

STOHASTIKA U ZNANSTVENIM ISTRAŽIVANJIMA*

Problemi – Nerazumijevanja – Opasnosti

APPLICATION OF STOCHASTICS TO SCIENTIFIC RESEARCH

Problems – Misconceptions – Risks

Vladimir HITREC**

SAŽETAK: Znanstvena su istraživanja u šumarstvu uglavnom stohastičke prirode, te stoga zahtijevaju uporabu metoda inferencijalne statistike. Rijetki su pokušaji (Rauscher 1980) da se za pojave u šumarstvu uspostave teorije. Prvi se dio rada bavi problemima koje je inicirao Rauscher (1987) i koji su raspravljani u grupi S6.02. IUFRO -a. Rasprava se vodila o stohastičkim, determinističkim, empirijskim i eksplanatornim modelima.

Drugi se dio rada bavi problemima pogrešne interpretacije, odnosno pogrešne upotrebe inferencijalne statistike. Statistika se vrlo često smatra kao nezaobilazna, svemoguća, potpuno objektivna i točna. Takav pristup statistici autor drži pogrešnim. Autor osobito ističe mišljenje (Warren 1986) da su znanstveni zaključci subjektivni i kada se temelje na statističkim analizama.

U trećem dijelu rada iznose se primjeri neprikladne uporabe inferencijalne statistike.

Ključne riječi: stohastika, matematički modeli, inferencijalna statistika

Uvod – Introduction

Rad je rezultat autorova bavljenja primjenom matematike, posebno statistike, u šumarstvu, obradi i preradi drva i drugim znanstvenim disciplinama (medicini, geologiji, sociologiji, agronomiji). Neposredan povod za ovaj rad i radove sa sličnom tematikom koji su mu prethodili jest rad W. G. Warrena (1986), koji je prema autorovoj spoznaji ako ne prvi, ali tada svakako najpotpunije upozorio na opasnost koja nastaje zbog neodgovarajuće (nestručne) uporabe inferencijalne statistike. Povod za razmišljanje o modeliranju pružio je Rauscher

(1987, 1988) i rasprava u grupi S6.02 IUFRO-a, u kojoj su sudjelovali Warren (1988), Oderwald (1988), Host (1988), McRoberts (1988), Hitrec (1989) i dr. Autor smatra korisnim da se rasprava o uporabi statistike iznese izvan stručnih krugova biometričara kako, bi s tim problemima bili upoznati i znanstvenici kojima je statistika tek sredstvo u istraživanjima.

Ideje iznesene u ovom radu djelomično su već objavljene; u odnosu na rad iz 1989. ispravljene, a s obzirom na rad iz 1994. nadopunjene.

1. Teoretski i stohastički modeli – Theory and stochastics models

Prirodne i socijalne pojave opisuju se pomoću matematičkih modela čija je svrha da omogućuje analizu pojava, uglavnom u smislu procjene, prognoze i poopćenja rezultata dobivenih pokusom.

Sa stanovišta količine sigurnosti (nesigurnosti) procjena, odnosno poopćavanja koje pojedini modeli omogućavaju, modeli se mogu podijeliti u dvije skupine, u determinističke i stohastičke.

Modeli mogu biti više ili manje stohastički. Iako se modeli koji sadržavaju malu količinu nesigurnosti čes-

* Rad je prikazan na XX. kongresu IUFRO-a u Tampereu 1995.

** Prof. dr. sc. Vladimir Hitrec, Šumarski fakultet Zagreb

to nazivaju deterministički, moramo biti svjestni da u stvarnosti nema pojave koja bi se mogla opisati determinističkim modelom.

U prirodi nema determinizma. Potpuno deterministički modeli su teorije. Riječ teorija dolazi od grčke riječi theos (bog). Teorija, dakle, ne pripada realnome svijetu, te je moguća odnosno razumljiva jedino bogovima.

Teorije (determinističke modele) stvaraju temeljne znanosti. Prihvaćajući aksiome, temeljne znanosti iz njih, služeći se matematikom, stvaraju sve složenije zakone (teorije) koje tada eksperimentalno provjeravaju.

Potvrđene se teorije rabe i u primijenjenim znanostima, no tu moraju biti prilagođene stvarnosti. Teorije su potpuna apstrakcija stvarnosti. One u jednom smislu vrijede "svugdje", a u drugom smislu "nigdje"; "svugdje" jer su univerzalne, a "nigdje" jer se svugdje moraju korigirati kako bi se prilagodile realnim uvjetima (Hitrec 1989.)

