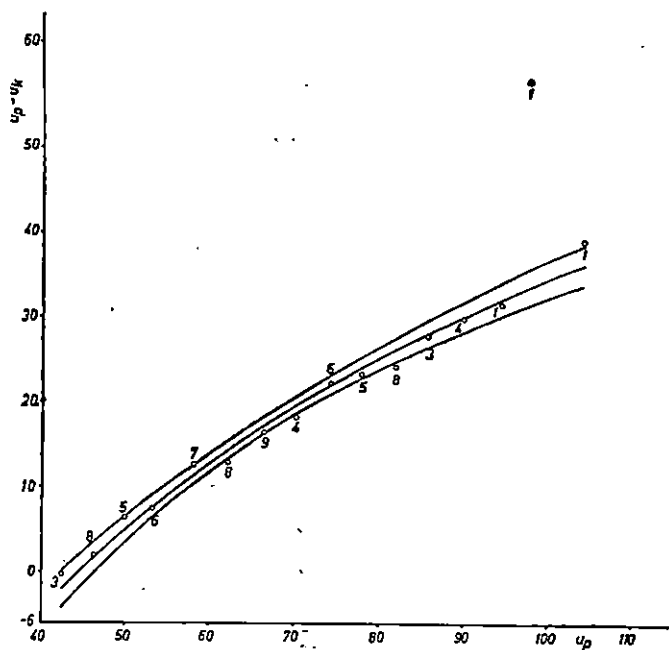
Sl. 40. Tlak 2 bara ( $u_p - u_k$ ) — Fig. 40. Pressure 2 bars ( $u_p - u_k$ )



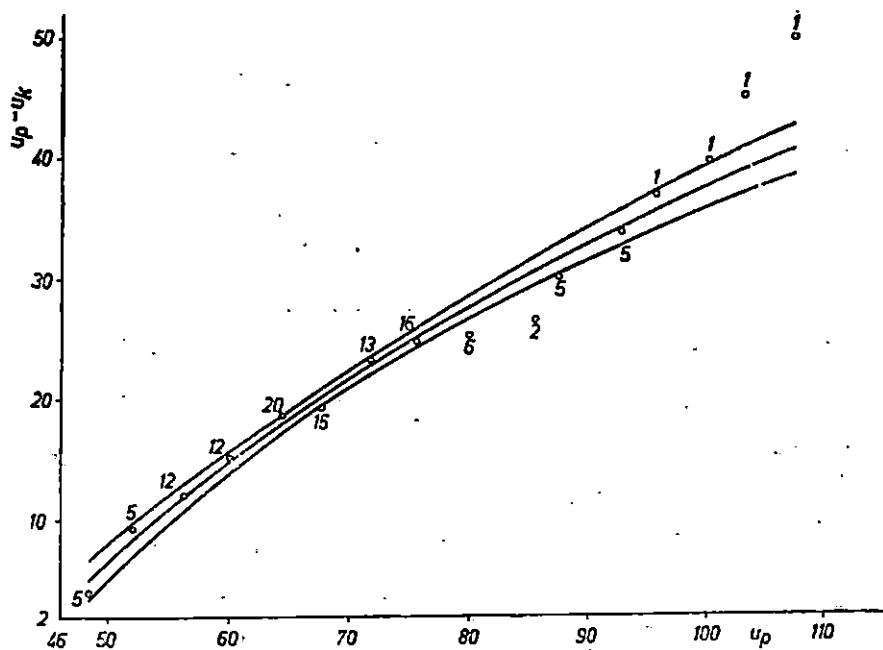
Sl. 41. Tlak 2,5 bara ( $u_p - u_k$ ) — Fig. 41. Pressure 2.5 bars ( $u_p - u_k$ )



Sl. 42. Tlak 3 bara ( $u_p - u_k$ ) — Fig. 42. Pressure 3 bars ( $u_p - u_k$ )



Sl. 43. Tlak 3,5 bara ( $u_p - u_k$ ) — Fig. 43. Pressure 3.5 bars ( $u_p - u_k$ )



Sl. 44. Tlak 4 bara ( $u_p - u_k$ ) — Fig. 44. Pressure 4 bars ( $u_p - u_k$ )

Objašnjenja oznaka na slikama 31 do 44 — Explanation of symbols in figure 31 to 44:

- $u_p$  ... početni sadržaj vode (‰) — initial water content (‰)  
 $u_k$  ... konačni sadržaj vode (‰) — final water content (‰)  
 $u_p - u_k$  ... razlika između početnog i konačnog sadržaja vode (‰) — difference between initial and final water content (‰)

Koeficijenti korelacije sadržani u tabeli 8 daju uvid u čvrstoću zavisnosti između pojedinih zavisnih (konačni sadržaj vode i razlika između početnog i konačnog sadržaja vode) i nezavisne varijable (početni sadržaj vode).

Tab. 8. Koeficijenti korelacije—Coefficients of correlation

Tlak Pressure (bar)	n	Koeficijenti korelacije (r) — Coefficients of Correlation (r)	
		$u_k / \ln u_p$	$(u_p - u_k) / \ln u_p$
1	139	.71	.60
1.5	105	.75	.92
2.0	40	.79	.60
2.5	77	.64	.79
3.0	42	.32	.83
3.5	79	.75	.91
4.0	120	.79	.88

Objašnjenja oznaka u tabeli 8 — Explanation of symbols in Tab. 8:

- $r$  ... koeficijent korelacije — coefficient of correlation  
 $u_k$  ... konačni sadržaj vode (‰) — final water content (‰)  
 $\ln u_p$  ... prirodni logaritam početnog sadržaja vode — natural logarithm of initial water content  
 $u_p - u_k$  ... razlika između početnog i konačnog sadržaja vode (‰) — difference between initial and final water content (‰)

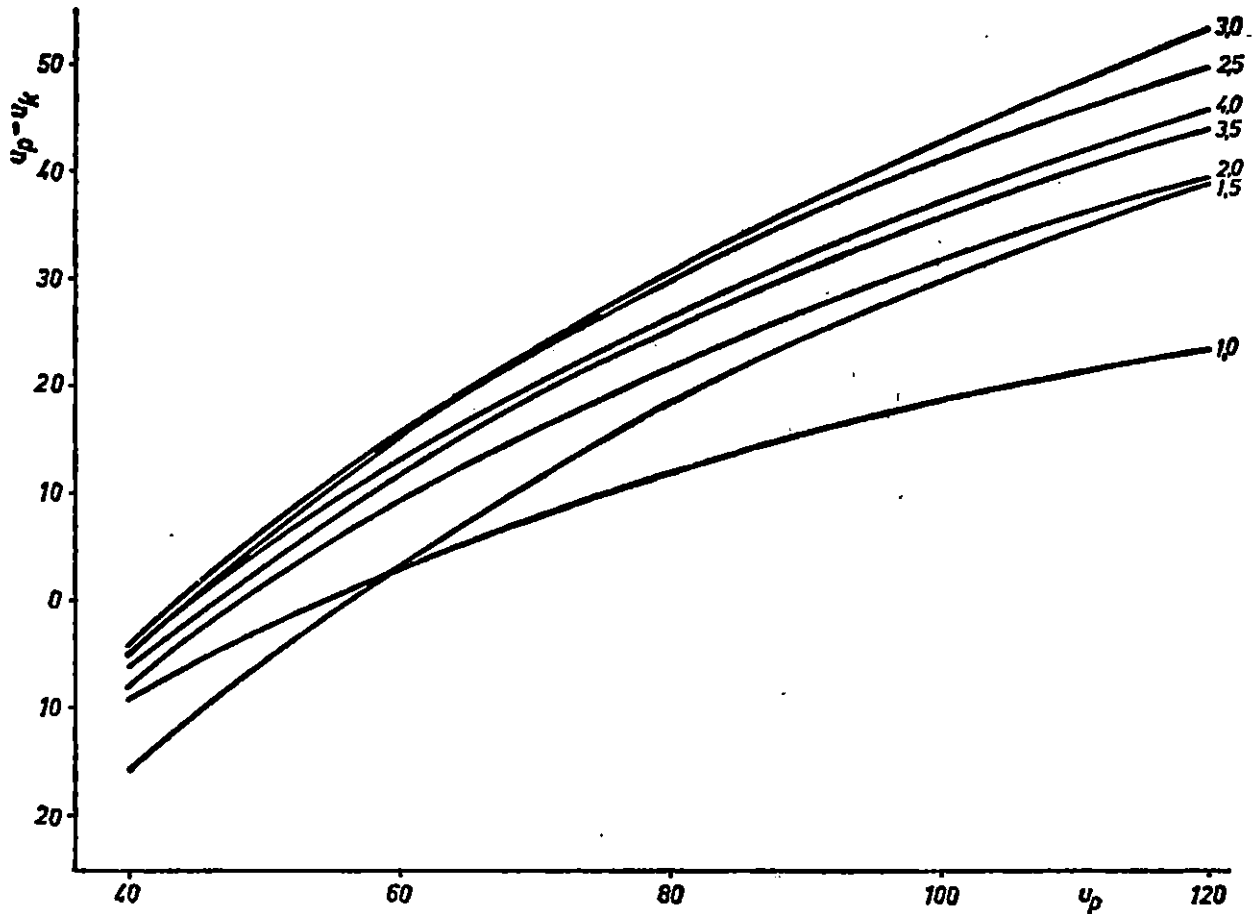
Iz tabele 8 vidimo da su koeficijenti korelacije znatni. Osim toga vidljivo je da se kod varijable konačnog sadržaja vode ( $u_k$ ) pojavio manji koeficijent korelacije (0,32) za tlak od 3 bara.

