

# Određivanje optimalne neuronske mreže za klasifikaciju virusne populacije

---

**Brebrić, Karlo**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Split / Sveučilište u Splitu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:226:278949>

*Rights / Prava:* [Attribution-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-06**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of University Department of Marine Studies](#)



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STUDIJE MORA**  
**DIPLOMSKI STUDIJ EKOLOGIJA I ZAŠTITA MORA**

**Karlo Brebrić**

**ODREĐIVANJE OPTIMALNE NEURONSKE  
MREŽE ZA KLASIFIKACIJU VIRUSNE POPULACIJE**

**Diplomski rad**

**Split, rujan 2023.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STUDIJE MORA**  
**DIPLOMSKI STUDIJ EKOLOGIJA I ZAŠTITA MORA**

**ODREĐIVANJE OPTIMALNE NEURONSKE  
MREŽE ZA KLASIFIKACIJU VIRUSNE POPULACIJE**

**Diplomski rad**

**Predmet:** Postupci provjere, analize i prikaza podataka

**Mentor:**

Doc. dr. sc. Frano Matić

**Student:**

Karlo Brebrić

**Split, rujan 2023.**

Sveučilište u Splitu  
Sveučilišni odjel za studije mora  
Diplomski studij Ekologija i zaštita mora

Diplomski rad

## ODREĐIVANJE OPTIMALNE NEURONSKE MREŽE ZA KLASIFIKACIJU VIRUSNE POPULACIJE

**Karlo Brebrić**

### Sažetak

Klasificirana je virusna populacija u vodenom stupcu na srednjem Jadranu pomoću umjetne neuronske mreže. Najbolja klasifikacija se postiže kada se kao ulazni parametri koriste brojnosti eukariota i prokariota te temperatura mora kao okolišni parametar. Rezultati će se naknadno povezati s ostalim okolišnim čimbenicima. U radu su modelirane virusne populacije i različiti okolišni parametri. Testirana je važnost biotičkih varijabli bitnih za klasifikaciju virusne populacije te varijabilnost unutar nje same. Korištenjem *Neural gas* metode s različitim brojem neurona povećava se varijabilnost, a bojama se označavaju odstupanja od srednje vrijednosti. Testiranjem *Neural gas* modela uočava se pojava nelinearnosti virusne populacije povezane s temperaturom. Vremensko-prostorna analiza prikazuje raspodjelu neurona u vodenom stupcu kroz cijelu godinu.

(32 stranica, 14 tablica, 10 literaturna navoda, jezik izvornika: hrvatski)

**Ključne riječi:** *Neural gas*, umjetne neuronske mreže, strojno učenje, virusne populacije, Jadransko more, hranidbeni lanac

**Mentor:** Doc. dr. sc. Frano Matić

**Komentor:** Doc. dr. sc. Marin Ordulj

**Ocjenjivači:** 1. Prof. dr. sc. Svjetlana Krstulović Šifner

2. Doc. dr. sc. Frano Matić

3. Doc. dr. sc. Marin Ordulj

University of Split  
Department of Marine Studies  
Graduate study Marine ecology and protection

MSc Thesis

**DETERMINING OPTIMAL NEURAL NETWORK FOR CLASSIFYING  
VIRAL POPULATIONS**

**Karlo Brebrić**

**Abstract**

Virus population in water column in the central Adriatic Sea was classified by artificial neural network. The best classification is achieved when we use temperature, eukaryotes, and prokaryotes as parameters, which are associated with environmental factors. In this thesis virus populations were classified additionally with all parameters related to them. We have tested importance of biotic variables important for virus population classification and variability within the virus population itself. Using the *Neural gas* method with different number of neurons we increase variability, while colouring signifies deviations from mean value. Testing *Neural gas* models shows non-linearity of the virus population as a function of temperature. Spatio-temporal analysis shows distribution of neurons within water column throughout whole year.

(32 pages, 12 figures, 14 tables, 10 references, original in: Croatian)

**Key words:** *Neural gas*, artificial neural networks, machine learning, virus population, Adriatic Sea, food chain

**Supervisor:** Frano Matic, PhD / Assistant Professor

**Co-supervisor:** Marin Ordulj, PhD / Assistant Professor

**Reviewers:**

1. Svjetlana Krstulović Šifner, PhD / Full Professor
2. Frano Matic, PhD / Assistant Professor
3. Marin Ordulj, PhD / Assistant Professor

## SADRŽAJ:

1. UVOD .....	1
1.1. Dosadašnja istraživanja .....	2
1.2. Svrha i ciljevi rada.....	3
2. MATERIJALI I METODE .....	4
2.1. Podatci .....	4
2.2. <i>Neural gas</i> metoda.....	4
3. REZULTATI.....	6
3.1. Prvi eksperiment – 9 biotičkih parametara .....	6
3.2. Drugi eksperiment – pet tipova virusa .....	15
3.3. Treći eksperiment – mješoviti parametri .....	22
4. RASPRAVA.....	32
5. ZAKLJUČCI.....	34
6. LITERATURA.....	35

# 1. UVOD

Umjetne neuronske mreže (eng. *Artificial Neural Network*, ANN) su oblik strojnog učenja modela inspiriranog strukturom i funkcijama ljudskoga mozga (Goodfellow i sur., 2016). Umjetne neuronske mreže sastoje se od velikog broja međusobno povezanih neurona koji procesuiraju i odašilju informacije kroz mrežu kojom je povezana te su sposobni učiti kroz dobivene podatke, prepoznavati uzorke i predviđati njihovo ponašanje u budućnosti (Goodfellow i sur., 2016).

Osnovna jedinica umjetnih neuronski mreža je neuron, koji dobiva ulazne podatke od drugih neurona ili vanjskih izvora, procesira te podatke te generira signal izlaznih podataka koji odašilje drugim neuronima (Haykin, 1994). Neuroni su organizirani u slojeve te se neuronska mreža najčešće sastoji od sloja ulaznih podataka, jednog ili više skrivenih slojeva, i sloja izlaznih podataka. Sloj ulaznih podataka dobije podatke iz vanjskih izvora, dok sloj izlaznih podataka producira završne podatke mrežnog rada. Skriveni slojevi sadrže reprezentativne podatke koji dopuštaju mreži da nauči kompleksne uzorke i veze između njih (Goodfellow i sur., 2016).

Snaga veze između neurona se prilagođava tijekom procesa učenja kako bi optimizirala učinkovitost mreže u zadanom zadatku (Haykin, 1994). Proces učenja uključuje „hranjenje“ velikom količinom označenih podataka i prilagođavanje snage neuronske mreže kako bi minimalizirala razliku između mrežnih predviđanja i podataka (Goodfellow i sur., 2016).

Primjena umjetnih neuronskih mreža je široka, a uključuje prepoznavanje slika i govora, procesuiranje prirodnih jezika te se koristi i u industriji autonomnih vozila (LeCun i sur., 2015). Umjetne neuronske mreže su pokazale impresivan učinak u mnogim zadacima i vodile su ka značajnom razvitku umjetne inteligencije, međutim, one imaju i svoja ograničenja. Neka od tih ograničenja uključuju poteškoće u interpretiranju njihovih unutarnjih reprezentativnih podataka, potrebu za velikim količinama označenih podataka i potrebu za pretjeranim ugađanjem sustava (Goodfellow i sur., 2016).

## 1.1. Dosadašnja istraživanja

Nisu svi znanstveni radovi koje ćemo spomenuti koristili istu neuronsku mrežu, neki su koristili samo-organizirajuće mape (eng. *Self-Organizing Maps*, SOM), a kasnije se uočila prednost *Neural gas* metode u odnosu na SOM jer bolje opisuje ekstremne događaje, neobičnije klase i uzorke. Neki radovi naglašavaju utjecaj temperature kao abiotičkog parametra na varijable (Šolić i sur., 2018; Ninčević Gladan i sur., 2020; Šolić i sur., 2022; , dok ih drugi samo koriste kao jedan od parametara (Šolić i sur., 2020; Šantić i sur., 2021). Dosadašnja istraživanja u kojima su korištene neuronske mreže uključuju relativno novije radove u kojima su većinom istraživani utjecaji okolišnih čimbenika na strukturu, vezu i dinamiku mikrobnih hranidbenih mreža. Godine 2018. istraživana je prostorno-vremenska poveznica između mikrobne hranidbene mreže i temperature (Šolić i sur., 2018), gdje je cilj istraživanja dugoročnim promatranjem u Jadranskom moru bio utvrditi kako mikrobna zajednica reagira na zatopljenje i utjecaj zatopljenja na trofičkoj razini, kao i na funkcioniranje ekosustava te bolje razumjeti ugljikov ciklus u moru. U istom radu korišten je SOM kako bi se analizirali brojni mikrobni parametri na dvije postaje s različitim trofičkim statusom (Šolić i sur., 2018). Početkom 2020. godine, istraživana je veza između pojave toksičnih vrsta fitoplanktona i okolišnih i meteoroloških faktora uz istočne obale Jadrana. Cilj istraživanja je bio zabilježiti toksične vrste fitoplanktona uz obale istočnog Jadrana, opisati sezonski ciklus često pojavljivanih vrsta i određivanje okolišnih i meteoroloških faktora koji su pogodni za njihov razvoj, a u radu su se koristile samo-organizirajuće mape kako bi se razlikovali podaci vezani uz rod *Dinophysis* od drugih (Ninčević Gladan i sur., 2020). Šolić i sur. (2020) objavljuju rad u kojem se istražuje utjecaj stabilnosti dinamike vodenog stupca na sukcesiju planktonske hranidbene mreže na otvorenom Jadranu, a cilj rada je bio pojasniti utjecaj procesa vertikalnog miješanja i stratifikacije i na mijenjanje više vrsta hranidbenih mreža, što je važno za utvrđivanje uzročno-posljedične veze klimatskih promjena na morski ekosustav. Analiza mikrobne raznolikosti u srednjem i južnom Jadranu istraživana je 2021. godine (Šantić i sur., 2021), gdje je *Neural gas* metoda prikazala vezu između odabranih okolišnih parametara i pikoplanktonskih varijabli te strukture bakterijske zajednice. Šolić i sur. (2022) dodatno istražuju promjenjivost ekološkog stanja u morskom okolišu na stvaranje različitih struktura mikrobnih hranidbenih mreža i njihovu ponovljivost, gdje su koristeći umjetnu neuronsku mrežu i preko 3000 setova podataka u desetljetnom periodu, prikazali prostorno-vremensku dinamiku promjene u ekološkom stanju te utvrdili utjecaj nutrijenata i temperature na strukture mikrobnih hranidbenih mreža. Nedostatkom istraživanja virusa u



otvorenom Jadranu, Ordulj i sur. (2023) koriste *Neural gas* metodu s ciljem istraživanja sezonske raspodjele virusnih populacija u otvorenom Jadranu te analiziranja veze između virusa i brojnosti planktona.