Jasno je da za primjenu (izravnu upotrebu) nije dovoljna teorija. Ona nije ni nužna. Realni je svijet stohastičan te izravna primjena determinističkih modela nije moguća. S gledišta primjene, modeli se mogu podijeliti u *eksplanatorne* i *empiričke*. Eksplanatornom varijablom naziva se varijabla čija promjena uzrokovana nenasilnim (ne akcidentnim*) čimbenicima zadržava kvalitetnost modela.

Raucher (1987) eksplanatorne modele naziva kauzalnim (uzročnim) modelima. Taj naziv smatra neprikladnim jer pravi uzroci pojava nikada nisu poznati. Temeljni uzrok zašto određena količina vlage odnosno topline pogoduje rastu biljaka nije poznat. Do određene razine spoznaje može se doći, no bit se ne može objasniti. Ne može se objasniti zašto, na primjer, kamen kada se ispusti, pada "dolje", a ne poleti prema "gore".

Empirijski modeli, prema Raucheru (1987), sadrže i takve varijable (ili samo takve varijable) koje bitno ne utječu na promjenu prediktora. Radi se o varijablama koje su u korelaciji sa zavisnom varijablom, no ne utječu na njezinu promjenu.

Ako se s empirijskim varijablama dogodi nešto neobično, incidentno, tada se model može pokvariti.

Poznat je primjer postojanja takve stohastičke veze $y = f(x)$, gdje je x broj roda u određenom mjesecu koje se mogu prebrojiti u Kopenhagenu, a y broj poroda u tom mjesecu (izvor te informacije nije mi poznat.)

Nešto realniji primjer takvog apsolutno empirijskog modela mogao bi se dobiti stavi li se u korelaciju broj jaglaca na tratini s lisnatošću breza na obližnjem brežuljku. Ako takva korelacija postoji (što je vrlo vjerojatno), a lakše je brojiti jaglance nego lišće na brezama, tada ćemo biti zadovoljni s takvim empirijskim modelom.

Naravno da su oba primjera granična, no nađe li se varijabla koja je u korelaciji s prediktorom, te ako je tu

varijablu lako mjeriti i ako je korelacija jaka, nema razloga da se model ne upotrijebi. Problem nastaje ako koza pobrsti jaglance, ili ako rode budu ubijene. To je taj *akcident kod asteriksa (*)* što je već spomenuto.

Raucher (1987) vjeruje, želi, odnosno nagovještava da je nužno i u šumarstvu odnosno u primijenjenim znanostima početi upotrebljavati eksplanatorne modele koji bi omogućili veći determinizam modela.

Smatram da je to vrlo teško ili gotovo nemoguće, jer je stvarnost uvijek stohastična, i da se može govoriti samo o više ili manje eksplanatornom modelu, već prema tomu koliko eksplanatornih varijabli on sadržava.

Mislim da se problem – stohastika ili determinizam, te – empirijski ili eksplanatorni modeli u primijenjenim znanostima ne može riješiti. Morat ćemo se služiti svim onim vrstama modela koji pružaju mogućnost procjene odnosno prognoze, nastojeći da nezavisne varijable objašnjavaju zavisnu varijablu kada je god to moguće, uključujući i cijenu stvaranja takva modela.

Naravno da nam odgovara ako model sadrži mnogo eksplanatornih varijabli (varijable koje su u izravnoj svezi s funkcijom kriterija). Kao primjer mogu se navesti normirana vremena za obaranje i izradu sortimenata. Pri istraživanju koje su obavili Tomanić i dr. (1978) obuhvaćen je znatan broj varijabli: vrsta drva, prsni promjer, visina, površina krošnje, mjesec u godini, dubina snijega, nagib terena, kamenitost terena i još neke. Nakon analize, satističke, logičke i *financijske*, a uzevši u obzir praktičnost ali i *nužnu točnost*, za procjenu potrebnoga radnog vremena ostale su tri varijable: prsni promjer i metoda rada te nekoliko grupa vrsta drveća. Ostale su varijable izostavljene iako su bile eksplanatorne, no beznačajno su doprinosile procjeni vremena.

Iako se nastojalo uvesti mnogo eksplanatornih varijabli, te iako su tri eksplanatorne varijable ostale kao nezavisne varijable u modelu, model je ostao znatno stohastičan.