Tabela 9 prikazuje parametre, standardne devijacije i greške parametara.

Iz tabele 9 vidi se da su relativne greške parametara  $A_i$  i  $B_i$  male.

Na slici 45 prikazane su krivulje izjednačenja  $u_p - u_k = A + B \ln u_p$  za tlakove od 1 do 4 bara. Na apscisi su nanižete vrijednosti za početni sadržaj vode ( $u_p$ ), dok su na ordinati nanešene vrijednosti razlika između početnog i konačnog sadržaja vode ( $u_p - u_k$ ).

Iz slike 45 vidljivo je da su krivulje praktični paralelne, osobito u području početnog sadržaja vode ( $u_p$ ) od 60 do 120‰. Kod vrijednosti početnog sadržaja vode ( $u_p$ ) od približno 60‰, sijeku se krivulje za 1 i 1,5 bar.



Sl. 45. Krivulje izjednačenja  $u_p - u_k = A + B \ln u_p$  za tlakove od 1 do 4 bara — Fig. 45. Curves of equalization  $u_p - u_k = A + B \ln u_p$  for pressures from 1 to 4 bars

Pavlin Z.: Komparativna istraživanja sadržaja vode plijene bukovine narane zbog promjene boje pod tlakom od 1. do 4 bara. Glasnik za šum. pokuse 21:5-77, 1983.



Tab. 9. Parametri, standardne devijacije i relativne greške parametara — Parameters, standard deviations and relative errors of parameters

Tlak Pressure (bar)	n	$A_i$	$\sigma_{A_i}$	$\frac{\sigma_{A_i}}{A_i}$	$B_i$	$\sigma_{B_i}$	$\frac{\sigma_{B_i}}{B_i}$
1.0	139	-122.1678	15.34282	-.12559	30.5984	3.52007	.11504
1.5	105	-200.1490	9.30539	-.04649	49.9012	2.14782	.04304
2.0	40	-168.7148	71.00475	-.10079	43.5042	3.95270	.09086
2.5	77	-159.3485	16.88365	-.10595	42.9464	3.89216	.09063
3.0	42	-200.5751	23.67531	-.11804	52.8388	5.63945	.10673
3.5	79	-164.0849	9.65640	-.05885	43.2273	2.31160	.05348
4.0	120	-168.8219	9.26908	-.05490	44.8437	2.19377	.04892

$$\bar{B} = 43.98$$

Objašnjenja oznaka u tabeli 9 — Explanation of symbols in Tab. 9:

- $A_i; B_i$  ... parametri za pojedine tlakove — parameters for individual pressures
- $\sigma_{A_i}$  ... standardne devijacije parametara  $A_i$  — standard deviations of parameters  $A_i$
- $\sigma_{B_i}$  ... standardne devijacije parametara  $B_i$  — standard deviations of parameters  $B_i$
- $\frac{\sigma_{A_i}}{A_i}$  ... relativne greške parametara  $A_i$  — relative errors of parameters  $A_i$
- $\frac{\sigma_{B_i}}{B_i}$  ... relativne greške parametara  $B_i$  — relative errors of parameters  $B_i$
- $\bar{B}$  ... aritmetička sredina parametara  $B_i$  — arithmetic mean of parameters  $B_i$

Raspored krivulja izjednačenja je pravilan za područje tlakova od 1 do 3 bara. Za ovo područje možemo reći da će se, uz isti početni sadržaj vode ( $u_p$ ), s povećanjem tlaka, konačni sadržaj vode ( $u_k$ ) stalno smanjivati, dok će se razlika između početnog i konačnog sadržaja vode ( $u_p - u_k$ ) stalno povećavati. Krivulje izjednačenja za tlakove od 3 i 4 bara nalaze se između krivulja za tlakove od 2 i 2,5 bara.

Tabela 10 daje parametre, varijance i Bartlettov test za varijance parametara.

Tabela 10 prikazuje upoređivanje točnosti procjene parametara za pojedine tlakove. Vidljivo je da su greške različite; jer je  $\chi^2$  signifikantan.

U tabeli 11 prikazan je Bartlettov test za varijance parametara A od 1 do 3 bara.

Tab. 10. Parametri, varijance i Bartlett-ov test za varijance parametara  
— Parameters, variances and Bartlett test for variance of parameters

Tlak Pressure (bar)	n	A	B	VAR A	VAR B	VARY/X
1	139	—118.60540	29.77797	237.90765	12.52332	53.08557
1.5	105	—199.59410	49.77367	77.97493	4.15484	24.57450
2.0	40	—167.04888	43.11764	296.21573	16.00555	25.22337
2.5	77	—181.32738	48.17598	153.13945	8.13915	32.95075
3.0	42	—199.39130	52.55608	555.05952	31.49243	48.58712
3.5	79	—163.64457	43.12234	91.85738	5.26418	21.30647
4.0	120	—167.34696	44.38794	51.99693	2.91288	10.46347

$\chi^2_A = 145.34934$   
 $\chi^2_B = 147.25580$  bez jedinice

$\chi^2_A = 158.29644$   
 $\chi^2_B = 157.62218$  sa jedinicom

Objašnjenja oznaka u tabeli 10 — Explanation of symbols in Tab. 10:

- A, B ... parametri — parameters  
 VAR A, VAR B. ... varijance od A i B — variances of A and B  
 VARY/X ... varijanca Y s obzirom na X — variance Y with respect to X  
 $\chi^2_A, \chi^2_B$  ... hi-kvadrati za parametre A i B — chi-squares for parameters A and B

Tab. 11. Bartlettov test za varijance parametara A od 1 do 3 bara — Bartlett test for variances of parameters A from 1 to 3 bars

Tlak Pressure (bar)	$f_i$	$S_i^2$	$f_i S_i^2$	$\log S_i^2$	$f_i \log S_i^2$	$\frac{1}{f_i}$
1	139	237.908	33069.212	2.37640	330.31960	.0071942
1.5	105	77.975	8187.375	1.89196	198.65580	.0095238
2.0	40	296.216	11848.640	2.47161	98.86440	.0250000
2.5	77	153.139	11791.703	2.18509	168.25193	.0129870
3.0	42	555.060	23312.520	2.74434	115.26228	.0238095
a = 5	403		88209.450		911.35401	.0785145

$$\frac{1}{\sum f_i} = 0.0024814 \quad \bar{S}^2 = \frac{\sum f_i S_i^2}{\sum f_i} = \frac{88209.45}{403} = 218.882$$

$$(f_i) \log \bar{S}^2 = 403 \times 2.34021 = 943.10463$$

$$M = 2.3026 [(\sum f_i) \log \bar{S}^2 - f_i \times \log S_i^2] = 73.108978$$

$$C = 1 + \frac{1}{3 \cdot 4} / \sum \frac{1}{f_i} - \frac{1}{\sum f_i} = 1.006336$$

$$\chi^2 = \frac{M}{C} = \frac{73.108978}{1.006336} = 72.65$$

visoko signifikantno

Objašnjenja oznaka u tabeli 11-Explanation of symbols in Tab. 11:

$f_i$  ... broj uzoraka za pojedini tlak — number of samples for individual pressure

$s_i^2$  ... nepristrana procjena varijance — neutral evaluation of variance

Iz tabele 11 vidi se da je razlika varijanci i za parametre od 1 do 3 bara signifikantna.

