

# Projektna naloga iz Statistike

Jan Pantner

Profesor: doc. dr. Martin Raič

September 2024

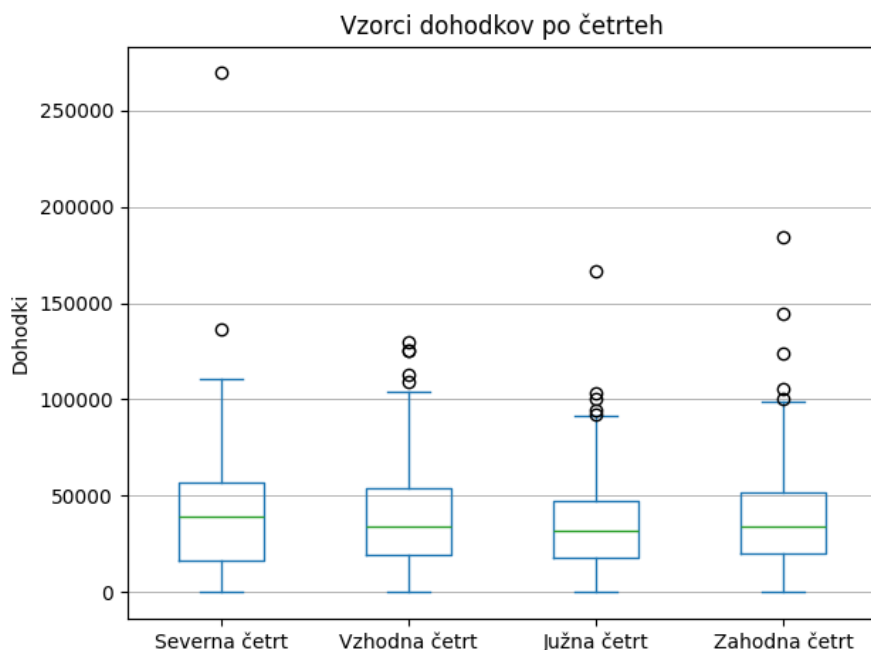
# Kazalo

1	Kibergrad	3
2	Lomljivost najlonskih palic	5
3	Spreminjanje temperature v Ljubljani	7
	Literatura	10

# 1 Kibergrad

Preučujemo dohodke družin v mestu Kibergrad. Imamo informacije o 43.886 družinah, ki živijo v eni od štirih četrti: v severni četrti stanuje 10.149 družin, v vzhodni 10.390, v južni 13.457 in v zahodni 9.890. Pomagamo si s programom `kibergrad.py`.

Iz vsake četrti vzamemo enostavni slučajni vzorec velikosti 100. Dohodke primerjamo s pomočjo škatel z brki, o katerih je več napisano v [3, poglavje 10.6]. Vzporedne škatle z brki so prikazane na sliki 1.