## **1.2. Svrha i cilj rada**

Svrha ovoga istraživanja je što bolje klasificirati virusne populacije i parametre koji utječu na njihovu raspodjelu u vodenom stupcu u Jadranu, kako bi se dobivene informacije o optimalnoj neuronskoj mreži koristile za daljnja istraživanja virusnih populacija.

Ciljevi rada su sljedeći:

- istražiti koji parametri utječu na optimalnu neuronsku mrežu,
- ispitati međusobni odnos između varijabli i parametara,
- nakon pronalaska optimalne virusne populacije, istražiti raspodjelu ostalih parametara po dubini.

## 2. MATERIJALI I METODE

### 2.1. Podatci

U ovom radu koristili su se podaci izmjereni na središnjoj postaji Kaštelanskog zaljeva u razdoblju od rujna 2016. do studenog 2017. godine. Na postaji se uzorkovalo jednom mjesečno na standardnim oceanografskim dubinama: 0 m, 5 m, 10 m, 20 m i 30 m. Također su korišteni podatci temperature mora, saliniteta, otopljenog kisika, pH, koncentracije hranjivih soli (nitrati, nitriti, amonijak, fosfati i slični), bakterijska proizvodnja, brojnost heterotrofnih nanoflagelata, cijanobakterija *Prochlorococcus* i *Synechococcus*, kao i četiri grupe virusa unutar virusne populacije. Metode uzorkovanja kao obrada podataka detaljno su opisani u radu Ordulj i sur. 2023.

### 2.2. Neural gas metoda

*Neural gas* je umjetna neuronska mreža trenirana nenadziranim učenjem (Martinetz i Schultzen, 1993), što znači da za treniranje neuronske mreže nije potrebno pretpostaviti nikakve početne uvjete. Mreža se sama slobodno, poput plina, prilagođava podacima. Zbog tog svojstva dobila je i naziv *Neural gas*. Ova metoda reducira dimenzionalnost podatkovnog prostora na određeni broj neurona odnosno klasa koje se na engleskom jeziku zovu *Best Matching Units* (BMU). Tijekom procesa učenja u predodređenom broju koraka adaptacije, algoritam koristeći euklidsku udaljenost pokušava minimalizirati pogreške kvantificirajući BMU-ove preko relevantnog dijela podatkovnog prostora. Kao rezultat toga, veze između istreniranih neurona su slabe bez predodređenih odnosa. Neuronske mreže koristimo kako bi maksimizirali sličnost i utvrdili vezu između BMU-ova i mjerenih podataka te lakše vizualizirali i obradili podatke (Kohonen, 1996). Upravo slaba povezanost BMU-ova čini *Neural gas* metodu prikladnijom za pronalaženjem anomalija i iznimaka (Šantić, 2021).

Ulazna matrica u neuronsku mrežu se sastoji od vektora podataka. Vektor predstavlja skup odabranih varijabli tijekom jednog krstarenja. U ovom radu bilo je 65 vektora, odnosno različitih uzoraka. U ovom radu testirali smo različite sastave i veličine pojedinog vektora.

Tijekom procesa prilagodbe, *Neural gas* je postavljen na 500 trening epoha kako bi lakše prepoznao anomalije i izuzetke, te nam kasnije smanjio količinu podataka i lakše svrstao

u četiri grupe kako bi zadovoljili potrebe analize, koje referiramo kao BMU matrice. *Neural gas* se proteže dovoljno široko kako bi obuhvatio sve podatke, a rezultat toga je svaka zasebna krajnost modelirana s jednim BMU-om.

Pri izradi rada koristili smo MATLAB softver za statističku analizu i obradu podataka. Unutar programskog paketa MATLAB, koristili smo i paket za samo-organizirajuće mape (SOM Toolbox 2.0, <http://www.cis.hut.fi/somtoolbox/>)(Kohonen i sur., 1996). Podatke koje koristimo za pokretanje *Neural gas* modela tijekom procesa inicijalizacije smo logaritmirali zbog jednolike valorizacije svih varijabli tijekom modeliranja. Unutar MATLAB programa koristili smo skriptu koja je pokrenula *Neural gas* kako bi pronašli optimalne reprezentativne podatke parametara i lakše prepoznali uzorke između istih.

Skripta za pripremu podataka i pokretanje *Neural gas* modela:

```
%% Dodajemo putanju
addpath('...SOM-Toolbox-master\som');
%% Učitavamo matricu podataka
load('Input_Matrix.mat') ;
%% Pripremamo "sD" matricu, podatke za obradu
sD=DaTa_Numeric(:,2);
sD(:,2:10)=log10(DaTa_Numeric(:,18:end));
%% Startamo model
Neuron_numeber=5;
Epoch_number=500;
D = neural_gas(sD, Neuron_numeber, Epoch_number);
% *****
% Rezultat su D i BMU matrice
% *****
%% Izračunavanje pomoćnih parametara
d=som_eucdist2(D,sD);
[BMU,~]=find(d==min(d));
```

### 3. REZULTATI

Kao što je navedeno cilj ovog rada je istražiti koji parametri utječu na optimalnu neuronsku mrežu, kakav je odnos između varijabli. Da bismo to istražili napravljene su tri klase eksperimenata u kojima su se koristile različite varijable kao parametri u ulaznom vektoru. Nadalje, za svaku klasu eksperimenata analizirao se optimalan broj neurona. Za svaku klasu su napravljena po četiri neuronska modela, tj. ukupno 12 različitih neuronskih modela.

#### 3.1. Prvi eksperiment – 9 biotičkih parametara

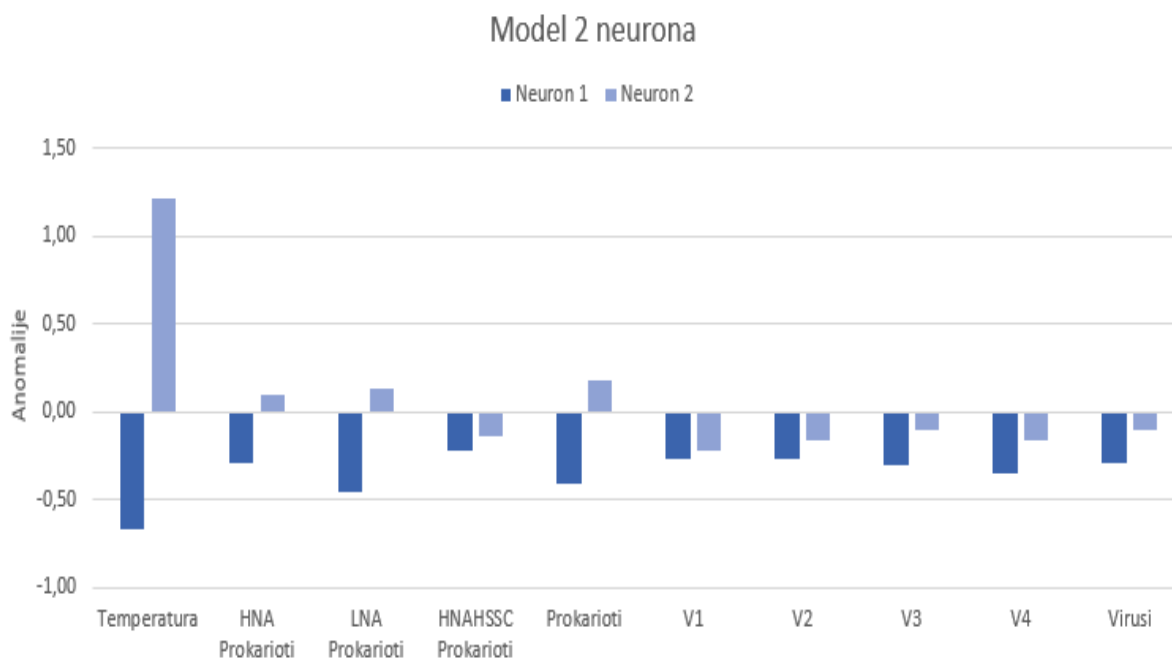
Za *Neural gas* model koristili smo temperaturu kao abiotički faktor te 9 biotičkih varijabli, brojnosti cijanobakterije *Prochlorococcus* i virusa. Optimalan broj neurona testirali smo pokretanjem *Neural gas* modela pojedinačno sa 2, 3, 4 i 5 neurona i svaki od tih rezultata prikazali smo u tablicama (Tablica 1-4). Tablica 1 prikazuje podatke obrađene sa 2 neurona, a ujedno nam prikazuje klasu višu od prosjeka i klasu nižu od prosjeka, tj. minimum i maksimum. Minimum i maksimum ne ističu se za sve modelirane varijable, već samo za prokariote i temperaturu mora dok se virusna populacija nije značajno odvojila.

Prosjek brojnosti HNA grupe prokariota po mililitru iznosi 81 158,43 te nam je prosječna brojnost HNA grupe prokariota u prvoj klasi 71 268,89 i u drugoj klasi 84 722,74 te je prva klasa mnogo niže vrijednosti od prosjeka, dok druga klasa ne poprima proporcionalno veće vrijednosti kao što bi trebala. Isti uzorak vrijedi i za većinu ostalih brojnosti prokariota, no zanimljivo je uočiti da nam HNAHSSC grupa prokariota i svi virusi u obje klase poprimaju vrijednosti niže od prosjeka i nismo uspjeli reproducirati visoke vrijednosti sa 2 neurona te je moguće da su nam anomalije i iznimke značajno utjecale na srednju vrijednost (Slika 1). Promatranjem koncentracija dobivenih sa 2 neurona dobili smo 3 biotičke varijable koje imaju klase više i niže od prosjeka, dok čak 6 od 9 biotičkih varijabli, HNAHSSC grupa prokariota, V1, V2, V3, V4 te ukupna brojnost virusa, nismo dovoljno dobro opisali sa 2 neurona jer nismo uspjeli reproducirati podatke veće od prosjeka za ijednu od tih klasa.