U tabeli 12 prikazano je računanje ordinata do izjednačene krivulje (krivulje izjednačenja).

Tab. 12. Računanje ordinata do krivulje izjednačenja  $Y = A_1 + B \ln X$   $B = 45,9227$   
 — Computing of coordinates to curve of equalization  $Y = A_1 + B \ln X$   $B = 45.9227$

Tlak Pressure (bar)	X	ln X	B ln X	$A_1 + B \ln X = Y$
1.5	40	3.6889	169.40425	— 13.5338
	50	3.9120	179.64960	— 3.2885
	60	4.0944	188.02590	+ 5.0878
	70	4.2485	195.10259	+ 12.1645
	80	4.3820	201.23327	+ 18.2952
	90	4.4998	206.64297	23.7049
	100	4.6052	211.48322	28.5452
2.0	40	3.6889	169.40425	— 9.7047
	50	3.9120	179.64960	+ .5407
	60	4.0944	188.02590	+ 8.9170
	70	4.2485	195.10259	15.9936
	80	4.3820	201.23327	22.1243
	90	4.4998	206.64297	27.5340
	100	4.6052	211.48322	32.3743

Tab. 12. Nastavak — Continuation

Tlak Pressure (bar)	X	ln X	B ln X	$A_i + B \ln X = Y$
2.5	40	3.6889	169.40425	— 2.8368
	50	3.9120	179.64960	+ 7.4085
	60	4.0944	188.02590	15.7848
	70	4.2485	195.10259	22.8615
	80	4.3820	201.23327	28.9922
	90	4.4998	206.64297	34.4019
	100	4.6052	211.48322	39.2421
3.0	40	3.6889	169.40425	— 2.1665
	50	3.9120	179.64960	+ 8.0789
	60	4.0944	188.02590	16.4552
	70	4.2485	195.10259	23.5318
	80	4.3820	201.23327	29.6625
	90	4.4998	206.64297	35.0722
	100	4.6052	211.48322	39.9125
3.5	40	3.6889	169.40425	— 5.9234
	50	3.9120	179.64960	+ 4.3220
	60	4.0944	188.02590	12.6983
	70	4.2485	195.10259	19.7750
	80	4.3820	201.23327	25.9057
	90	4.4998	206.64297	31.3154
	100	4.6052	211.48322	36.1556
4.0	40	3.6889	169.40425	— 3.9727
	50	3.9120	179.64960	+ 6.2727
	60	4.0944	188.02590	14.6490
	70	4.2485	195.10259	21.7257
	80	4.3820	201.23327	27.8564
	90	4.4998	206.64297	33.2661
	100	4.6052	211.48322	38.1063

Objašnjenja oznaka u tabeli 12 — Explanation of symbols in Table 12:

X ... početni sadržaj vode ( $u_p$ ) — initial water content ( $u_p$ )

Y ... razlika između početnog i konačnog sadržaja vode ( $u_p - u_k$ ) — difference between initial and final water content ( $u_p - u_k$ )

$A_i$  ... pojedinačni parametar A za svaki tlak uz prosječni parametar B — individual parameter A for every pressure at average parameter B

B ... prosječni parametar B — average parameter B

Tabela 13 pokazuje računanje parametara A za svaki tlak od 1,5 do 4 bara uz hipotetski parametar B.

Tab. 13. Računanje parametara A uz hipotetski B (B = 45,9227) — Computing of parameters A at hypothetic B (B = 45.9227)

Tlak Pressure (bar)	n	$\bar{y}$	$\Sigma \ln X$	$\frac{45.9227 \Sigma \ln X}{n}$	$A_i$
1.5	105	15.7266	454.237	198.66466	-182.93806
2.0	40	18.2450	171.901	197.35395	-179.10895
2.5	77	26.6883	333.551	198.92938	-172.24108
3.0	42	21.0214	176.141	192.59215	-171.57075
3.5	79	16.2241	329.523	191.55172	-175.32762
4.0	120	20.4942	506.602	193.87110	-173.37690

$$A = \bar{y} - \frac{45.9227 \Sigma \ln X}{n}$$

Objašnjenja oznaka u tabeli 13 — Explanation of symbols in Table 13:

$\bar{y}$  ... srednja vrijednost razlike početnog i konačnog sadržaja vode ( $u_p - u_k$ ) za pojedine tlakove — mean value of difference between initial and final water content ( $u_p - u_k$ ) for individual pressures

X ... početni sadržaj vode ( $u_p$ ) — initial water content ( $u_p$ )

Jednadžbe za hipotetski model  
Equations for hypothetic model

$$\begin{aligned} 1.5 \text{ bar } u_p - u_k &= -182.94 + 45.92 \ln u_p \\ 2.0 \text{ bara } u_p - u_k &= -179.11 + 45.92 \ln u_p \\ 2.5 \text{ bara } u_p - u_k &= -172.24 + 45.92 \ln u_p \\ 3.0 \text{ bara } u_p - u_k &= -171.57 + 45.92 \ln u_p \\ 3.5 \text{ bara } u_p - u_k &= -175.33 + 45.92 \ln u_p \\ 4.0 \text{ bara } u_p - u_k &= -173.38 + 45.92 \ln u_p \end{aligned}$$

Jednadžbe za maksimalni model  
Equations for maximum model

$$\begin{aligned} 1.5 \text{ bar } u_p - u_k &= -199.59 + 49.77 \ln u_p \\ 2.0 \text{ bara } u_p - u_k &= -167.05 + 43.12 \ln u_p \\ 2.5 \text{ bara } u_p - u_k &= -181.33 + 48.18 \ln u_p \\ 3.0 \text{ bara } u_p - u_k &= -199.39 + 52.56 \ln u_p \\ 3.5 \text{ bara } u_p - u_k &= -163.64 + 43.12 \ln u_p \\ 4.0 \text{ bara } u_p - u_k &= -167.35 + 44.39 \ln u_p \end{aligned}$$

Tabela 14 prikazuje usporedbu hipotetskog i maksimalnog modela za svaki tlak posebno.

Tab. 14. Upoređivanje hipotetskog i maksimalnog modela za svaki tlak posebno (od 1,5 do 4 bara) — Comparison of hypothetic and maximum model for every pressure separately (from 1.5 to 4 bars)

	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
SKRY	2769.1520	928.4875	4567.2939	1942.2825	1654.2923	2019.6066
SKRYN	2860.8440	937.7193	4603.0393	2014.9396	1682.5966	2024.2391
Razlika Difference	91.6920	9.2318	35.7454	72.6571	28.3043	4.6325
N	105	40	77	42		120
N — 2	103	38	75	40	77	118
$P = \frac{SKRY}{N - 2}$	26.8849	24.4338	60.8972	48.5570	21.4843	17.1153
$F = \frac{\text{Razl. (Differ.)}}{P}$	3.4105	.3778	.5869	1.4963	1.3174	.2706
Signifikantno Significantly	ne no	ne no	ne no	ne no	ne no	ne no

Objašnjenja oznaka u tabeli 14 — Explanation of symbols in Tab. 14:

SKRY ... suma kvadrata odstupanja  $y$  od srednje vrijednosti kod maksimalnog modela — sum of square deviations  $y$  from mean value at maximum model

SKRYN ... suma kvadrata odstupanja  $y$  od srednje vrijednosti kod hipotetskog modela — sum of square deviations  $y$  from mean value at hypothetical model

Iz tabele 14 vidljivo je, da se nijedna suma kvadrata odstupanja za hipotetski model, signifikantno ne razlikuje, od njoj odgovarajuće sume kvadrata odstupanja za optimalni model.

Na slici 46 prikazane su linije izjednačenja sa hipotetskim srednjim parametrom B za tlakove od 1,5 do 4 bara.