Život je stohastičan. Nastojanja da se modeli učine što je moguće više eksplanatornima i više determinističkima poželjna su, no određena će količina stohastičnosti (neizvjesnosti) u primjenama uvijek ostati. To će biti osobito izraženo pri proučavanju žive (realne) prirode, a posebice kada se promatra interakcija prirode i ljudi, odnosno njihova rada koji je rezultat izvanredno mnogo činbenika.

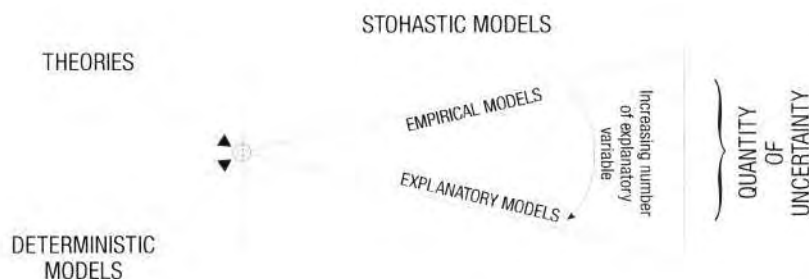
Tu su svakako istraživači temeljnih disciplina u prirodnoj prednosti, jer oni dolaze do "velikih" otkrića, epohalnih teorija, dok se "aplikativac" probija kroz šumu nedefiniranih situacija, punu neočekivanosti i nesigurnosti.

Istraživač teorija kaže: ako je tako i tako, odnosno tako, tj. ako su ispunjeni određeni uvjeti, tada vrijedi to i to. Onaj koji se bavi primjenom okružen je onim što vrijedi i u tome mora naći nešto novo što *vrijedi*. Rije-

tko može kazati: "ako je tako i tako", jer posljedica njegova istraživanja često implicira i postupak odnosno odluku koja se mora temeljiti na činjenicama. Problem je u tome što mu okruženje nije nikada potpuno pozna-

to. Zbog toga se pri donošenju zakona odnosno odluka mora koristiti mjera sigurnosti koja je sadržana u inferencijalnoj statistici.

Fig. 1 ilustrira dosadašnja razmatranja



Slika 1 Teorija, deterministički, stohastički, empirički i eksplanatorni modeli
Fig. 1. Theory, deterministic, stochastic, empirical and explanatory models

2. Kada i gdje inferencijalna statistika – When and where inferencial statistics

Prije nego što progovorimo bitno o inferencijalnoj statistici, navedimo tvrdnju koja je toliko adekvatna za statistiku da djeluje kao da je za nju izmišljena:

"It ain't so much the things we don't know that get us trouble.

It's the things we know that ain't so" (Artemus Ward; prema Wanacott Wanaccott, 1990).

U slobodnom prijevodu ta tvrdnja glasi:

Ne prave nam problema stvari koje ne znamo.

Problemi nastaju zbog onoga što mislimo da znamo.

Prateći stručne i znanstvene radove, uočili smo izvanredno velik broj neodgovarajućih statističkih modela, odnosno netočnih interpretacija statističkih rezultata. Ovdje ćemo se osvrnuti na neke od njih.

Pedesetih i šezdesetih godina razvojem inferencijalne statistike stvorio se stav da SVE što se dokazuje mora se dokazati pomoću statistike. Čak i ugledni časopisi nisu primali radove gdje rezultati nisu bili potkrijepljeni *statističkom obradom* podataka.

Vrlo se često u izvještajima i recenzijama moglo pročitati da "su rezultati analizirani (obrađeni) modernim metodama statistike", što je radu davalo na vrijednosti.

Iskustvo je međutim pokazalo da statistika nije *Deus ex machina* koja rješava probleme i donosi odluke. Odluka, odnosno kada se radi o istraživanjima bolje je kazati "stav", uvijek je subjektivan, a može se temeljiti na statistici.

Navedimo primjere:

2.1. Opće je poznata činjenica da u ponedjeljak ima više nesreća na radu nego u bilo koji drugi dan u tjednu. Poznati su i razlozi za to. Namjera da statističkim tes-

tom pomoću slučajnoga uzorka "dokažemo" da se ponedjeljak razlikuje npr. od srijede je besmislena. Ako je rezultat signifikantan, nije se dobilo ništa novo, a ako rezultat nije signifikantan, morat će se priznati da se u postupku negdje pogriješilo. Naravno da se ovdje radi o "normalnim" ponedjeljcima i srijedama, a ne o mjerenjima nakon naše određene intervencije kojom se možda poremetila poznata zakonitost.