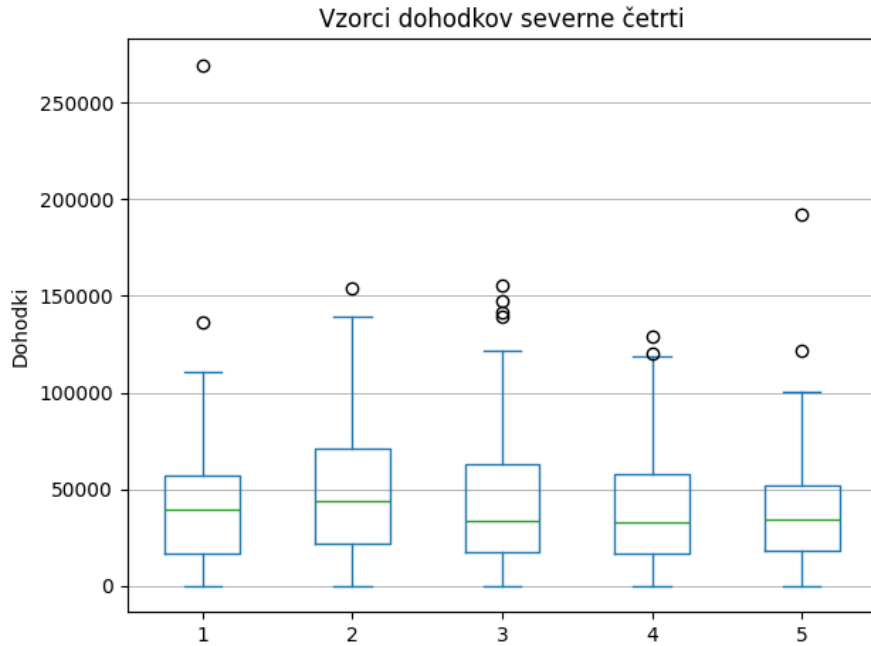


Slika 1: Škatle z brki za dohodke posamezne četrti.

Najprej opazimo, da je v severni četrti osamelec, ki močno izstopa. Prav tako so maksimum, tretji kvartil in mediana v severni četrti največji, vendar razlika ni dovolj velika, da bi lahko pri tako majhnem vzorcu sklepali, da so dohodki severne četrti najvišji. Zdi pa se, da so dohodki severne četrti malenkost višji kot dohodki južne četrti, pri kateri so vse prej omenjene vrednosti najmanjše.

Zdi se, da v splošnem četrt ne vpliva močno na velikost dohodka.

Sedaj vzamemo še štiri enostavne slučajne vzorce velikosti 100 iz severne četrti in pogledamo vzporedne škatle z brki za vzorce iz severne četrti. Prikazane so na sliki 2.



Slika 2: Škatle z brki dohodkov severne četrti.

Vse mediane so večje od 33.000, njihovo povprečje je približno 36.500. Zdi se, da lahko s precejšnjo sigurnostjo sklepamo, da je večina dohodkov višjih od 33.000.

V novih vzorcih ne opazimo tako ekstremnih osamelcev kot pri prvem vzorcu. Večina osamelcev ni zelo oddaljenih od maksimuma.

Za konec si pogledamo še varianco dohodka, pojasnjeno s četrtmi in preostalo (rezidualno) varianco. Naj bo  $N$  velikost populacije,  $N_i$  velikost populacije  $i$ -te četrti in  $w_i$  velikostni delež  $i$ -te četrti. Naj bo  $\mu$  povprečni dohodek in  $\sigma^2$  varianca dohodka Kibergrada,  $\mu_i$  in  $\sigma_i^2$  pa zaporedoma povprečni dohodek in varianca dohodka  $i$ -te četrti. Pojma pojasnjene in nepojasnjene variance sta razložena v [1]. Zaporedoma sta določena s formulama

$$\sigma_B^2 := \sum_{i=1}^4 w_i (\mu_i - \mu)^2 \quad \text{in} \quad \sigma_W^2 := \sum_{i=1}^4 w_i \sigma_i^2.$$

Izračunamo, da je

$$\sigma_B^2 = 9.252.923 \quad \text{in} \quad \sigma_W^2 = 1.017.226.451.$$

Pojasnjena varianca je velikokrat manjša od nepojasnjene. To se ujema z opažanjem, da četrt ne vpliva močno na velikost dohodka.

## 2 Lomljivost najlonskih palic

Na vzorcu 280 najlonskih palic preizkušamo njihovo lomljivost. Rezultati preizkusa so prikazani v tabeli 1. Pri analizi si pomagamo s programom `najlonske_palice.py`.

št. lomov	0	1	2	3	4	5
št. palic	157	69	35	17	1	1

Tabela 1: Rezultati preizkusa lomljivosti.

Privzamemo, da je število mest, na katerih se je palica zlomila, porazdeljeno binomsko  $\text{Bin}(5, p)$  za neznan parameter  $p$ . Privzamemo tudi, da so palice med seboj neodvisne.

Pri teh predpostavkah je logaritem verjetja podan z

$$l(p, x) = \log \prod_{i=1}^{280} \binom{5}{x_i} p^{x_i} (1-p)^{5-x_i}.$$

Izračunamo, da je maksimum dosežen pri  $\hat{p} = 0,14214$ . Ta vrednost nam predstavlja oceno  $p$  po metodi največjega verjetja.