Na slici 46 primjećuje se da je raspored linija izjednačenja s hipotetskim srednjim B isti kao i u krivuljama izjednačenja (sl. 45). Postoje male razlike (u nivoima) što je i razumljivo, jer je kod linija izjednačenja s hipotetskim B izostavljena linija za 1 bar.

## DISKUSIJA — DISCUSSION

### 1. Diskusija obrade podataka — Discussion on data processing

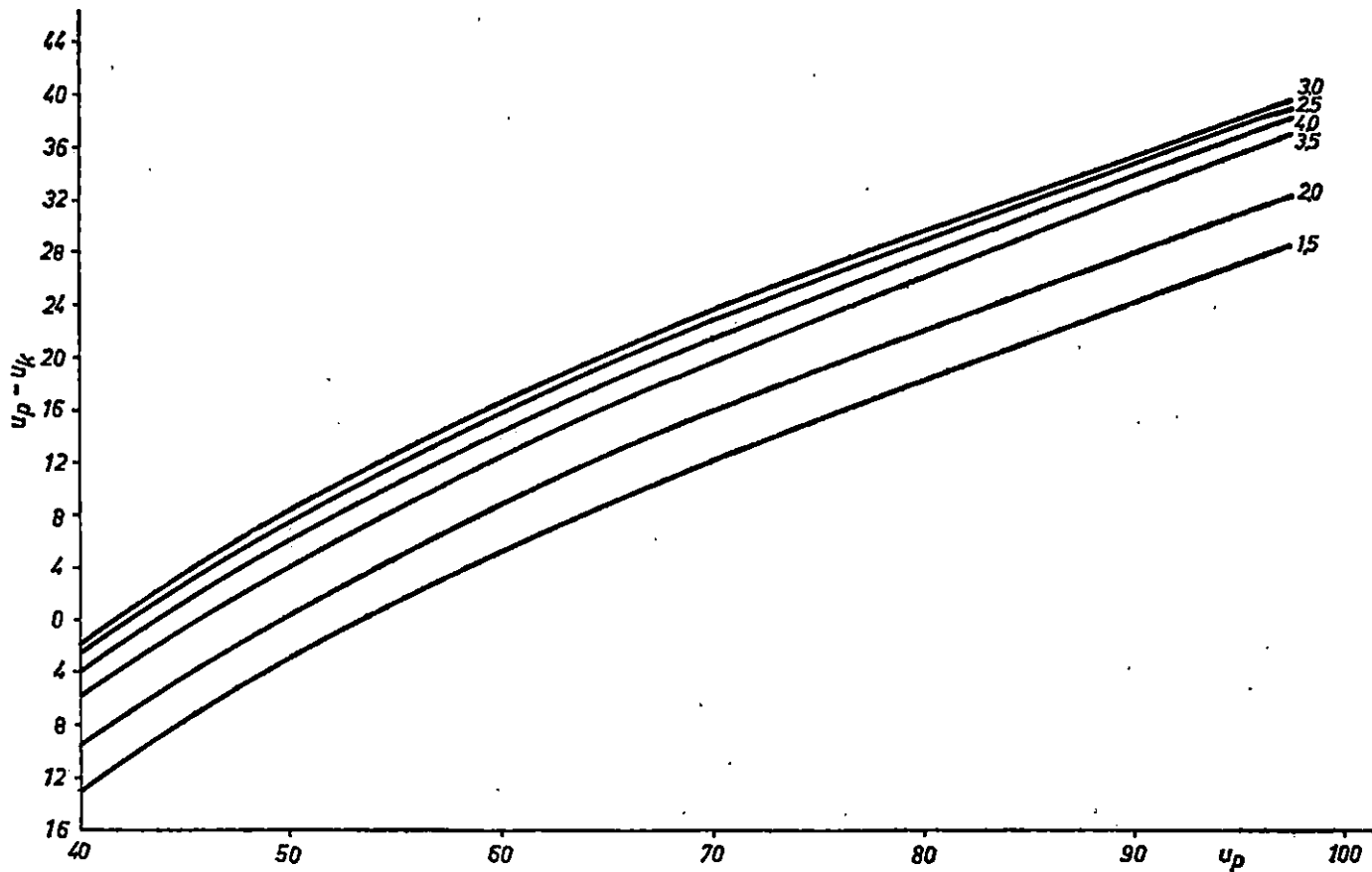
Ovisnost sadržaja vode u drvu poslije parenja ( $u_k$ ) o sadržaju vode u drvu prije parenja ( $u_p$ ) ispitivali smo pri procesima parenja kod različitih tlakova (1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5 i 4 bara). Kao kriterij za završeni proces parenja kod pojedinih tlakova uzeta je boja parenog drva u normalnim parionicama.

Izvjesnu poteškoću kod analize rezultata predstavljale su nam različite varijance pojedinih uzoraka. Ta je činjenica posljedica želje da pokus izvedemo u što je moguće većem rasponu početnog sadržaja vode (od 40 do 120%) što nam je prema našim predviđanjima bilo potrebno za promatranje ovisnosti promjena sadržaja vode u drvu poslije parenja o sadržaju vode u drvu prije parenja. Razlike u početnom sadržaju vode drva dobivene su ostavljanjem drva u složaju kroz različito vrijeme (do 40 dana). Na taj način su komadi drva za parenje kod odgovarajućeg tlaka postigli različiti sadržaj vode. Kod toga su komadi drva bili s oba čela zaštićeni premazom (silikonskom gumom). Tako smo postigli odgovarajuće raspone za početni sadržaj vode u drvu ( $u_p$ ) što je vidljivo u tabeli 5.

Objašnjenja oznaka na slici 46 — Explanation of symbols in fig. 46:

$u_p$  ... početni sadržaj vode (%) — initial water content (%)

$u_p - u_k$  ... razlika između početnog i konačnog sadržaja vode (%) — difference between initial and final water content (%)



Sl. 46. Linije izjednačenja sa hipotetskim srednjim B ( $B = 45,9227$ ) — Fig. 46. Lines of equalization with hypothetical medium B ( $B = 45.9227$ )

Pavlin Z.: Komparativna istraživanja sadržaja vode pitljane bukovine narone zbog promjene boje pod tlakom od 1 do 4 bara. Glasnik za sum. pokuse 21:5-77, 1983.



Na taj smo način postigli raspon za početni sadržaj vode u drvu (vidi tab. 5), ali smo odstupili od zahtjeva matematske statistike, da uzorke formiramo tako da budu što jednoličnijeg početnog sadržaja vode. Tih nesavršenosti u strukturi uzoraka smo svjesni, međutim nismo ih mogli izbjeći.

Tabela 7 prikazuje kako se varijance i srednje vrijednosti početnog odnosno konačnog sadržaja vode mijenjaju od uzorka do uzorka. Smatrali smo da je tabela 7 korisna za uvid u poteškoće na koje smo nailazili kod ispitivanja tog fenomena. Poteškoće se vide u nehomogenosti materijala. Za različite tlakove početni sadržaj vode bio je različito distribuiran.

Ukupno je izvršeno  $12 \times 7 = 84$  izjednačenja. Smatrali smo za shodno da priložimo samo logaritamske krivulje za zavisne varijable konačnog sadržaja vode ( $u_k$ ) odnosno razlike između početnog i konačnog sadržaja vode ( $u_p - u_k$ ), zajedno s odgovarajućim granicama konfidencije (slike 31 do 44). Razlozi tome su slijedeći. Bez ikakvih daljnjih računanja mogla se odmah, smo na temelju slika izbaciti eksponencijalna funkcija

$$\left( Y = C + Ae^{-\frac{b}{u_p}} \right)$$

kao neprikladna, jer su odstupanja izjednačene funkcije od mjerenih točaka uočljivo velike. Ostala je dilema da li da se prihvate parabole ili da se prihvate logaritamske funkcije.