2.2. Poznat mi je sljedeći primjer. Prsni promjer stabala u sastojini raste sa starošću. t testom je ispitana signifikantnost razlika u srednjoj vrijednosti debljine sastojine, te je ustanovljeno da razlike postoje između svake godine, a nakon 15 godine više nema signifikantnih razlika. Takvo testiranje je besmisleno, jer pojam signifikantno nije statistički već je stvar instrumenta kojim se mjeri, preciznosti kojom se mjeri i stvar dogovora što se smatra bitnim, a ne smatra nebitnim.

2.3. U namjeri da se izrade norme za procjenu vremena obaranja stabla i izradu sortimenata u različitim uvjetima, znanstvenik je potražio savjet matematičara. Matematičar (statističar) je izračunao da je za to istraživanje potrebno posjeći 150 000 stabala kako bi se dobila tražena preciznost i zadovoljavajuća pouzdanost. Naravno da ga znanstvenik nije mogao poslušati, jer bi takav pokus potrajao predugo i bio preskup. Glavni istraživač se odlučio na nepoštivanje statističkih pravila i izradio norme, *svjestan* da nisu savršene. One su u dijelovima naknadno bile ispravljene, no rezultati su bili zadovoljavajući.

2.4. Jedna od zabluda o statistici jest kako ona daje (omogućava) objektivne zaključake. Međutim zaključak znanstvenika izveden iz statističkih analiza uvijek je subjektivan i ovisi o prethodnom znanju.

Ta se činjenica može usporediti sa zaključcima koje će donijeti različiti liječnici promatrajući objektivne analize obavljene na pacijentu.

Promotrimo primjer:

Testirajmo hipotezu o jednakosti proporcija ozlijeđenih radnika pri dvije različite metode rada:

Označimo li proporciju ozljeda pri metodi rada A s P_A odnosno pri metodi rada B s P_B , tada ćemo testirati hipotezu

$$H_0 : P_A = P_B \text{ prema alternativni}$$

$$H_1 : P_A \neq P_B$$

Tablica 1. Različitosti prethodnoga stanovišta, mogući statistički rezultati te mogući zaključci

Tablica 1. Moguća prethodna stajališta, mogući statistički rezultati, te mogući zaključci

Table 1. The possibilities of our previous standpoint, the possible statistical results, and our possible conclusions.

PRETHODNO STANOVIŠTE OUR PREVIOUS STANDPOINT	Kritična razina testa The critical test level	
	$\alpha = 0,08$	$\alpha = 0,05$
1. Nemamo prethodnih znanja We have no former knowledge	Teško bih odbacio H_0 I would hardly reject H_0	Odbacio bih i posumnjao u H_0 I would reject it or have doubts about H_0
2. Smatram da je H_0 istinita The truthfulness of H_0 is believed in	Ne bih odbacio H_0 I would not reject H_0	Postoji sumnja u H_0 Nevoljko bih odbacio H_0 I have doubts about H_0 I reject H_0 with displeasure
3. Ne vjeruje se u H_0 H_0 is not believed in	Dečki, evo i mene Guys, here I am!	Odlično, i ja sam dobio isto! Great, I have got the same!

Ovdje svakako treba upozoriti na izvanredan Warrenov rad (1988) pod naslovom *Star Games*, u kojemu on upozorava na tu igru sa zvjezdicama. Ja bih tomu dodao da bi papkari (koji imaju četiri prsta) s četiri prsta donosili potpuno druge odluke o signifikantnosti, jer

im kritične vrijednosti ne bi bile temeljene na djeliteljima broja 10 (prstiju na ruci)

Završimo ovo razmatranje citatom Henri Theila, koji navodi Wannacot: Modeli su zato da se upotrebljavaju, a ne da im se vjeruje.

3. Pogreške u uporabi statistike – Mistakes in using statistics

Navest ćemo neke od najčešćih pogrešnih upotreba statističkih metoda.

3.1. Pogrešno postavljanje hipoteza - Wrong hypothesis

Promotrimo primjer iz jedne zbirke zadataka. Potrebno je testirati hipotezu je li $\sigma^2 = 1,5$ ili je $\sigma^2 = 3$ (*tertium non datur*). Uzorak od 25 elemenata dao je varijancu uzorka $s^2 = 2$. U rješenju zadatka stoji:

Postavimo li $H_0 : \sigma^2 = 1,5$ prema $H_1 : \sigma^2 = 3$, χ^2 test upućuje na prihvaćanje nul-hipoteze.