Sedaj združimo zadnje tri vrednosti in preizkusimo ničelno domnevo, da je število mest, na katerih se je palica zlomila, porazdeljeno binomsko  $\text{Bin}(5, p)$ , proti alternativni domneni, da ima število lomov katero drugo porazdelitev. To storimo s Pearsonovim preizkusom hi kvadrat, ki je podrobneje opisan v [3, poglavje 9.5].

Pearsonova testna statistika je

$$X^2 = \sum_{i=0}^2 \frac{(x_i - n f_i(\hat{p}))^2}{n f_i(\hat{p})},$$

kjer je  $x_0 = 157$ ,  $x_1 = 69$ ,  $x_2 = 35$ ,  $x_3 = 19$  in

$$f_i(\hat{p}) = \begin{cases} \binom{5}{x_i} \hat{p}^{x_i} (1-\hat{p})^{5-x_i}, & i \in \{0, 1, 2\} \\ \sum_{j=3}^5 \binom{5}{x_j} \hat{p}^{x_j} (1-\hat{p})^{5-x_j}, & i = 3 \end{cases}.$$

Izračunamo, da je  $X^2 > 44$ . Iz tabele kvantilov porazdelitve sledi, da ničelno domnevo zavrnilo tako pri stopnji tveganja  $\alpha = 0,01$  kot tudi pri  $\alpha = 0,05$ .

Recimo sedaj, da imamo za  $i = 1, \dots, 280$  neodvisna opažanja  $X_i \sim \text{Bin}(m_i, p_i)$ , kjer so parametri  $m_i$  znani,  $p_i$  pa neznani. Smiselno predpostavimo, da so vsi parametri  $m_i$  vsaj 5. S pomočjo razmerja verjetij preizkusimo ničelno domnevo, da so vsi parametri  $p_i$  enaki, proti alternativni domnevi, da temu ni tako.

Verjetji sta enaka

$$L_1 = \prod_{i=1}^{280} \binom{m_i}{x_i} p_i^{x_i} (1-p_i)^{m_i-x_i},$$

$$L_0 = \prod_{i=1}^{280} \binom{m_i}{x_i} p_0^{x_i} (1-p_0)^{m_i-x_i}.$$

Če logaritem verjetja  $L_1$  odvajamo po  $p_i$ , dobimo

$$\frac{x_i}{p_i} + \frac{x_i - m_i}{1 - p_i}.$$

Odtod sledi, da je  $\hat{p}_i = \frac{x_i}{m_i}$ . Če je  $x_i \in \{0, m_i\}$ , tedaj vzamemo, da je tisti faktor verjetja enak 1. V primeru  $L_0$  pa lahko numerično izračunamo maksimum verjetja in dobimo  $\hat{p}_0$ .

Na danih podatkih dobimo

$$2 \log \Lambda = 2 \log \frac{\prod_{i=158}^{279} \binom{m_i}{x_i} p_i^{x_i} (1 - p_i)^{m_i - x_i}}{\prod_{i=1}^{280} \binom{m_i}{x_i} p_0^{x_i} (1 - p_0)^{m_i - x_i}} = 444,489.$$

Wilksovega izreka tukaj ne moremo uporabiti, saj zahteva, da so spremenljivke enako porazdeljene. Namesto tega uporabimo metodo *bootstrap*. Med 10.000 simuliranimi vrednostmi preizkusne statistike pri ničelni domnevi jih 0 preseže vrednost 444,489, torej lahko ničelno domnevo ponovno zavrnamo.

### 3 Spreminjanje temperature v Ljubljani

Preučujemo spreminjanje temperature v Ljubljani s pomočjo podatkov, izmerjenih mesečno v letih od 1994 do 2023. Pomagamo si s programom `temperature.py`.