**Tablica 1.** Neuronu dobiveni modelom *Neural gas* uvježbanog za prokariote i viruse te srednja vrijednost (prosjeak) i standardna devijacija ( $\sigma$ ) istih. Bojom su označena njihova odstupanja od prosjeka (narančasta – pozitivna odstupanja, plava – negativna odstupanja)

Spektrom boja označili smo značajnost odstupanja varijabli od prosjeka. (HNA – *High Nucleic Acid* grupa prokariota, LNA – *Low Nucleic Acid* grupa prokariota, HNAHSSC – *High Nucleic Acid High Side Scatter* grupa prokariota, HB – heterotrofne bakterije, grupe virusa: V1 – *Virus High*, V2 – *Virus Med*, V3 – *Virus Low*, V4 – *Virus High Side Scatter*, Virusi – ukupni broj virusa).

	Neuron 1	Neuron 2	Prosjeak	$\sigma$
Temperatura (°C)	14,08	21,69	16,77	4,05
HNA (mL)	71268,89	84722,74	81158,43	34568,80
LNA (mL)	258880,89	313761,75	301285,01	93978,20
HNAHSSC (mL)	1611,76	1789,37	2127,37	2386,38
HB (mL)	337520,38	405135,22	384570,82	115620,74
V1 (mL)	2399,94	2456,97	2718,71	1218,52
V2 (mL)	301856,13	320996,28	348401,23	172244,51
V3 (mL)	1919994,57	2096524,78	2179638,69	862766,45
V4 (mL)	33388,74	36224,30	38620,61	14959,09
Virusi (mL)	2263601,64	2460367,60	2569379,23	1040597,87

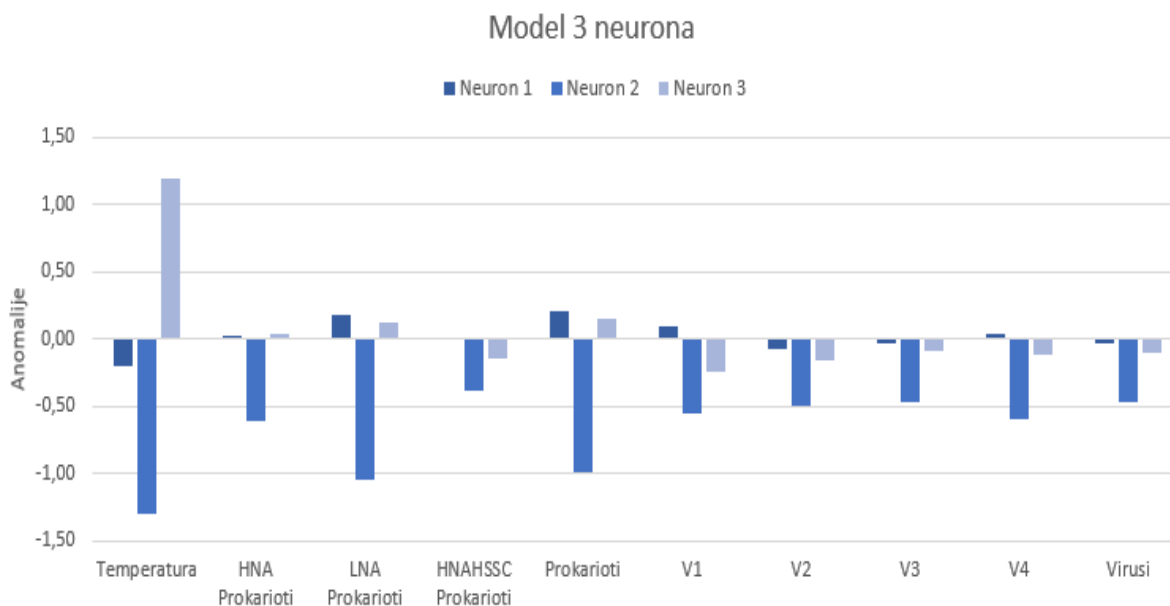


**Slika 1.** Anomalije neurona dobivenih modelom *Neural gas* uvježbanog za prokariote i viruse. (HNA – *High Nucleic Acid* grupa prokariota, LNA – *Low Nucleic Acid* grupa prokariota, HNAHSSC – *High Nucleic Acid High Side Scatter* grupa prokariota, Prokarioti – ukupni broj prokariota grupe virusa: V1 – *Virus High*, V2 – *Virus Med*, V3 – *Virus Low*, V4 – *Virus High Side Scatter*, Virusi – ukupni broj virusa).

Kod klasa dobivenih s 3 neurona dobili smo vrijednosti većih prosjeka za 6 varijabli, dok su grupe virusa V2, V3 i ukupna brojnost virusa i dalje nižih vrijednosti od prosjeka (Tablica 2). Kada su brojnosti i virusa i prokariota bile povišene temperatura je bila u neutralnom stanju, a kada je temperatura otišla u njen maksimum, virusi i bakterije su se zadržali u nižem stanju i nisu poprimili svoje maksimalne vrijednosti što sugerira da ni 3 neurona nisu dovoljna. U slučaju kada je temperatura u minimalnoj vrijednosti, sve vrijednosti brojnosti virusa i prokariota su također tada najniže. Klase koje su većih vrijednosti od prosjeka tek su blago većih vrijednosti, dok su klase vrijednosti nižih od prosjeka poprimile još niže vrijednosti u slučaju s 3 neurona, što nam govori da često imamo jako male vrijednosti. U ovom slučaju utvrđujemo da smo ovoga puta 6 od 9 biotičkih varijabli bolje opisali sa 3 neurona u odnosu sa 2 neurona, no i dalje nismo uspjeli reproducirati podatke veće od prosjeka za sve klase. U prilog tome ide i pojava sličnih anomalnih vrijednosti te je također moguće da su nam anomalije utjecale na srednju vrijednost (Slika 2), kao i u slučaju sa 2 neurona (Slika 1).

**Tablica 2.** Neuronu dobiveni modelom *Neural gas* uvježbanog za prokariote i viruse. Bojom su označena njihova odstupanja od prosjeka (narančasta – pozitivna odstupanja, plava – negativna odstupanja). Spektrom boja označili smo značajnost odstupanja varijabli od prosjeka. (HNA – *High Nucleic Acid* grupa prokariota, LNA – *Low Nucleic Acid* grupa prokariota, HNAHSSC – *High Nucleic Acid High Side Scatter* grupa prokariota, Prokarioti – ukupni broj prokariota, grupe virusa: V1 – *Virus High*, V2 – *Virus Med*, V3 – *Virus Low*, V4 – *Virus High Side Scatter*, Virusi – ukupni broj virusa).

	Neuron 1	Neuron 2	Neuron 3
Temperatura (°C)	15,99	11,49	21,63
HNA Prokarioti (mL)	82318,98	60117,37	82470,76
LNA Prokarioti (mL)	319006,84	202955,11	313545,09
HNAHSSC Prokarioti (mL)	2130,59	1204,20	1787,31
Prokarioti (mL)	409354,91	269711,83	402717,03
V1 (mL)	2837,27	2052,11	2424,93
V2 (mL)	336511,57	263572,44	321662,18
V3 (mL)	2154765,43	1777460,67	2105232,18
V4 (mL)	39246,42	29716,66	36897,76
Virusi (mL)	2536296,37	2080654,64	2470586,14



**Slika 2.** Anomalije neurona dobivenih modelom *Neural gas* uvježbanog za prokariote i viruse. (HNA – *High Nucleic Acid* grupa heterotrofnih prokariota, LNA – *Low Nucleic Acid* grupa heterotrofnih prokariota, HNAHSSC – *High Nucleic Acid High Side Scatter* grupa heterotrofnih prokariota, Prokarioti – ukupni broj prokariota grupe virusa: V1 – *Virus High*, V2 – *Virus Med*, V3 – *Virus Low*, V4 – *Virus High Side Scatter*, Virusi – ukupni broj virusa).

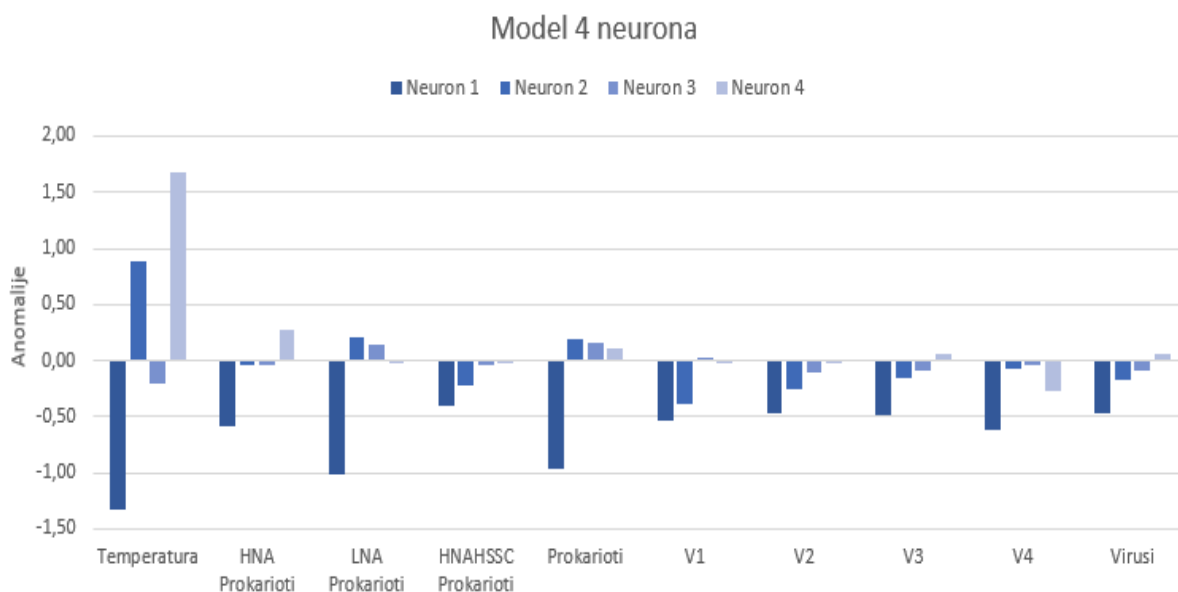
U slučaju klasa dobivenih sa 4 neurona, primjećujemo da je 7 od 9 klasa poprimilo vrijednosti i viših i nižih od prosjeka, ali ovoga puta vrijednosti veće od prosjeka nedostaju za klase HNAHSSC grupe prokariota i VirusHighSSC grupe virusa (Tablica 3). Sa 4 neurona također vidimo da je prilikom najniže vrijednosti temperature ujedno najniža vrijednost svih virusa i prokariota, dok se maksimalne vrijednosti počinju odvajati i poprimati različite odnose pri različitim temperaturama. Pri najvišoj temperaturi od 23,56 °C najveće vrijednosti uočavamo kod HNA grupe prokariota, V2, V3 virusne grupe i ukupne brojnosti virusa. Uočavamo i znatnije odvajanje prosječnih vrijednosti za ostale klase u odnosu na klase dobivene sa 2 i 3 neurona, ali čak ni u slučaju sa 4 neurona nismo uspjeli reproducirati podatke veće od prosjeka za sve klase. Model 4 neurona pokazuje da se grupe HNA i LNA bakterija i ukupne brojnosti prokariota odvajaju u pozitivne i negativne vrijednosti.