Iz podataka dobivenih obradom na elektronskom računaru kao i iz slika (koje su nacrtane na osnovu tih podataka) evidentno je da su izjednačenja rađena sa zavisnim varijablama (relativni gubitak u sadržaju vode s obzirom na početni i konačni sadržaj vode) dala daleko slabije rezultate. Ta su izjednačenja daleko manje prilagođena podacima, nego što su to varijable razlika između početnog i konačnog sadržaja vode ( $u_p - u_k$ ), odnosno sama varijabla konačnog sadržaja vode ( $u_k$ ). Na taj smo način eliminirali dvije varijable. Preostale su nam još 4 mogućnosti: logaritamska krivulja i parabola s time da svaka od njih ima po dvije varijable tj. razliku između početnog i konačnog sadržaja vode ( $u_p - u_k$ ) i konačni sadržaj vode ( $u_k$ ).

Kada smo izjednačene parabole nacrtali vidjeli smo da su sve one (osim kod tlakova od 2,5 i 3 bara) praktički pravci. To se vidjelo i iz jednadžbi u kojima je koeficijent uz  $X^2$  vrlo mali. U odabiranju najpogodnije funkcije za interpretaciju promatranih pojava rukovodili smo se idejom da bi za sve tlakove trebali dobiti isti oblik zavisnosti. Smatrali smo da nema razloga da bi se po obliku neka od krivulja trebala značajno razlikovati od ostalih. Zbog toga nam je preostalo da ili pojavu aproksimiramo pravcima ili logaritamskim krivuljama. Za logaritamske krivulje smo se odlučili iz dva razloga. Prvo, smatrali smo da su promatrane pojave takove, da će za pojedine tlakove s povećanjem početnog sadržaja vode ( $u_p$ ) konačni sadržaj vode ( $u_k$ ) rasti sve sporije i sporije, a ne proporcionalno. Drugo, tlakove (od 2,5 odnosno 3 bara) kod kojih se pokazao zakrivljeni trend nismo morali izjednačavati pravcima. Odlučili smo se za prihvaćanje funkcije  $Y = A + B \ln u_p$ . Sada je još trebalo odabrati jednu od dva preostala oblika zavisne varijable. Ostala je dakle dilema koju funkciju odabrati, da li  $u_p - u_k = A + B \ln u_p$ , ili  $u_k = A + B \ln u_p$ .

Da bi odredili koja nam je od tih dviju funkcija zgodnija, odnosno koja je bolje adaptirana našim podacima odlučili smo da ispitamo koeficijente korelacije između promatranih varijabli. Zbog toga smo za svaki tlak izračunali koeficijent korelacije između:

prvo:  $u_p - u_k$  i  $\ln u_p$

drugo:  $u_k$  i  $\ln u_p$

Ti su rezultati dani u tabeli 8. Smatrali smo da je prednost na strani varijable  $u_p - u_k$ , tj. da je ona čvršće korelirana s nezavisnom varijablom  $\ln u_p$ . Promatramo li tabelu 8 vidjet ćemo da su 5 koeficijenta korelacije varijable  $u_p - u_k$  veći nego kod  $u_k$ . Zaključili smo dakle da je razlika između početnog i konačnog sadržaja vode ( $u_p - u_k$ ) čvršće povezana s početnim sadržajem vode ( $u_p$ ) nego što je konačni sadržaj vode ( $u_k$ ) povezan s početnim sadržajem vode. Zbog toga smo kao zavisnu varijablu odabrali razliku između početnog i konačnog sadržaja vode ( $u_p - u_k$ ).

Od svih 12 mogućnosti, mi smo se konačno odlučili na funkciju  $u_p - u_k = A + B \ln u_p$ , jer smatramo da nam zbog gore navedenih razloga najbolje interpretira promatranu pojavu. Osim što je varijabla razlike između početnog i konačnog sadržaja vode ( $u_p - u_k$ ) najjače korelirana s  $\ln u_p$ , ta jednadžba je prikladna za sve tlakove, što uključuje mogućnost uspoređivanja toka pojave. Sve o čemu ćemo dalje govoriti odnosi se samo na ovu funkciju.

Željeli smo ispitati da li se parametri  $B_i$  odnosno  $A_i$  od tlaka do tlaka signifikantno razlikuju (parametri za pojedine tlakove dani su u tabeli 9). Drugim riječima da li su dobivene razlike u nagibima odnosno nivoima od krivulje do krivulje samo slučajne ili su one bitne. Sl. 45 pokazuje te krivulje. Na osnovu slike može se reći:

- Promjene u sadržaju vode tokom parenja bukovine u određenom su odnosu sa logaritmom početnog sadržaja vode neposredno pred početak parenja.
- Promjene u sadržaju vode ( $u_p - u_k$ ) pokazuju stalni porast u odnosu na porast početnog sadržaja vode ( $u_p$ ) za pojedini tlak. S obzirom na postepeno smanjenje porasta krivulje su degresivne.
- Krivulje su praktički paralelne, osobito u području početnog sadržaja vode ( $u_p$ ) od 60 do 120%. Kod vrijednosti početnog sadržaja vode ( $u_p$ ) od približno 60%, sijeku se krivulje za tlakove od 1 do 1,5 bara.
- Raspored krivulja izjednačenja pravilan je za područje tlakova od 1 do 3 bara. Za ovo će područje tlakova razlika između početnog i konačnog sadržaja vode ( $u_p - u_k$ ), uz isti početni sadržaj vode ( $u_p$ ), biti to veća što je veći tlak. Krivulje za 3,5 i 4 bara nalaze se između krivulje za 2 i 2,5 bara.
- S povećanjem tlaka parenja u granicama od 1 do 3 bara konačni sadržaj vode ( $u_k$ ) stalno se smanjuje, dok se razlike između početnog i konačnog sadržaja vode ( $u_p - u_k$ ) stalno povećavaju.
- Kod tlakova od 3,5 i 4 bara, konačni sadržaj vode nešto je veći nego kod tlaka od 3 bara, dok su razlike između početnog i konačnog sadržaja vode ( $u_p - u_k$ ) nešto manje nego kod tlaka od 3 bara.

S obzirom da su krivulje praktički paralelne, navode nas na zaključak da se krivulje razlikuju u nivoima. Pokušali smo tu pretpostavku matematski dokazati. Ta se ispitivanja provode Snedecorovim testom. Međutim Snedecorov test može se provesti tek uz dokazanu pretpostavku da se varijance parametara A odnosno parametara B signifikantno ne razlikuju. Ta, da je tako nazovemo pomoćna hipoteza provjerava se Bartlettovim testom.

Ovaj puta smo negrupirane podatke (podaci koji nisu sortirani u grupe) dali stroju na obradu. Izjednačavali smo samo funkciju  $u_p - u_k = A + B \ln u_p$ . Stroj je izračunao sada parametre koji se nešto razlikuju (razlika je posljedica računa s negrupiranim podacima) od onih navedenih u tabeli 9. Stroj je također izračunao potrebne veličine  $\chi^2$ . Pokušali smo taj test provesti za sve pritiske, a posebno za sve ali bez pritiska od 1 bar. Ti su rezultati dani pregledno u tabeli 10.

Možda je ovdje potrebno napomenuti da smo na izjednačenje negrupiranih podataka išli iz čisto tehničkih razloga (raspolagali smo s gotovim programima za negrupirane podatke) i da se nikako nisu mogle pojaviti bitne razlike u rezultatima. Ovo navodimo za to da čitalac ne bi bio u nedoumici koji su parametri točni, da li oni u tabeli 9 ili oni u tabeli 10. Odgovor je jednostavan i jedni i drugi parametri su jednako točni, naime nalaze se unutar granice greške.

Hipotezu jednakih varijanci parametara B, odbacujemo dakle s velikom sigurnošću. Iz tabele 10 vidi se kako su velike veličine  $\chi^2$ . Objašnjenje za ovakve razlike varijanci, kao i za velike razlike u varijancama oko linije izjednačenja dano je već u početku ovog poglavlja, gdje se govorilo o formiranju i strukturi uzoraka početnog sadržaja vode ( $u_p$ ).

Pokušali smo još da provedemo Bartlettov test za tlakove od 1 do 3 bara, a posebno za tlakove od 3,5 do 4 bara. Izgledalo nam je da bi 3,5 i 4 bara mogli činiti jednu te istu grupu. Test je proveden i naveden u tabeli 11. Kako se iz tabele vidi razlika varijanci je opet signifikantna. Otpala je dakle svaka mogućnost statističkog testiranja hipoteze o nivoima, odnosno nagibima. Morali smo se dakle zadovoljiti čisto vizuelnom ocjenom na temelju slike 45.