Najprej predpostavimo linearni trend in sinusno nihanje s periodo enega leta. To nam da model

$$y_{l,m} = Ax_l + B \sin(x_m\pi/6 + \delta) + C$$

oziroma

$$y_{l,m} = Ax_l + B \sin(x_m\pi/6) + C \cos(x_m\pi/6) + D,$$

kjer je  $x_l$  leto meritve,  $x_m$  mesec meritve,  $y_{l,m}$  pa izmerjena temperatura v tem mesecu tega leta. Več o sinusnem modelu v [4]. Alternativno je model določen z

$$Y = X_A \beta_A,$$

kjer je  $\beta_A^\top = [D \ C \ B \ A]$  in

$$X_A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & \sin(\pi/6) & \cos(\pi/6) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 1 & \sin(11\pi/6) & \cos(11\pi/6) \\ 1 & 2 & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 2 & \sin(11\pi/6) & \cos(11\pi/6) \\ 1 & 3 & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 30 & \sin(11\pi/6) & \cos(11\pi/6) \end{bmatrix}.$$

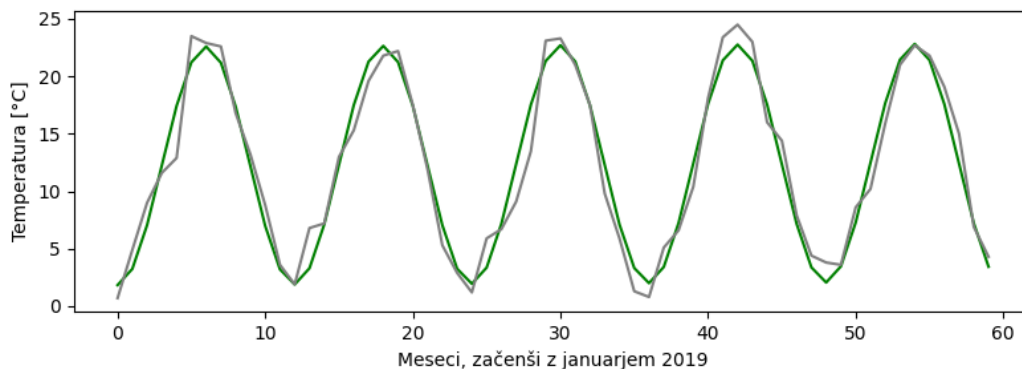
Torej je  $X_A$  matrika velikosti  $360 \times 4$ . Predpostavimo, da je naš model Gaussov. Tedaj je ocena za  $\beta_A$  po metodi največjega verjetja enaka

$$\hat{\beta}_A = (X_A^\top X_A)^{-1} X_A^\top Y.$$

Izračunamo

$$\beta_A^\top = [10.747 \ 0.056 \ 0.039 \ -10.379].$$

Prva komponenta nam pove, da imamo pozitiven trend, kar se sklada s teorijo globalnega segrevanja. Kako dober je model, lahko ocenimo s pomočjo slike 3.



Slika 3: Siva krivulja označuje izmerjene podatke, zelena pa oceno prvega modela.

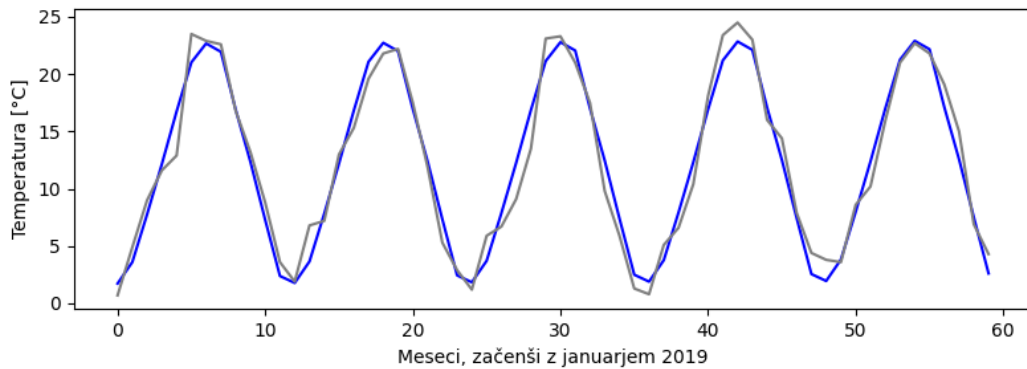
Alternativno predpostavimo linearni trend in spreminjanje temperature za vsak mesec v letu posebej, torej

$$X_B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & & & & \ddots & & \\ 1 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 1 \\ 2 & 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & & & & \ddots & & \\ 2 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 1 \\ 3 & 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & & & & \ddots & & \\ 30 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