Vrijednosti anomalija razlikuju se od prijašnjih (Slika 1, 2), te uočavamo najviše i najniže vrijednosti anomalija kod temperature. Neuron 1 kod svih parametara poprima najnižu vrijednost, a također uočavamo da je raspon anomalija veći kod svih prokariotskih skupina u odnosu na virusne skupine (Slika 3).



**Tablica 3.** Neuronu dobiveni modelom *Neural gas* uvježbanog za prokariote i viruse. Bojom su označena njihova odstupanja od prosjeka (narančasta – pozitivna odstupanja, plava – negativna odstupanja). Spektrom boja označili smo značajnost odstupanja varijabli od prosjeka. (HNA – *High Nucleic Acid* grupa prokariota, LNA – *Low Nucleic Acid* grupa prokariota, HNAHSSC – *High Nucleic Acid High Side Scatter* grupa prokariota, Prokarioti – ukupni broj prokariota, grupe virusa: V1 – *Virus High*, V2 – *Virus Med*, V3 – *Virus Low*, V4 – *Virus High Side Scatter*, Virusi – ukupni broj virusa).

	Neuron 1	Neuron 2	Neuron 3	Neuron 4
Temperatura (°C)	11,36	20,37	15,97	23,56
HNA Prokarioti (mL)	60757,51	79781,10	79928,19	90552,41
LNA Prokarioti (mL)	205541,73	321144,14	315210,01	298813,35
HNAHSSC Prokarioti (mL)	1172,47	1595,14	2025,82	2114,95
Prokarioti (mL)	272960,62	406817,85	402624,32	396825,89
V1 (mL)	2068,24	2249,57	2747,26	2703,34
V2 (mL)	268596,28	305703,21	329230,45	347536,16
V3 (mL)	1765224,72	2041267,87	2099423,24	2234086,58
V4 (mL)	29498,50	37583,74	38106,58	34498,48
Virusi (mL)	2073480,71	2389461,29	2472862,68	2625427,32

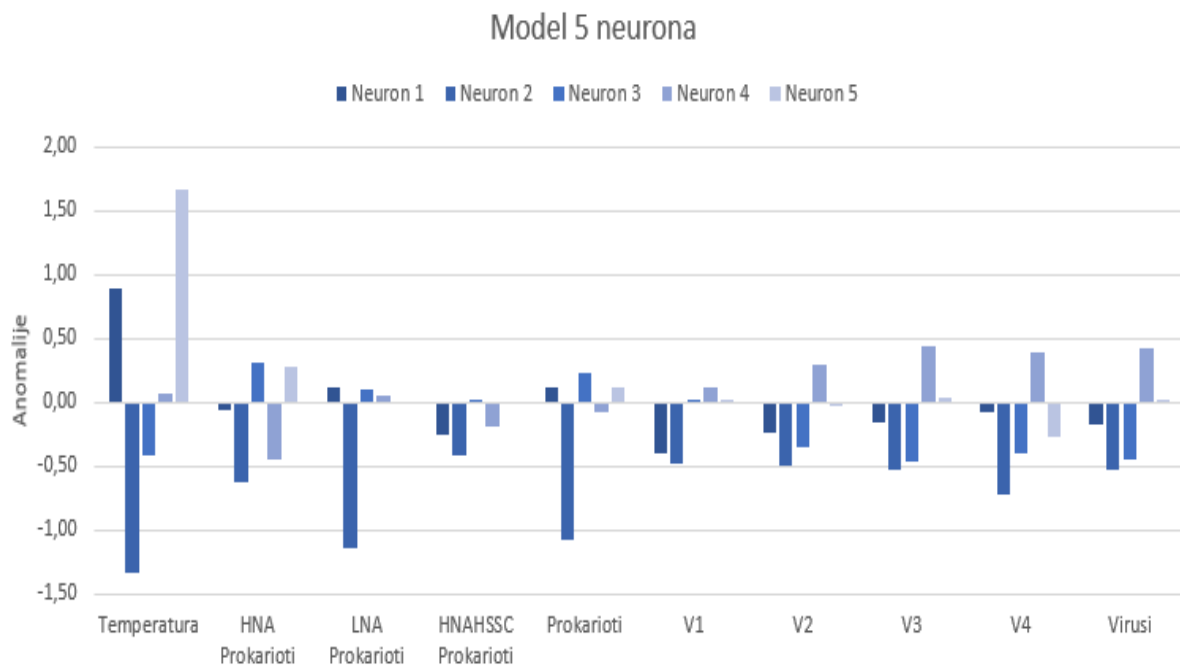


**Slika 3.** Anomalije neurona dobivenih modelom *Neural gas* uvježbanog za prokariote i viruse. (HNA – *High Nucleic Acid* prokariotska grupa, LNA – *Low Nucleic Acid* prokariotska grupa, HNAHSSC – *High Nucleic Acid High Side Scatter* prokariotska grupa, Prokarioti – ukupni broj prokariota V1 – *Virus High*, V2 – *Virus Med*, V3 – *Virus Low*, V4 – *Virus High Side Scatter*, Virusi – ukupni broj virusa).

Klase dobivene *Neural gasom* s 5 neurona pokazuju značajne promjene prosjeka. Sve grupe su dobile vrijednost veću od prosjeka u barem jednoj klasi. Najviša brojnost virusa javlja se pri temperaturi od 17,08 °C, a najniža brojnost virusa se gotovo javlja pri temperaturi od 15,09 °C, dok je prava najniža brojnost virusa pri temperaturi od 11,36 °C. Pri temperaturama većih od 20 °C distribucija virusa i prokariota po temperaturi je složena, a budući da *Neural gas* klasificiramo po temperaturi nismo uspjeli dovoljno dobro razlučiti podatke s manje od 5 neurona te smo zbog toga dobivali različite podatke. Pri najvišoj vrijednosti temperature od 23,54 °C nisu zabilježene najviše vrijednosti nijedne klase, što znači da se brojnost biotičkih varijabli odvaja zbog čimbenika koji ne ovise o temperaturi, a to se najbolje vidi u slučaju virusa. Tablica 4 nam dosad najbolje opisuje raspodjelu temperature i odnose između varijabli i njihovih vrijednosti. Prilikom manjeg porasta temperature prvo će nam porasti vrijednosti ukupnog broja prokariota, kao i HNA i HNAHSSC grupe prokariota, a nadalje će nam porasti vrijednosti virusa, te na kraju pri temperaturi od 20,39 °C imamo najveću količinu LNA grupe prokariota i pad brojnosti virusa, a pri najvećoj temperaturi nam se vrijednosti svih biotičkih varijabli smanjuju. Time zaključujemo da imamo pojavu nelinearnosti u slučaju virusa, budući da porastom temperature brojnost virusa se ne povećava

te im je optimalna temperatura  $\sim 17$  °C. Varijabilnost unutar virusne skupine se teško odvaja, a dodavajući broj neurona dominantno mijenjamo bakterije, dok nam se virusi slabije odvajaju, a zbog promjenjivosti prokariota nismo u mogućnosti uočiti promjenjivost virusa.

Vrijednosti anomalija nam potvrđuju to; vrijednosti anomalija temperature su najveće kod neurona 5 kada je i vrijednost temperature najviša, ujedno vrijedi i obrnuto sa najnižom temperaturom kod neurona 2. Anomalije prate obrazac prijašnjih modela (Slika 1, 2, 3) gdje se uočava veći raspon vrijednosti anomalija kod prokariotskih grupa u odnosu na viruse. Najniže anomalne vrijednosti pronalazimo neuronom 2 u slučaju svih parametara. Najviše vrijednosti anomalija virusnih grupa uočavamo kod neurona 4, dok najviše vrijednosti anomalija prokariotskih grupa uočavamo kod neurona 3, osim u slučaju grupe LNA prokariota.



**Slika 4.** Anomalije neurona dobivenih modelom *Neural gas* uvježbanog za prokariote i viruse. (HNA – *High Nucleic Acid* prokariotska grupa, LNA – *Low Nucleic Acid* prokariotska grupa, HNAHSSC – *High Nucleic Acid High Side Scatter* prokariotska grupa, V1 – Virus High, V2 – Virus Med, V3 – *Virus Low*, V4 – *Virus High Side Scatter*, Virusi – ukupan broj virusa).

**Tablica 4.** Neuronu dobiveni modelom *Neural gas* uvježbanog za prokariote i viruse. Bojom su označena njihova odstupanja od prosjeka (narančasta – pozitivna odstupanja, plava – negativna odstupanja). Spektrom boja označili smo značajnost odstupanja varijabli od prosjeka. (HNA – *High Nucleic Acid* grupa prokariota, LNA – *Low Nucleic Acid* grupa prokariota, HNAHSSC – *High Nucleic Acid High Side Scatter* grupa prokariota, Prokarioti – ukupni broj prokariota, grupe virusa: V1 – *Virus High*, V2 – *Virus Med*, V3 – *Virus Low*, V4 – *Virus High Side Scatter*, Virusi – ukupni broj virusa).