Pokušali smo objasniti promjene rasporeda krivulja kod 3,5 i 4 bara. Značajnost tih promjena nismo mogli matematski dokazati. Za njih imamo teoretsko kemijsko fizikalno objašnjenje, koje se osniva na različitim reakcijama depolimerizacije hemiceluloznih dijelova drva, a čije se tumačenje iznosi u točki 2 u ovom poglavlju.

Iz slike 45 kao i rezultata u tabeli 9 se daje naslutiti, da su sve krivulje od 1,5 do 4 bara međusobno paralelne. Zbog toga smo odlučili, formirati hipotetski model, u kojem bi sve krivulje izjednačenja imale isti koeficijent B\*.

Izračunali smo srednji B (tabela 12) i to tako da smo za pondere uzeli recipročnu vrijednost  $\sigma_B^2$ . Tako dobiven B iznosi 45,9227. Tada smo ponovo izvršili izjednačenje za svaki tlak ali sa gore navedenim hipotetskim B.

\* Čitav postupak smo proveli i zajedno s 1 bar, međutim bez očekivanih rezultata pa to ni ne navodimo.

Na taj način izračunate vrijednosti parametara A navedene su u tabeli 13. Za svaki tlak smo tada izračunali sumu kvadrata odstupanja od te nove linije izjednačenja. Naravno da su te sume veće od prije izračunanih optimalnih.

F testom provjerili smo da se nijedna suma kvadrata odstupanja za hipotetski model ne razlikuje signifikantno od njoj odgovarajuće sume kvadrata odstupanja za optimalni model. F ili Fisherov test služi za uspoređivanje  $\chi^2$  (hi-kvadrat) varijabli. Najčešće njime uspoređujemo varijance dvaju uzoraka i probleme iz analize varijance. Taj račun zajedno s F varijablama naveden je u tabeli 14. Krivulje izjednačenja izračunane na taj način dane su na slici 46.

Krivulje izjednačenja (sl. 45) od 1 do 3 bara s obzirom na relativno niske radne tlakove i temperature, a bez obzira na srazmjerno dugo vrijeme parenja, raspoređene su prema našem očekivanju. Iz navedene slike proizlazi da prilikom parenja piljene bukovine, s povećanjem tlaka u granicama od 1 do 3 bara, konačni sadržaj vode stalno se smanjuje, dok se razlike između početnog i konačnog sadržaja vode stalno povećavaju. Prilikom parenja piljene bukovine kod tlakova od 3,5 i 4 bara, konačni sadržaj vode ( $u_k$ ) nešto je veći nego kod bukovine parene pod tlakom od 3 bara (za 3,77% odnosno 2,68%), a razlike između početnog i konačnog sadržaja vode ( $u_p - u_k$ ) nešto su manje nego kod bukovine pod tlakom od 3 bara (za 4,79% odnosno 0,96%). Do sličnog zapažanja došao je Zaharževskij (1949) koji između ostalih zaključaka navodi da se s povećanjem pritiska pare prilikom parenja smanjuje sadržaj vode u drvu.

## 2. Objašnjenje promjena rasporeda krivulja, kemijskim procesima degradacije drvene tvari — Explanation of curve arrangement changes by chemical processes of degradation of wood matter

Statistika ne daje objašnjenja za uzroke promjena u rasporedu krivulja. Ove se promjene mogu objasniti teoretskim postavkama. Za vrijeme procesa parenja djelovanjem tlaka, temperature i vremena trajanja, došlo je do promjena na najosjetljivijim dijelovima drvene tvari bukovine, parene u svrhu promjene boje. Promjene rasporeda kod krivulja od 3,5 i 4 bara mogu se opravdati značajnijom degradacijom drvene tvari koja je pretežno nastala uslijed hidrolize amorfnih polioza i poliuronida (Nikitin, 1955).

Hemicelulozni dio drvnih polioza tj. amorfne polioze koje sadrže acetilnu grupu ( $-\text{COCH}_3$ ), metoksilnu grupu ( $-\text{OCH}_3$ ), poliuronske kiseline, ksilane, arabane, glukozane, galaktane, manane i polimere mješanih pentozan-heksozana, tj. kisele dijelove drvnih polioza, lagano hidroliziraju i pod utjecajem nastalih slobodnih kiselina prelaze u monosaharide i furfural, koji djelomično prelaze u kondenzat a furfural djelomično u kondenzacione i polimerizacione spojeve (Wenzel, 1954) koji povećavaju sadržaj ligninske tvari drva.

Budući da su ekstrahirane tvari drva nosioci hidrofилnih svojstava, to će se i sposobnost apsorpcije vode u drvu bukovine smanjiti (Kürschner i Wittenberg, 1939) Razlike između početnog i konačnog

sadržaja vode prilikom parenja bukovine pod tlakovima od 3,5 i 4 bara, u skladu sa iznešenim, biti će manje (za 4,79% odnosno 0,96%) od razlike kod 3 bara.

U ovoj radnji nisu obuhvaćena istraživanja u vezi prelaza amorfnih polioza u hidrolizat, što se nije izričito ni postavilo kao zadatak radnje, ali otvara mogućnost daljnjeg istraživanja problema parenja drva u ovom smjeru. Uzevši u obzir sve varijante tlaka u ovoj radnji značajno je da je brzina reakcije lako hidrolizirajućih dijelova drva (hemiceluloza i poliuroida) znatno ovisnija o koncentraciji nastalog hidrolizata nego o radnom pritisku i temperaturi, što je u skladu s poznatom formulom za bimolekularne reakcije brzine hidrolize drva (Šarkov, 1945; Nikitin, 1955):

$$\frac{dx}{dt} = K(a - x)$$

a .... početna količina polisaharida

x .... količina polisaharida hidrolizirana u vremenu t

K .... konstanta brzine hidrolize.

Sve krivulje dijagrama (sl. 45) odnose se na određeni uzorak boje parene bukovine. Kao što je već rečeno boja drva nastaje kod niskih tlakova uslijed izluživanja hidrolizirajućih i kondenzirajućih tanina. Prema literaturi danas se smatra da u prethidrolizatu bukovine, kod niskih tlakova dolaze pretežno kondenzirani tanini (pirokatehinski) (Kozmal, Šuty i Mozolova, 1969). Kod viših tlakova tj. kod tlakova od 3,5 i 4 bara nastaju u hidrolizatu fenolne supstance vrlo kompliciranog sastava (Hillis, 1971).

Promjene u rasporedu krivulja izjednačenja (pad nivoa krivulja) kod tlakova 3,5 i 4 bara mogu se tumačiti, prema ranije spomenutim autorima, različitim brzinama reakcije depolimerizacije hemiceluloznih dijelova drva (hidroliza) s obzirom na promjene tlaka (temperature). Do tlaka od 3 bara, hidroliza drva pod relativno blagim uvjetima reakcije daje pentoze i heksoze, koje djelomično prelaze u vodeni ekstrakt (hidrolizat), a djelomično prelaze u furfural i njegove polikondenzate. Daljnjim povećanjem tlaka (odnosno temperature) pentoze i heksoze gotovo potpuno prelaze (konvertiraju) pod utjecajem nastalih organskih kiselina u furfural, odnosno furfuralne termoplastične smole i polimeriziraju dalje u tzv. huminske tvari, koje su tamno smeđe obojene (Dunlop i Peters, 1953).

Osnovna karakteristika polimerizacije furfurala, odnosno furfuralnih termoplastičnih smola sastoji se u tome, da nastale komponente (huminske tvari) nisu topive u vodi i ne dolaze u hidrolizat, nego se vežu na pareno drvo.

Može se pretpostaviti na osnovu ovih radova i interpretacije nastalog stanja, kad bi se hidroliza drva (parenje) dalje provodilo i iznad 4 bara, tada bi krivulje izjednačenja opet bile pravilno raspoređene kao i u intervalu od 1,5 do 3 bara, jer bi u tom slučaju došlo do djelomične hidrolize celuloze. Kod toga treba uzeti u obzir da hidroliza celuloze teče oko 1500 puta sporije od hidrolize amorfnih polioza, uz pretpostavku jednakih uvjeta hidrolize (Klemola i Nyman, 1966).