Stavimo li obratno $H_0 : \sigma^2 = 3$ prema $H_1 : \sigma^2 = 1,5$, nul-hipoteza se opet prihvaća. Na ovaj, na prvi pogled apsurd, upozorili su studenti na vježbama.

Problem je u nedefiniranom zadatku. U zadatku naime nije istaknuto u što se vjeruje: da li u $\sigma^2 = 1,5$ ili u $\sigma^2 = 3$. Nadalje, nije jasno je li autor zadatka imao na umu da nikada kao nul hipoteza ne stavlja tvrdnja u koju se ne vjeruje.

3.2. Nepotpune informacije i tvrdnje - Incomplete informations and assertions

U istraživanjima nije dovoljno informativno upotrebljavati nazive signifikantno, nesignifikantno i visoko signifikantno, odnosno rezultatima pridruživati zvjezdice. O tome je već bilo ovdje govora.

Primjer a. Još se i danas nailazi na slučajeve da se kao informacija daju samo zvjezdice. Čitatelju u tom slučaju nije poznato jesu li dvije zvjezdice (**) napisane

ne zbog rezultata $u = 1,97$, ili npr. $u = 2,50$ odnosno jedna zvijezdica (*) zbog vrijednosti $u = 1,66$ ili $u = 1,95$. Očito da i u primjeru s dvije zvjezdice i u primjeru s jednom zvijezdicom obje moguće vrijednosti varijable u nisu jednako značajne. Za ilustraciju je priložena je-

dna takva tablica. Priložena tablica još je manje informativna, jer u njoj nije navedeno što autor smatra signifikantnim, a što nesignifikantnim. Tablica sadrži 37 redaka takvih informacija koje su bez komentara malo korisne.

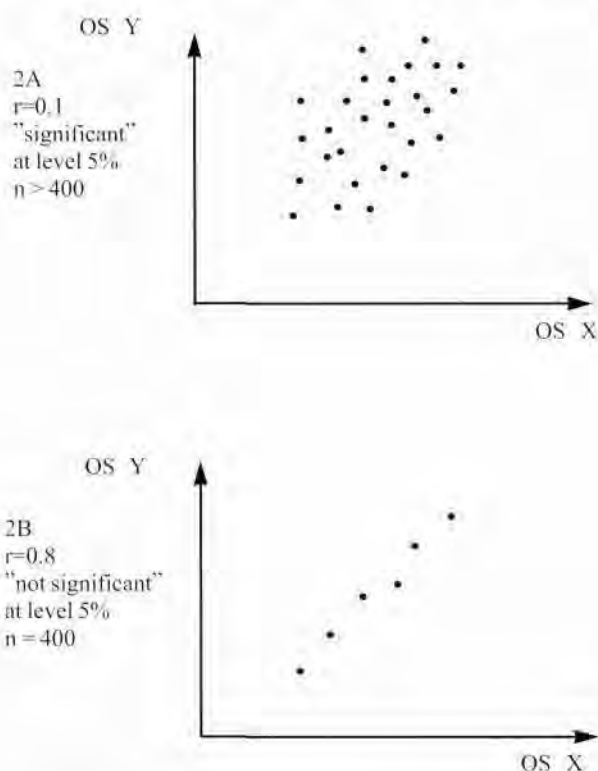
Tablica 2. Rezultati istraživanja razlika između nekih mjernih svojstva četinjača

Table 2. Results of the research on the differences between some physical easurement of corniferous

Uzorak - uzorak Sample - sample	Gustoća u normiranom suhom stanju Volume mass in standard dry condition	Obujamno istežanje Volume shrinkage
K1-K4	signif.	not
K1-K5	not	signif.
K1-K1-5	not	signif.
K2-K3	signif.	not
K2-K4	signif.	not
K2-K5	not	not
K2-K1-5	signif.	not
K3-K4	not	not
K3-K5	signif.	not

Primjer b. Informacija: $r = 0,1$ je signifikantan na razini 5%, odnosno $r = 0,8$ nije signifikantan, može biti

krivo shvaćena ako nije naveden broj mjerenja i ako nije pridružena odgovarajuća slika.