	Neuron 1	Neuron 2	Neuron 3	Neuron 4	Neuron 5
Temperatura (°C)	20,39	11,36	15,09	17,08	23,54
HNA Prokarioti (mL)	78995,07	59923,89	92044,96	65932,57	90635,85
LNA Prokarioti (mL)	312823,95	194267,43	311601,83	306055,37	300676,86
HNAHSSC Prokarioti (mL)	1525,11	1148,95	2132,06	1683,84	2121,29
Prokarioti (mL)	397832,26	260735,40	412382,28	376097,11	398841,19
V1(mL)	2241,30	2134,52	2723,33	2864,18	2735,27
V2 (mL)	307893,13	264667,13	289534,29	399760,61	345143,74
V3 (mL)	2046915,90	1728223,87	1783610,42	2566256,13	2209021,79
V4 (mL)	37402,45	27983,37	32734,07	44627,24	34506,43
Virusi (mL)	2397728,47	2030953,59	2113975,74	3015782,38	2597765,83

### 3.2. Drugi eksperiment – pet tipova virusa

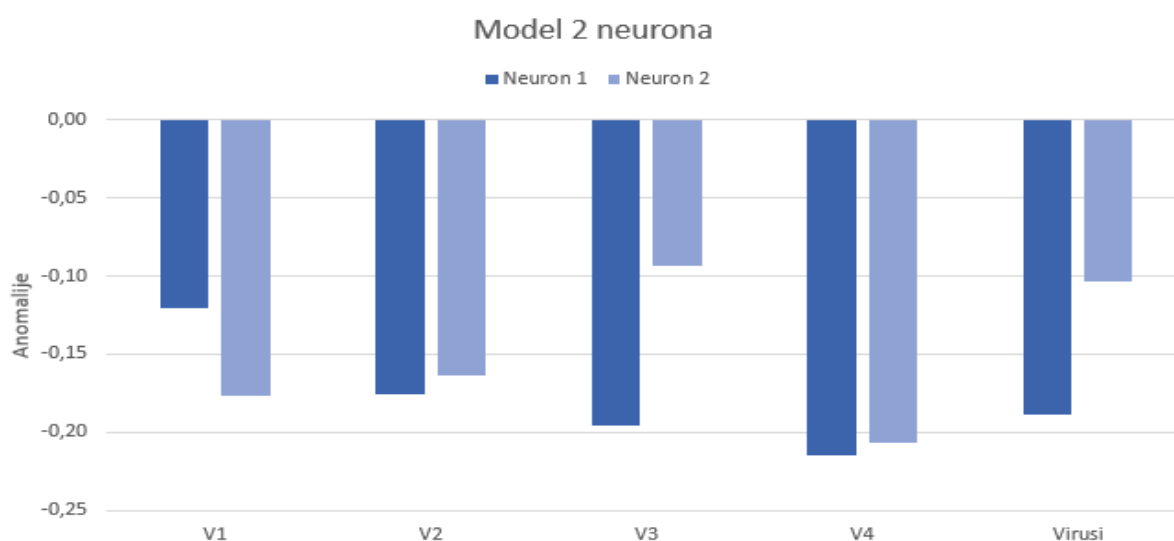
Za *Neural gas* model koristili smo temperaturu kao abiotički čimbenik te 5 vrijednosti virusa kao biotičke varijable. Parametri koje smo koristili za pokretanje *Neural gas* modela opisani su u samoj metodi. Optimalan broj neurona testirali smo pokretanjem *Neural gas* modela pojedinačno sa 2, 3, 4 i 5 neurona i svaki od tih rezultata prikazali smo u tablicama (Tablica 5-8). Tablica 5 prikazuje podatke obrađene sa 2 neurona, a prikazuje nam klasu višu od prosjeka i klasu nižu od prosjeka, tj. minimum i maksimum.

Jedanaest od 12 vrijednosti u klasama obrađenih sa 2 neurona su ispod prosječne vrijednosti te nam jedino temperatura u klasi 2 prelazi prosjek s iznosom od 21,55 °C (Tablica 5). Vrijednosti virusa su se jedva odvojile, a najveće odvajanje vidimo u V3 klasi, gdje se vrijednosti klasa V3 razlikuju za samo 4,21% između 2 neurona. Kao i u prvom eksperimentu, prva klasa je poprimila niže vrijednosti od prosjeka, dok druga klasa ne poprima proporcionalno veće vrijednosti kao što bi trebala. Budući da je samo jedna vrijednost veća od prosjeka, model sa 2 neurona nije dobro opisao jer nismo uspjeli reproducirati podatke veće od prosjeka za ijednu od ostalih klasa.

Anomalije modela sa 2 neurona drugog eksperimenta (Slika 5) nam dodatno pokazuju da neuron 2 nije optimalan broj neurona budući da nijedan parametar nema pozitivne anomalije, ali se uočava blago odvajanje vrijednosti anomalija u slučaju V3 virusne skupine i ukupnog broja virusa kod neurona 2.

**Tablica 5.** Neuroni dobiveni modelom *Neural gas* uvježbanog za prokariote i viruse te srednja vrijednost (prosjeak) i standardna devijacija ( $\sigma$ ) istih. Bojom su označena njihova odstupanja od prosjeka (narančasta – pozitivna odstupanja, plava – negativna odstupanja). Spektrom boja označili smo značajnost odstupanja varijabli od prosjeka. (V1 – *Virus High*, V2 – *Virus Med*, V3 – *Virus Low*, V4 – *Virus High Side Scatter*, Virusi – ukupan broj virusa).

	Neuron 1	Neuron 2	Prosjeak	$\sigma$
Temperatura (°C)	14,52	21,55	16,77	4,05
V1 (mL)	2572,17	2503,80	2718,71	1218,52
V2 (mL)	318126,61	320258,01	348401,23	172244,51
V3 (mL)	2010944,11	2099423,24	2179638,69	862766,45
V4 (mL)	35407,89	35522,21	38620,61	14959,09
Virusi (mL)	2373012,36	2462067,75	2569379,23	1040597,87



**Slika 5.** Anomalije neurona dobivenih modelom *Neural gas* uvježbanog za viruse. (V1 – *Virus High*, V2 – *Virus Med*, V3 – *Virus Low*, V4 – *Virus High Side Scatter*, Virusi – ukupni broj virusa).

Kod klasa dobivenih sa 3 neurona dobili smo sličan uzorak kao i sa 2 neurona. Samo je jedna vrijednost temperature prešla prosjek, iznosivši 21,62 °C, dok su sve ostale vrijednosti ispod prosjeka (Tablica 6). Neuron 3 je poprimio apsolutne minimalne vrijednosti u svakoj klasi, što znači da kada je temperatura minimalne vrijednosti, 11,44 °C, da su i virusi minimalne vrijednosti. Kada je temperatura porasla na 15,94 °C, vrijednosti svih klasa su znatno porasle u odnosu na minimum, ali su i dalje ispod prosjeka što sugerira da model sa 3 neurona također nije dovoljan za uspješno reproduciranje podataka vrijednosti viših od prosjeka za sve klase.

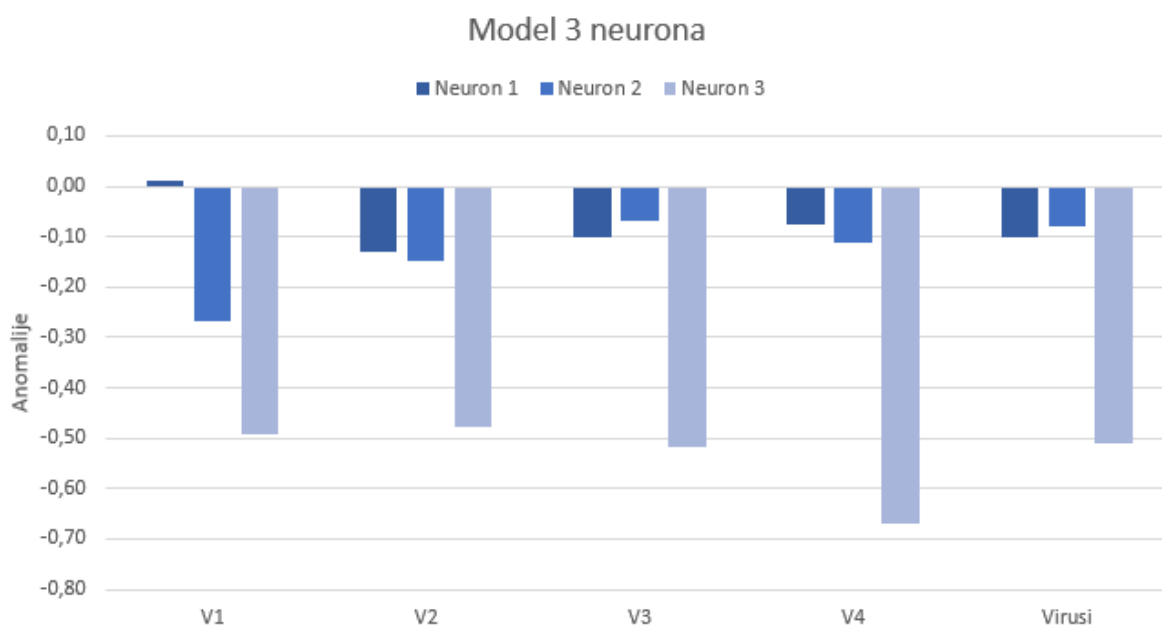
Vrijednosti anomalija u slučaju modela sa 3 neurona nam prikazuju najnižu vrijednost anomalija kod neurona 3. Vrijednosti anomalija neurona 1 i 2 su kod većine parametara slične, osim u slučaju V1 virusne skupine gdje vrijednost neurona 1 ulazi u pozitivu (Slika 6).