Razgradnja holoceluloze kod nižih uvjeta rada kao što je u ovoj radnji, teče u početku uglavnom na račun pentozana jer su heksozani otporniji, dok je razgradnja celuloze znatno sporija (približno 1500 puta) od hidrolize pentozana drva.

Na osnovu ove diskusije pretpostavlja se da bi se nepravilnosti u području parenja od 3,5 i 4 bara mogle objasniti kao posljedica sekundarnih reakcija razgradnih produkata hidrolize drva.

Ova objašnjenja promjena rasporeda krivulja izjednačenja, kod parenja bukovine od 1 do 4 bara (s razmakom od 0,5 bara), nisu eksperimentalno obrađena u ovoj radnji, ali zavređuju pažnju daljnjeg znanstvenog istraživanja radi temeljitijeg poznavanja parene bukovine, a i ostalih vrsta drva.

### ZAKLJUČCI — CONCLUSIONS

Na osnovu eksperimentalnih istraživanja, teoretskih obrazloženja i provedene diskusije mogu se dati slijedeći zaključci:

1. Promjene u sadržaju vode tokom parenja drva u određenom su odnosu sa logaritmom početnog sadržaja vode u drvu neposredno prije početka parenja ( $u_p - u_k = A + B \ln u_p$ ).

2. Promjene u sadržaju vode koje su nastale tokom procesa parenja bukovine, pokazuju stalni porast u odnosu na porast početnog sadržaja vode za pojedini tlak (degresivne logaritamske krivulje).

3. Sve su krivulje izjednačenja (osim za 1 bar) praktički paralelne, pogotovo za područje početnog sadržaja vode od 60 do 120%. Krivulje se razlikuju u nivoima.

4. Raspored krivulja izjednačenja pravilan je sve do tlaka od 3 bara. Krivulje za 3,5 i 4 bara smještene su unutar krivulja od 2 i 2,5 bara. Promjene rasporeda kod krivulja od 3,5 i 4 bara mogu se opravdati značajnijom degradacijom suhe drvene tvari koja je pretežno nastala uslijed hidrolize hemiceluloza i poliuronida (Nikitin, 1955). Do tlaka od 3 bara, hidroliza drva pod relativno blagim uvjetima reakcije daje pentoze i heksoze, koje djelomično prelaze u vodeni ekstrakt (hidrolizat), a djelomično prelaze u furfural i njegove polikondenzate. Daljnjim povećanjem tlaka (odnosno temperature) pentoze i heksoze gotovo potpuno prelaze (konvertiraju) pod utjecajem nastalih organskih kiselina u furfural, odnosno furfuralne termoplastične smole i polimeriziraju dalje u tzv. huminske tvari, koje su tamno smeđe obojene (Dunlop i Peters, 1953). Ovo nije eksperimentalno ispitano, već je razjašnjenje uzeto iz literature.

5. Prilikom parenja piljene bukovine, s povećanjem tlaka 1 do 3 bara, konačni sadržaj vode ( $u_k$ ) stalno se smanjuje, dok se razlike između početnog i konačnog sadržaja vode ( $u_p - u_k$ ) stalno povećavaju.

6. Prilikom parenja piljene bukovine kod tlakova od 3,5 i 4 bara, konačni sadržaj vode ( $u_k$ ) veći je za 3,77% odnosno 2,68%, a razlika između početnog i konačnog sadržaja vode ( $u_p - u_k$ ) manja je za 4,79% odnosno 0,96%, s obzirom na parenu piljenu bukovinu kod tlaka od 3 bara.

Iz iznesenih zaključaka kao rezultata rada, vidi se da promjena u sadržaju vode piljene bukovine parene zbog promjene boje, kod tlakova od

1 do 4 bara, pokazuje stalni porast zavisno o početnom sadržaju vode, naročito u intervalu od 60 do 120% (početnog sadržaja vode). Nepravilnosti rasporeda krivulja posljedica su različitog stupnja degradacije drvene tvari bukovine. Tako se od 1 do 3 bara razlika između početnog i konačnog sadržaja vode ( $u_p - u_k$ ) povećava, od 3 do 4 bara povećanje razlika između početnog i konačnog sadržaja vode ( $u_p - u_k$ ) je usporeno, ali još uvijek prisutno (blagi porast povećanja). Iz ovoga rezultira da se, s obzirom na isti efekt obojenosti parene bukovine, najpovoljnije razlike između početnog i konačnog sadržaja vode ( $u_p - u_k$ ) postižu parenjem kod tlakova do 3 bara.

#### LITERATURA — REFERENCES

- Brauner, A. and E. M. Conway, 1964: Steaming walnut for color. For Prod Jour. 525—527.
- Brežnjak, M., 1958: O promjeni boje bukovih piljenica kod parenja u zavisnosti od njihove debljine i trajanja parenja. Drvna ind. 1—2; 12—15.
- Campbell, G. S., 1961: The value of presteaming for drying some collapse susceptible eucalypts. For. Prod. Jour. 11 (8), 343—347.
- Cividini, R., 1963: Toplotna obdelava lesa. Školski center lesne industrije, Ljubljana s. 28.
- Dunlop, A. and F. Peters, 1953: The Furans, New York pp. 295.
- Ellwood, E. L. and R. W. Erickson, 1962: Effect of presteaming on seasoning stain and drying rate of redwood. For. Prod. Jour. 12 (7), 328—332.
- Fessel, F., 1955: Bau und Betrieb von Dampfanlagen für Schnittholz, Holz — Zentralblatt, 11 (69/70), 853—854.
- For. Prod. Res. Lab., 1940: The steaming and seasoning of english beech, Leaflet No. 16.
- Frey-Wyssling, A. and H. H. Bosshard, 1959: Cytology of the ray cells in sapwood and heartwood. Holzforschung 13 (5), 129—137.
- Gonet, B., F. Krzysik i J. Szmit, 1960: Wstępne badania wpływu parowania na przebieg wysychania i nasycania bukowych podkladów kolejowych. Sylwan, 104 (2), 1—16.
- Gonet, B., 1962: Nowe ujęcie zagadnienia stabilizacji wymiarów drewna bukowego pod wpływem parowania. Przemysł Drzewny, 11, 425—427.
- Gonet, B., 1963: Wpływ ciśnienia i czasu parowania na kurczliwość i pecznienie drewna bukowego. Sylwan 4, 27—33.
- Gonet, B., 1964: Badania nad higroskopijnością i kurczliwością drewna bukowego parowanego w parzelni. Przemysł Drzewny, 11, 23—27.
- Ham, Đ., 1953: O utrošku pare pri parenju bukovine, Polj.-Šum. fakultet univer. u Sarajevu, Sarajevo 1 (1), 97—124.
- Hillis, W. E., 1971: Wood extractives, Academic Press, New York 1962; Citat izvađen iz: Lenić, J.: Utjecaj prethidrolize bukovine na kemijska i fizikalna svojstva vlakana, Zagreb.
- Hribar, J., 1962: Utjecaj režima parenja na boju i svojstva bukovine. Drvna ind 9—10, 138—149.
- Ilić, M. i P. Misilo, 1965: Tok temperature u zagrijanom trupcu za vrijeme njegovog hlađenja. Pregled naučnotehničkih radova i informacija, Sarajevo 2, 1—15.
- Ilić, M., 1966: Hidrotermička priprema bukovih trupaca za proizvodnju ljuštenog furnira. Pregled naučnotehničkih radova i informacija, Sarajevo 4, 1—20.
- Ilić, M., 1970: Režimi parenja kod dvofazne prerade bukovine. Pregled naučnotehničkih radova i informacija, Sarajevo (3—4), 1—10.
- Klemola, A. and G. Nymän, 1966: Paper and Timber No. 10.
- Kohler, H., 1959: Die Rotbuche — praktische Probleme der Pflege und Bearbeitung. Holz — Zentralblatt 85 (67), 867—870.