Slika 2. Signifikantna, ali nekorisna korelacija (2A) i nesignifikantna, ali korisna korelacija (2B)

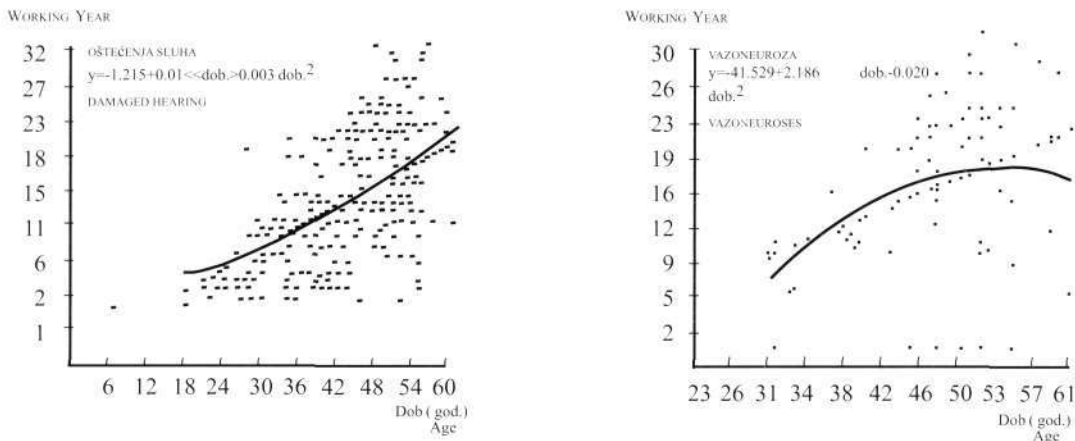
Fig. 2. Significant but useless (2A), and not significant but useful (2B) correlation

Signifikantnost koeficijenta korelacije na slici 2A potpuno je nekorisna, dok slika 2B upućuje na znatnu korelaciju koja nije dokazana zbog malog broja podataka.

3.3. Nekorisno izjednačavanje podataka - Unusable regressions lines

Kada na sljedeće dvije slike ne bi bilo originalnih podataka, čitatelj bi mogao doći u zabludu da je mogu-

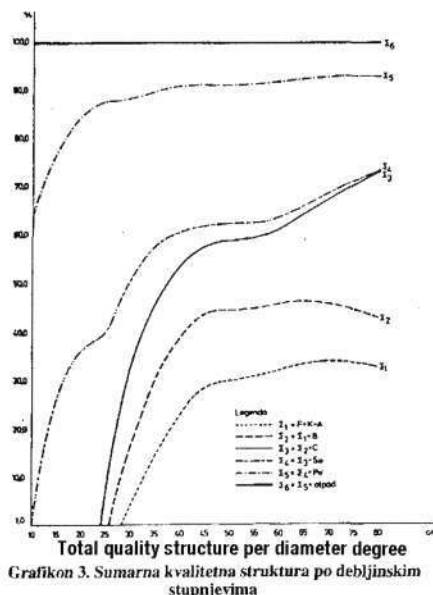
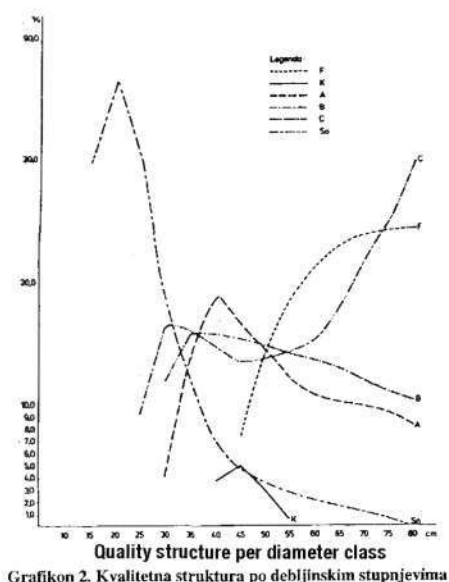
će procijeniti staž radnika ako su poznate njegove godine i ako ima oštećeni sluh, odnosno staž radnika ako je poznata njegova starosna dob i ako ima vazoneurozu. Slike pokazuju da je to nemoguće, iako su vjerojatno oba koeficijenta korelacije signifikantna i premda su priložene jednadžbe za takvu procjenu.