U modelu sa 4 neurona vidimo da su 4 od 6 klasa poprimile vrijednosti viših i nižih od prosjeka, no klase V2 i V4 u sva 4 neurona su ispod prosjeka (Tablica 7). Prilikom najniže temperature od 11,40 °C je također i najniža vrijednost svih virusnih klasa, a maksimalne vrijednosti se većinom javljaju pri temperaturi od 23,60 °C, osim u slučaju V1 klase. Pri maksimalnoj temperaturi najviše vrijednosti su kod klasa V3 i ukupnih virusa, dok su za V1 klasu iznad prosjeka, ali ne i maksimalne vrijednosti. U odnosu na prijašnje modele drugog eksperimenta, događa se znatnije odvajanje prosječnih vrijednosti, ali ni modelom sa 4 neurona nismo uspjeli reproducirati podatke veće od prosjeka za sve klase.

Anomalije i njihove vrijednosti u slučaju modela sa 4 neurona su većinom slične. Neuron 2 je u ovom modelu poprimio najniže vrijednosti svih parametara, a pozitivne anomalije uočavamo dva puta kod neurona 3 u slučaju V3 virusne skupine u ukupnog broja virusa, te jedanput kod neurona 1 u slučaju V1 virusne skupine (Slika 7).

**Tablica 6.** Neuronu dobiveni modelom *Neural gas* uvježbanog za viruse. Bojom su označena njihova odstupanja od prosjeka (Narančasta – pozitivna odstupanja, Plava – negativna odstupanja). Spektrom boja označili smo značajnost odstupanja varijabli od prosjeka. (V1 – *Virus High*, V2 – *Virus Med*, V3 – *Virus Low*, V4 – *Virus High Side Scatter*, Virusi – ukupni broj virusa).

	Neuron 1	Neuron 2	Neuron 3
Temperatura (°C)	15,94	21,62	11,44
V1 (mL)	2733,38	2390,56	2121,29
V2 (mL)	326287,17	322998,12	266011,25
V3 (mL)	2092666,39	2120313,12	1734203,27
V4 (mL)	37497,30	36923,26	28608,82
Virusi	2463201,84	2487138,67	2039388,66

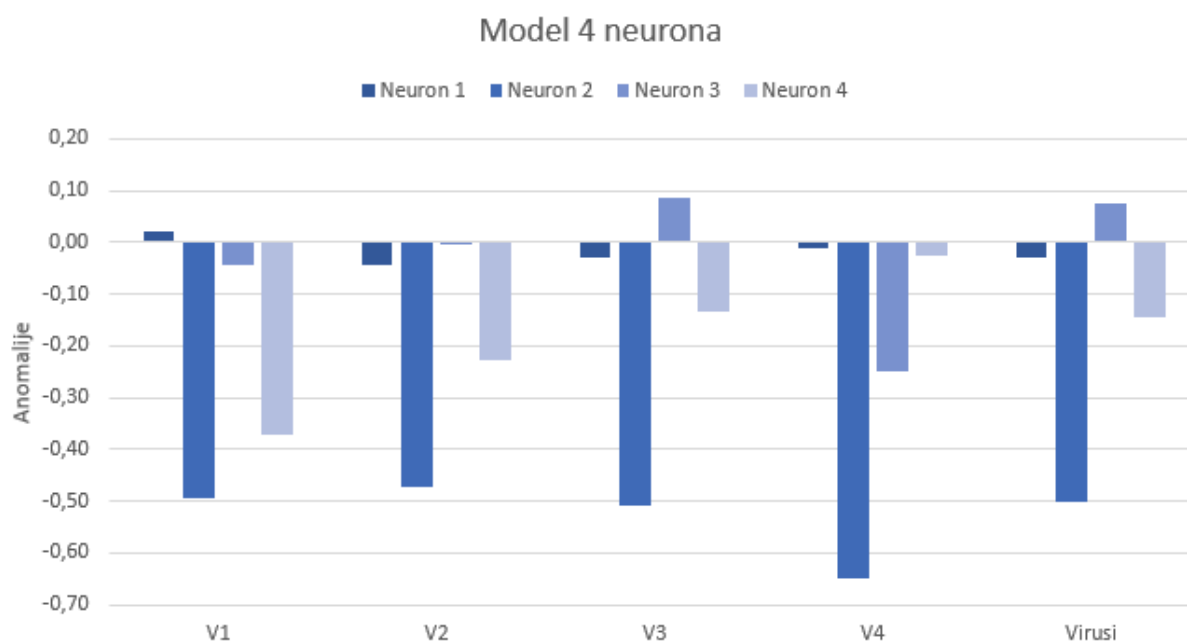


**Slika 6.** Anomalije neurona dobivenih modelom *Neural gas* uvježbanog za viruse. (V1 – *Virus High*, V2 – *Virus Med*, V3 – *Virus Low*, V4 – *Virus High Side Scatter*, Virusi – ukupni broj virusa).



**Tablica 7.** Neuronu dobiveni modelom *Neural gas* uvježbanog za viruse. Bojom su označena njihova odstupanja od prosjeka (Narančasta – pozitivna odstupanja, Plava – negativna odstupanja). Spektrom boja označili smo značajnost odstupanja varijabli od prosjeka. (V1 – *Virus High*, V2 – *Virus Med*, V3 – *Virus Low*, V4 – *Virus High Side Scatter*, Virusi – ukupni broj virusa).

	Neuron 1	Neuron 2	Neuron 3	Neuron 4
Temperatura (°C)	16,15	11,40	23,60	20,37
V1 (mL)	2742,84	2116,90	2665,63	2267,25
V2 (mL)	340878,81	267177,57	347536,16	309029,54
V3 (mL)	2153773,36	1740604,09	2255277,57	2065855,78
V4 (mL)	38476,89	28886,84	34905,99	38238,43
Virusi (mL)	2539218,07	2046915,90	2646061,90	2417686,58



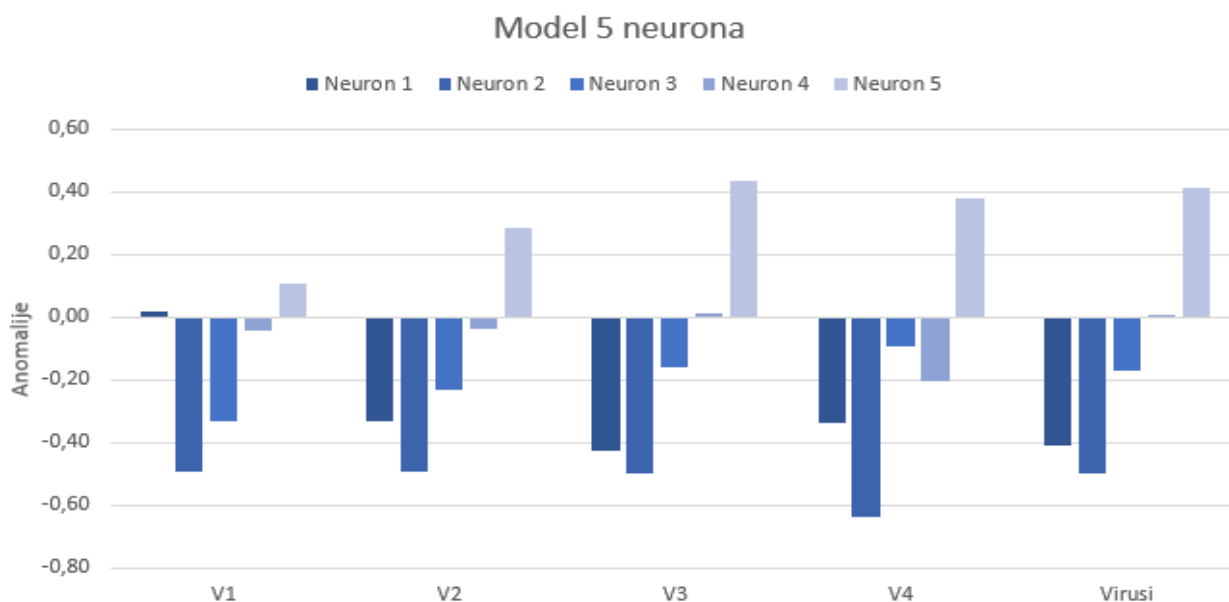
**Slika 7.** Anomalije neurona dobivenih modelom *Neural gas* uvježbanog za viruse. (V1 – *Virus High*, V2 – *Virus Med*, V3 – *Virus Low*, V4 – *Virus High Side Scatter*, Virusi – ukupni broj virusa).

Modelom s 5 neurona dobivamo sve klase vrijednosti viših i nižih od prosjeka. Kao i u prvom eksperimentu, pri temperaturi od 17,08 °C vidimo maksimalnu brojnost svih virusa, dok se minimalna brojnost svih virusa javlja pri temperaturi od 11,40 °C, što je ostalo nepromijenjeno od modela sa 3 neurona. Pri temperaturama većim od prosjeka imamo složeniju distribuciju virusa. Pri maksimalnoj vrijednosti temperature od 23,54 °C nemamo najviše vrijednosti nijedne klase, no vrijednosti veće od prosjeka vidimo kod klase V3 i ukupne brojnosti virusa. Tablica 8 najbolje opisuje vezu između vrijednosti temperature i brojnosti virusa, te kao i u prošlom eksperimentu imamo pojavu nelinearnosti u slučaju virusa te im je i ovoga puta optimalna temperatura ~17 °C.

Vrijednosti anomalija modela sa 5 neurona nam prikazuju značajne promjene u rasponu. Najniže vrijednosti i dalje prate obrazac te se nalaze kod neurona 2, u kojemu se nalaze i najniže vrijednosti svih parametara. Najviše vrijednosti anomalija ima neuron 5, koji ima najviše vrijednosti svih parametara osim temperature, što dodatno naglašava pojavu nelinearnosti u slučaju virusa (Slika 8).

**Tablica 8.** Neuronu dobiveni modelom *Neural gas* uvježbanog za viruse. Bojom su označena njihova odstupanja od prosjeka (Narančasta – pozitivna odstupanja, Plava – negativna odstupanja). Spektrom boja označili smo značajnost odstupanja varijabli od prosjeka. (V1 – *Virus High*, V2 – *Virus Med*, V3 – *Virus Low*, V4 – *Virus High Side Scatter*, Virusi – ukupni broj virusa).