- Kollmann, F., 1939: Vorgänge und Änderungen von Holzigenschaften beim Dämpfen, Holz als Roh- und Werkstoff, 1, 1—11.
- Kollmann, F. und B. Hausmann, 1955: Vergleichende Untersuchungen beim indirekten und direkten Dämpfen von Rundholz, Holz als Roh- und Werkstoff 13, 365—371.
- Kozmal, F., L. Šuty, und L. Mozolova, 1969: Celulose Chem. Technol., 3, s. 189.
- Krpan, J., 1965: Sušenje i parenje drva, Zagreb, s. 372.
- Kubinsky, E., 1956: Vplyv parenia na pracovanie bukového dreva, Drev. Vyskum 1 (1/2), 93—111.
- Kubinsky, E., 1971a: Der Einfluss der Dämpfens auf die Holzigenschaften. Holzforschung und Holzverwertung 23 (1), 1—11.
- Kubinsky, E., 1971b: Influence of steaming on the properties of Quercus rubra L. wood. Holzforschung 25 (3), 78—83.
- Kürschner, K. und H. Wittenberg, 1939: Papir fabrikant, Heft 37, s. 285.
- Lukić, N., 1952: Prilog poznavanju glavnih fizičkih i mehaničkih osobina parene i neparene bukovine. Šumarstvo 5 (6), 511—514.
- Necesany, V., 1961: Udział strukturalnych elementow drewna bukowego w dynamice jego pezczenia. Sylwan, 40 (4), 1—10.
- Nikitin, N., 1955: Die Chemie des Holzes, Berlin.
- Pavić, J. i P. Marinković, 1971: Toplotna obrada bukove piljene grade u zidanim parionicama klasičnog tipa pri upuštanju vodene pare sa jednog kraja komore. Šumarstvo, Beograd 24 (3—4), 3—15.
- Pavlin, Z., 1968: Sadržaj vode u bukovim piljenicama prije i nakon parenja. Drvna ind. 11—12, 179—187.
- Perkitny, T., M. Lawniczak und H. Marciniak, 1959: Über den Einfluss des Dämpfens auf den Quellungsdruck des Holzes. Holz als Roh- und Werkstoff 17 (2), 54—61.
- Plath, E. und L. Plath, 1957: Mitt Mikroskopische Untersuchungen über das Dämpfen von Rotbuche (II). Holz als Roh- und Werkstoff 15 (2), 80—86.
- Rafalski, J. i D. Wojciechowska, 1965: Z badan nad parzeniem drewna bukowego do produkcji posadzki mozaikowej. Prace Inst. Technologii Drewna 12 (4), 61—91.
- Resch, H. and W. A. Dost, 1965: Steaming of claro walnut for color. Calif. For. Prod. Lab. No. 39, 4 pp.
- Sears, F. W., 1963: Optika, Naučna knjiga, Beograd.
- Seehann, G., 1965: Über die Wirkung einer Trocknung und Erwärmung von Nadelholz auf das Wachstum von Bläuepilzen. Holz als Roh- und Werkstoff, 341—347.
- Séguy, E., 1936: Code universal des couleurs, Paris.
- Sobczak, K. S., 1959: Wplyw sezonowania i parowania uplastyczniajacego na trwala zmianie niektorych mechanicznych i fizycznych wlasnoscí, drewna bukowego. Sylwan, 103 (4), 5—23.
- Stamm, A. J., 1956: Thermal degradation of wood and cellulose, 5 pp. (Ind. and Eng. Chem. 48: 413—417).
- Šarkov, V., 1945: Hidroliznoje proizvodstvo Bd. 1, s. 145.
- Veil, A., 1964: Aufbau und Betrieb einess neuartigen Dämpfkessels. Moderne Holzverarbeitung Nr. 42, 1—2.
- Wenzel, H., 1954: Holzforschung 8 (2), s. 33.
- Wright, W. D., 1969: The measurement of colour, London, s. 340.
- Zaharčevskij, B. G., 1949: Parenje i sušenje bukovine. Prijevod s ruskog od N. Aleksića, Beograd.



COMPARATIVE INVESTIGATIONS ON WATER CONTENT  
IN SAWN BEECHWOOD STEAMED FOR COLOUR CHANGE  
UNDER PRESSURE FROM 1 TO 4 BARS

*Summary*

The authors differ in opinion as to when the actual reduction in water content takes place during steaming. They disagree about the water content of wood after steaming.

During previous researches on water content in beech boards before and after steaming, at an approximate temperature of 100°C and a relative humidity of about 100%, a dependence between initial and final water content has been established. On the basis of the above mentioned and the differences in results obtained in investigations on water content after steaming explored thus far, a task was set to determine dependence of final water content in steamed beechwood on initial water content and applied pressure, i.e. temperature during steaming of sawn beechwood.

The necessary time of steaming at various pressures was obtained by testing, and determined time of steaming remained unchanged in further researches.

In determining steaming treatment for individual pressures 72 samples or a total of 504 boards were examined. The total number of boards for basic investigations comprised 602 pieces.

All steaming procedures were carried out in an autoclave.

The water content for every pressure from 1 to 4 bars with an interval of 0.5 bar had been determined before ( $u_p$ ) and after steaming ( $u_k$ ) by the gravimetric method.

From the data obtained it appears that final water content in sawn beechwood after steaming drops down to the pressure of 3 bars. For pressures 3.5 and 4 bars final water content ( $u_k$ ) is higher by 3.77% and 2.68% respectively, with regard to pressure of 3 bars.

As indicated in Tables 5 and 6 the difference between initial and final water content ( $u_p - u_k$ ) at pressures 3.5 and 4 bars is smaller by 4.79% and 0.96% respectively, with regard to pressure of 3 bars.

As illustrated in figures 3—30, on the basis of indicated mean values of various dependent variables which were observed, it may be said that by increase of initial water content the values of all four observed variables were increased (final water content, difference in water content and relative losses in water content in respect to initial and final water content).

Figures 31—44 show that at all pressures by increase of initial water content the observed changes increase (final water content and difference between initial and final water content).

Figure 45 shows that curves of equalization are in fact parallel, particularly in the area of initial water content ( $u_p$ ) from 60% to 120%.

Disposition of curves of equalization is regular for the pressure area from 1 to 3 bars. For this area we can say that at equal initial water content ( $u_p$ ) by increase of pressure, the final water content ( $u_k$ ) will gradually diminish, whereas the difference between initial and final water content ( $u_p - u_k$ ) will constantly increase.

Curves of equalization for pressures 3.5 and 4 bars are placed between the curves for pressures of 2 and 2.5 bars. These changes can be explained by theoretical assumptions. During the steaming process, under effect of pressure, temperature and length of time changes come about on the most sensitive parts of wood matter. Changes in disposition of curves of 3.5 and 4 bars can be explained by rather significant degradation of wood matter predominately occurring on account of hydrolysis of amorphous polyoses and polyuronides.

The hemicellulose part of wood polyoses, viz. amorphous polyoses containing the acetyl group, methoxy group, polyuronides, xylose, arabinose, glucosans, galactose, mannose and polymers of mixed pentoses-hexoses, i.e. acid parts of wood polyoses, slowly hydrolyze and under effect of free acids convert into monosaccharides and furfural which partly convert into condensate, and furfural partly into condensing and polymeric compounds which increase lignin content of wood matter. Since extracted wood substances are carriers of hydrophilic properties, the absorbing capacity of water in beechwood will diminish. The differences between initial and final water content during steaming of beechwood under pressure of 3.5 and 4 bars, will be, according to the already said, smaller (by 4.79% and 0.96% respectively) than the difference at pressure of 3 bars. Changes in disposition of curves of equalization (fall of curve level) at pressures 3.5 and 4 bars can be explained, according to literature, by various speeds of reaction of the depolymerisation of the hemicellulose parts of wood (hydrolysis) with respect to changes of pressure (temperature). Up to 3 bars pressure, hydrolysis of wood under relatively mild reaction conditions gives pentoses and hexoses which partly convert into hydrolysate and partly convert into furfural and its polycondensate.

By further increase of pressure (temperature), pentoses and hexoses almost completely convert, under the effect of organic acids, into furfural thermoplastics and polymerize further into so called humic substances coloured dark brown.

The basic characteristic of polymerization of furfural, i.e. furfural thermoplastics lies in the fact that the components developed (humic substances) are not soluble in water and do not convert into hydrolysate, they instead bond with steamed wood.