Slika 3. Nekorisno uklapanje krivulja.
Fig. 3. Useless curve fitting

Sljedeće slike pokazuju potpunu nekritičnost istraživača prema dobivenim rezultatima, jer je vjerovao statističkom paketu u računalu. Nevjerojatne su u stvar-

nosti i neobjašnjive nagle promjene nagiba krivulja. Razlog takvim rezultatima naravno leži u previsokom stupnju odabranog polinoma.



Slika 4. Primjer neprikladnog uklapanja krivulja
Fig. 4. An exmple of inadequate curve fitting

Uvijek se mora imati na umu da se modelira *pojava* a ne skup točaka.

4. Ova bih razmatranja završio jednom misli i jednim upozorenjem.

4.1. Ne upotrebljavajmo složene modele jer su nesi-gurni, nepraktični, netočni i skupi.

4.2. Ne oslanjajmo se na gotove statističke pakete u

računalima, ako nam nisu poznati temelji statističkoga (stohastičkoga) načina razmišljanja.

4.3. Warren je svoj, ovdje nekoliko puta citiran rad nazvao: Statistika: razum ili ritual. Mislim da nam je to odlična pouka. Nemojmo koristiti statistiku ritualno, već *Cum grano salis*. (hrv. Sa zrnom soli odnosno *S malo mozga*)

LITERATURA – References

- Host, E. G., 1988: Causal Models, Empirical Data, and Brief Philosophy of Science. IUFRO S6.02 Newsletter No. 16, str.
- Hitrec, V., 1989: Deterministic, Stochastic, Explanatory and Empirical Models. IUFRO Newsletter S6.02, No 18, str.
- McRoberts, E. M., 1988: In Defens of Empirical Models. IUFRO S6.02 No. 16, str.
- Oderwald, G. R., 1988: More "Comparing Empirical and Explanatory Models". IUFRO S&.02 Newsletter No .12, str.
- Rauscher, H. M. 1987: Comparing Empirical and Explanatory Models. IUFRO Newsletter No. ?
- Rauscher, H. M. 1988: Comparing Empirical and Explanatory Models Revisited. IUFRO Newsletter S6.02, No 16, str.
- Tomanić, S., V. Hitrec & V. Vondra: Sistem određivanja radnog vremena sječe i izrade drva. Monografija, Liber, Zagreb, 1978, str. 1-443.
- Warren, W. G., 1988: Empirical and Explanatory models: A comment IUFRO S6.02 Newsletter No. 1, str.
- Warren, W. G., 1988: On the presentation of Statistical Analysis: Reason or Ritual. Can. J. For. Res. 16. (1185-1191)
- Warren, W. G., 1988: Star Games. IUFRO S6.02 Newsletter No. 17, str.
- Wannacott, T. & R. Wannacott, 1990: Introductory Statistics for Buisness and Economics. John Wiley and Sons pp.

SUMMARY: Scientific research in the field of forestry is mainly stochastics, requiring the use of stochastic models, i.e. the method of inferencial statistics. Hardly any theories are available, though in some fields they occurred and were studied (Raucher 1980). The paper deals with the problem encountered by the researchers dealing with living organisms, particularly with their activities. Such work (applicative) is compared with the so called fundamental research resulting in theories. Stochastics, deterministic, empirical, i.e. explanator models are accordingly discussed. This part of the studies was aroused by Raucher (1987) and a discussion within the IUFRO Group S6.02. The second part of the paper is a short commentary on the misinterpretations about statistics as an aid in making decisions. Statistics is frequently regarded as indispensable, overpowering, objectiv and accurate. In many cases the results yielding obvious conclusions are encumbering with unnecessary statistical "evidence". It sometimes happens that an evident hypothesis is rejected if refused by statistical test. It is frequently forgotten that the inferencial statistics is based on a great number of conditions which have not always been fulfilled. On the other hand, the conditions are sometimes approached too rigorously. The autor thinks that the use of statistics by being aware that "we are not doing quite correctly" is less hazardous than the use of the correct procedure which we do not understand (here is the emphasis on the problems of statistical packages). The autor points out the idea (Warren 1986) that our conclusions are always subjective. Another misunderstanding is the opinion that statistics can prove opinion and hypotheses. The third par illustrates inadequate use of mathematical statistics with example which are in the authors opinon still present in literature, though quite some time has passed since the first warnings known to the author (Utts 1986, Warren 1987). Significantly, with computers playing a major part in it, the same analysis of the same data will not always give the same results.