	Neuron 1	Neuron 2	Neuron 3	Neuron 4	Neuron 5
Temperatura (°C)	15,19	11,40	20,34	23,54	17,08
V1 (mL)	2738,42	2117,39	2312,06	2663,18	2851,02
V2 (mL)	291138,74	263754,57	307964,03	341979,44	397374,51
V3 (mL)	1812591,75	1747833,26	2043619,32	2189777,56	2555641,90
V4 (mL)	33604,70	29053,60	37222,03	35538,57	44299,62
Virusi (mL)	2144371,37	2051162,18	2393866,90	2575728,01	3001926,12



**Slika 8.** Anomalije neurona dobivenih modelom *Neural gas* uvježbanog za viruse. (V1 – *Virus High*, V2 – *Virus Med*, V3 – *Virus Low*, V4 – *Virus High Side Scatter*, Virusi – ukupni broj virusa)

### 3.3. Treći eksperiment – mješoviti parametri

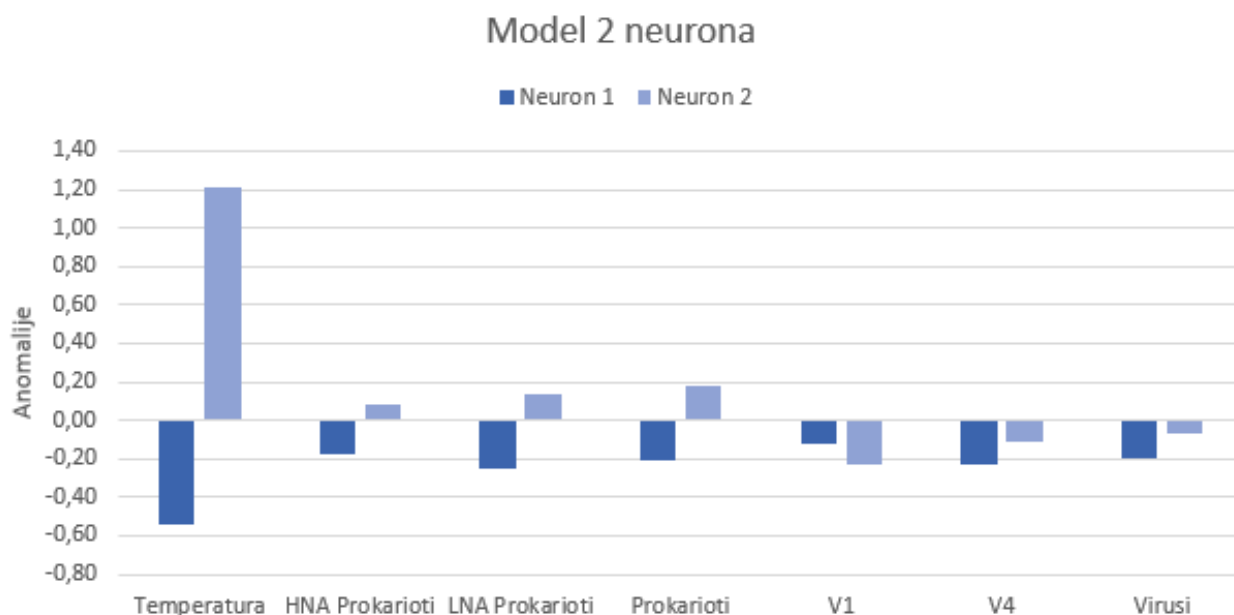
Za *Neural gas* model koristili smo temperaturu kao abiotički faktor te 3 vrijednosti virusa i 3 vrijednosti heterotrofnih prokariota kao biotičke varijable. Parametri koje smo koristili za pokretanje *Neural gas* modela opisani su u samoj metodi. Optimalan broj neurona testirali smo pokretanjem *Neural gas* modela pojedinačno s 2, 3, 4 i 5 neurona i svaki od tih rezultata prikazali smo u tablicama (Tablica 9-12). Tablica 9 prikazuje podatke obrađene s 2 neurona, a prikazuje nam klasu višu od prosjeka i klasu nižu od prosjeka, tj. minimum i maksimum.

Modelom sa 2 neurona uspjeli smo dobiti vrijednosti većih i nižih od prosjeka za prokariote, ali ne i za viruse. Pri maksimalnoj temperaturi od 21,69 °C vrijednosti prokariota su blago veće od prosjeka, dok su vrijednosti virusa pri toj temperaturi minimalni samo u slučaju V1 klase. S druge strane, pri najnižoj temperaturi od 14,59 °C, vrijednosti su minimalne za sve klase, osim za spomenutu V1 klasu. Modelom s 2 neurona nismo uspjeli reproducirati vrijednosti veće od prosjeka za sve klase.

Vrijednosti anomalija ovog modela su odmah poprimile različitu raspodjelu. Neuron 1 je poprimio najniže vrijednosti anomalija svih parametara osim V1 virusne grupe. Vrijednosti neurona 2 kod parametara prokariotskih skupina i temperature je u pozitivnoj vrijednosti, dok je kod virusnih skupina u negativnoj vrijednosti što je povezano sa vrijednostima nižim od prosjeka kod oba neurona (Slika 9), kao što je prikazano u tablici 9.

**Tablica 9.** Neuronu dobiveni modelom *Neural gas* uvježbanog za prokariote i viruse te srednja vrijednost (prosjeak) i standardna devijacija ( $\sigma$ ) istih. Bojom su označena njihova odstupanja od prosjeka (narančasta – pozitivna odstupanja, plava – negativna odstupanja) Spektrom boja označili smo značajnost odstupanja varijabli od prosjeka. (HNA – *High Nucleic Acid* prokariotska grupa, LNA – *Low Nucleic Acid* prokariotska grupa, Prokarioti – ukupni broj prokariota, V1 – *Virus High*, V4 – *Virus High Side Scatter*, Virusi – ukupni broj virusa).

	Neuron 1	Neuron 2	Prosjeak	$\sigma$
Temperatura (°C)	14,59	21,69	16,77	4,05
HNA Prokarioti (mL)	75046,07	83960,45	81158,43	34568,80
LNA Prokarioti (mL)	277264,41	314301,82	301285,01	93978,20
Prokarioti (mL)	360031,91	404857,21	384570,82	115620,74
V1 (mL)	2565,00	2445,10	2718,71	1218,52
V4 (mL)	35110,62	36959,84	38620,61	14959,09
Virusi (mL)	2359402,81	2499433,83	2569379,23	1040597,87



**Slika 9.** Anomalije neurona dobivenih modelom *Neural gas* uvježbanog za prokariote i viruse. (HNA – *High Nucleic Acid* prokariotska grupa, LNA – *Low Nucleic Acid* prokariotska grupa, Prokarioti – ukupni broj prokariota, V1 – *Virus High*, V4 – *Virus High Side Scatter*, Virusi – ukupni broj virusa).

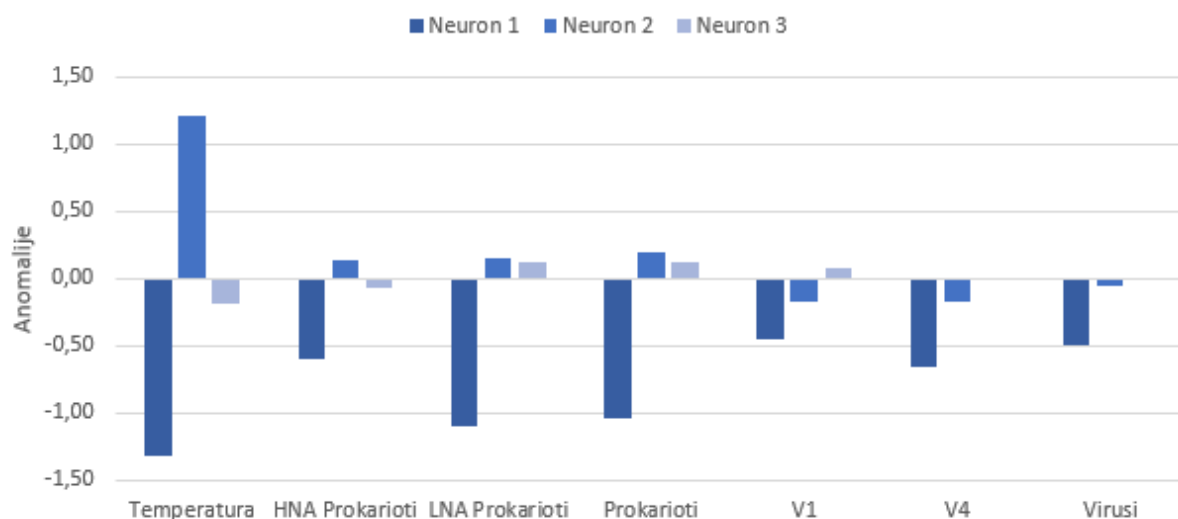
Kod klasa dobivenih s 3 neurona dobili smo vrijednosti većih prosjeka za 5 varijabli, dok su V4 i ukupna količina virusa i dalje nižih vrijednosti od prosjeka (Tablica 10). Pri najnižoj temperaturi od 11,41 °C sve vrijednosti virusa i prokariota su minimalne i znatno ispod prosjeka. Porastom temperature na 16,01 °C dobivamo najvišu vrijednost V1 klase, a vrijednosti većih od prosjeka pri toj temperaturi vidimo kod LNA grupe prokariota i ukupne brojnosti prokariota. Pri maksimalnoj temperaturi od 21,70 °C najviše su ukupne vrijednosti svih varijabli prokariota, dok su nam vrijednosti virusa ispod prosjeka. Modelom sa 3 neurona uspjeli smo dobiti podatke viših i nižih od prosjeka za 5 od 7 klasa, no i dalje nismo uspjeli reproducirati podatke veće od prosjeka za klase V4 i ukupne viruse.

U slučaju modela sa 3 neurona, vrijednosti anomalija prate sličan obrazac kao i kod modela sa 2 neurona (Slika 9). Neuron 1 poprima najniže vrijednosti svih parametara, dok neuron 2 ima najviše vrijednosti svih prokariotskih skupina i temperature. Vrijednosti anomalija kod neurona 3 su blizu nule budući da je i sam neuron 3 blizu prosjeka u slučaju svih parametara (Slika 10).

**Tablica 10.** Neuroni dobiveni modelom *Neural gas* uvježbanog za prokariote i viruse. Bojom su označena njihova odstupanja od prosjeka. (Narančasta – pozitivna odstupanja, Plava – negativna odstupanja). Spektrom boja označili smo značajnost odstupanja varijabli od prosjeka. (HNA – *High Nucleic Acid* prokariotska grupa, LNA – *Low Nucleic Acid* prokariotska grupa, Prokarioti – ukupni broj prokariota, V1 – *Virus High*, V4 – *Virus High Side Scatter*, Virusi – ukupni broj virusa).