To je ponovno matrika velikosti  $360 \times 13$ . V tem primeru je

$$\beta_B^\top = [0.06 \quad 0.26 \quad 2.14 \quad 6.30 \quad 10.68 \quad 15.29 \quad 19.56 \quad 21.21 \quad 20.48 \quad 15.44 \quad 10.88 \quad 5.82 \quad 0.92].$$

Prva komponenta nam pove, da imamo pozitiven linearen trend, iz ostalih komponent, pa je lepo razvidno kako se temperature spreminjajo skozi mesece. Vidimo na primer, da model predvidi najnižje temperature pozimi in najvišje poleti. Model je prikazan na sliki 4.



Slika 4: Siva krivulja označuje izmerjene podatke, modra pa oceno tretjega modela.

Tretji model je širši od prvega. Preizkusimo model  $A$  znotraj modela  $B$ , torej preizkusimo ničelno domnevo, da velja model  $A$ , proti alternativni, da velja model  $B$  z odvzetim podmodelom  $A$ . To lahko storimo na podlagi statistike

$$F := \frac{(\text{RSS}_A - \text{RSS}_B)(n - p)}{\text{RSS}_B(p - q)},$$

kjer sta  $p$  in  $q$  prostorski stopnji modelov  $B$  in  $A$ . Ničelno domnevo zavrnemo, če je

$$F \geq F_{\text{fisher}(p-q, n-p)}^{-1}(1 - \alpha),$$

kjer je  $\alpha$  stopnja tveganja. Izpeljava je na voljo v [2].

V našem primeru je  $p = 13$  in  $q = 4$ . Izračunamo

$$F = 1,595, \quad F_{\text{fisher}(9,347)}^{-1}(1 - 0,05) = 1,907 \quad \text{in} \quad F_{\text{fisher}(9,347)}^{-1}(1 - 0,01) = 2,459.$$

Ničelne domneve torej ne moremo zavrniti.



## Določanje optimalnega modela z Akaikejevo informacijo

Pri izbiri boljšega modela si lahko pomagamo z Akaikejevo informacijo, ki je v primeru linearne regresije in Gaussovega modela enaka

$$\text{AIC} := 2p + n \ln \text{RSS},$$

kjer je  $p$  število parametrov,  $n$  število opazanj in  $\text{RSS} = \|Y - X\hat{\beta}\|$ .

Akaikejeva informacija prvega modela je enaka 1261, drugega pa 1265. Torej ima model  $A$  malenkost manjšo Akaikejevo informacijo in je primernejši.

## Literatura

- [1] M. Raič. *Razcep variance*. Dopolnitve predavanj iz statistike v študijskem letu 2023/24. URL: <https://ucilnica.fmf.uni-lj.si/mod/resource/view.php?id=63830> (pridobljeno 16. 9. 2024).
- [2] M. Raič. *Statistično sklepanje pri linearni regresiji*. Dopolnitve predavanj iz statistike v študijskem letu 2023/24. URL: <https://ucilnica.fmf.uni-lj.si/mod/resource/view.php?id=63680> (pridobljeno 19. 9. 2024).
- [3] J.A. Rice. *Mathematical Statistics and Data Analysis*. Third Edition. Duxbury, 2007. ISBN: 9780534399429.
- [4] Wikipedia. *Sinusoidal model*. URL: <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Sinusoidal%5C%20model&oldid=1176465107> (pridobljeno 17. 9. 2024).

Kvantili Fisherjeve porazdelitve so bili izračunani s kalkulatorjem Stat Trek, dostopnim na <https://stattrek.com/online-calculator/f-distribution>.