	Neuron 1	Neuron 2	Neuron 3
Temperatura (°C)	11,41	21,70	16,01
HNA Prokarioti (mL)	60271,95	85834,21	78949,62
LNA Prokarioti (mL)	197890,39	315185,58	312458,69
Prokarioti (mL)	264711,31	407764,37	398372,28
V1 (mL)	2169,16	2499,86	2821,57
V4 (mL)	28789,82	36103,32	38369,13
Virusi (mL)	2057746,15	2509268,09	2556667,09

Model 3 neurona



**Slika 10.** Anomalije neurona dobivenih modelom *Neural gas* uvježbanog za prokariote i viruse. (HNA – *High Nucleic Acid* prokariotska grupa, LNA – *Low Nucleic Acid* prokariotska grupa, Prokarioti – ukupni broj prokariota, V1 – *Virus High*, V4 – *Virus High Side Scatter*, Virusi – ukupni broj virusa)

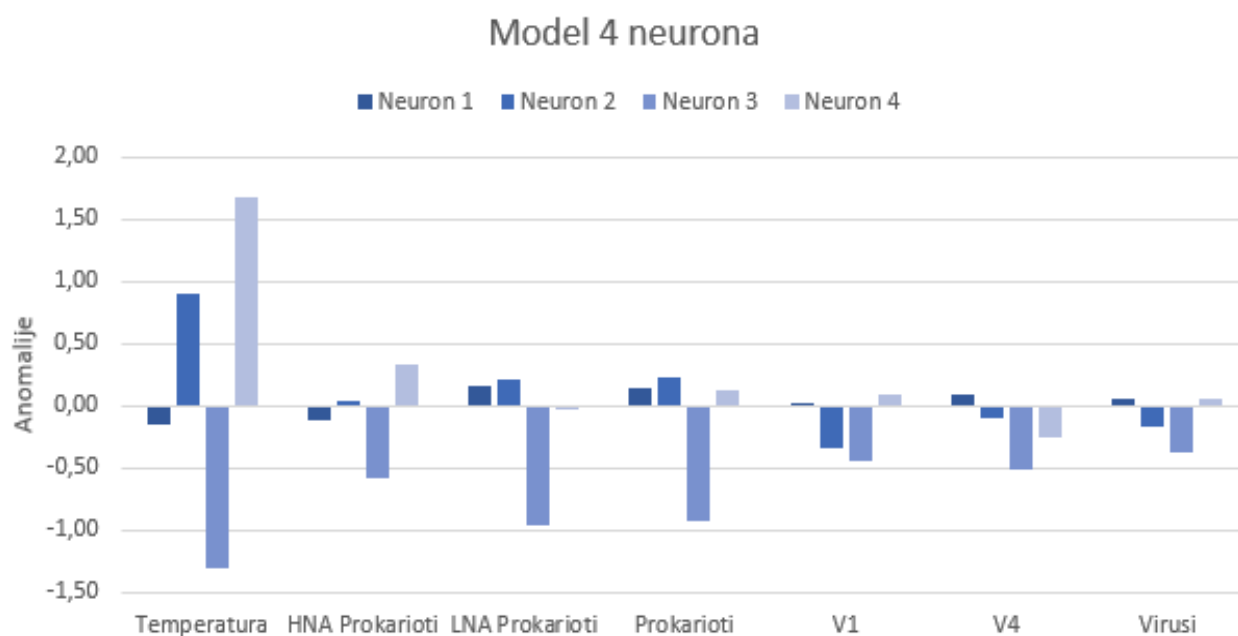
Modelom sa 4 neurona dobili smo vrijednosti viših i nižih od prosjeka za sve klase. Pri najnižoj temperaturi vrijednosti svih virusa i prokariota su minimalne i znatno ispod prosjeka. Porastom temperature na 16,12 °C klasa V4 ima svoju maksimalnu vrijednost, dok su vrijednosti svih klasa osim HNA prokariota iznad prosjeka. Daljnjim porastom temperature do 20,42 °C, vrijednosti LNA prokariota i ukupnih prokariota imaju svoju maksimalnu vrijednost, a virusi dobivaju vrijednosti manje od prosjeka. Pri najvišoj temperaturi od 23,57 °C imamo najveće vrijednosti čak polovice klasa, HNA prokariota, V1 i ukupnih virusa. Pri maksimalnoj temperaturi vrijednosti ukupnih prokariota su iznad prosjeka, dok su vrijednosti LNA prokariota i V4 manje od prosjeka. Imamo znatnije odvajanje prosječnih vrijednosti u odnosu na prijašnje modele.

Neuron 3 u slučaju modela sa 4 neurona poprima najniže vrijednosti anomalija svih parametara, budući da on ima najniže vrijednosti svih parametara (Tablica 11). Vrijednosti anomalija virusnih i prokariotskih skupina su veoma slične te nemaju veliki raspon i odvajanje od srednjih vrijednosti (Slika 11).



**Tablica 11.** Neuroni dobiveni modelom *Neural gas* uvježbanog za prokariote i viruse. Bojom su označena njihova odstupanja od prosjeka. (Narančasta – pozitivna odstupanja, Plava – negativna odstupanja). Spektrom boja označili smo značajnost odstupanja varijabli od prosjeka. (HNA – *High Nucleic Acid* prokariotska grupa, LNA – *Low Nucleic Acid* prokariotska grupa, Prokarioti – ukupni broj prokariota, V1 – *Virus High*, V4 – *Virus High Side Scatter*, Virusi – ukupni broj virusa).

	Neuron 1	Neuron 2	Neuron 3	Neuron 4
Temperatura (°C)	16,12	20,42	11,44	23,57
HNA Prokarioti (mL)	77039,97	82655,41	60842,62	92515,25
LNA Prokarioti (mL)	316982,56	321655,17	210992,05	298920,24
Prokarioti (mL)	400534,70	410181,79	278105,20	398707,36
V1 (mL)	2739,78	2307,80	2184,63	2818,85
V4 (mL)	39856,41	37245,83	30982,44	34811,87
Virusi (mL)	2618540,00	2390984,14	2182209,31	2633096,98



**Slika 11.** Anomalije neurona dobivenih modelom *Neural gas* uvježbanog za prokariote i viruse. (HNA – *High Nucleic Acid* prokariotska grupa, LNA – *Low Nucleic Acid* prokariotska grupa, Prokarioti – ukupni broj prokariota, V1 – *Virus High*, V4 – *Virus High Side Scatter*, Virusi – ukupni broj virusa)

Model s 5 neurona već u prvom neuronu prikazuje maksimalnu vrijednost temperature od 23,60 °C, a to se događa tijekom ljetnih mjeseci pri 0, 5 i 10 metara, tj. u površinskom sloju (Tablica 12-13). Druga najviša temperatura, koja iznosi 20,50 °C, tijekom ljetnih mjeseci se nalazi ispod površinskog sloja, pred kraj ljeta se počinje miješati s vodenim stupcem te nema stratifikacije. Iduća niža temperatura iznosi 17,08 °C, a nalazimo je prije ljeta i u studenom, te kasnije u dubljim slojevima. Neuron 3 s temperaturom od 15,18 °C obuhvatio je početak zime, proljeće i dublje slojeve, koji su ostali hladni od prethodne zime, tijekom ranog ljeta.. Najnižu temperaturu od 11,44 °C vidimo tijekom najhladnijih mjeseci u godini i kada more gubi intenzivno toplinu.

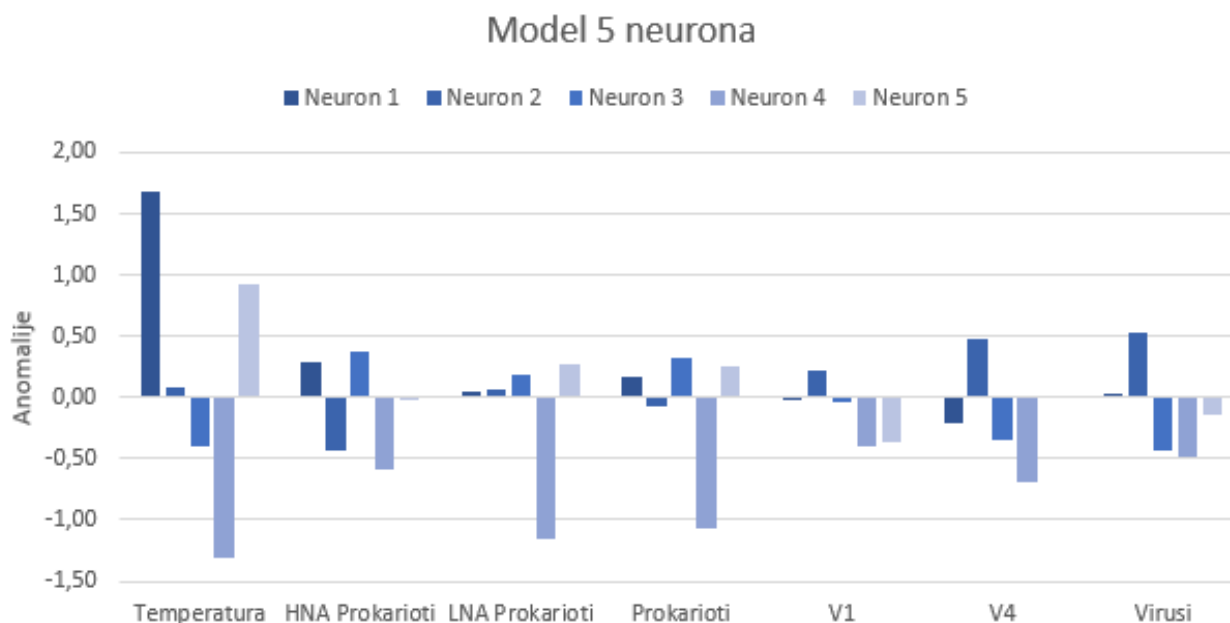
U modelu s 5 neurona kod prvog neurona, koji nam opisuje površinski sloj, sve klase prokariota su viših vrijednosti od prosjeka, dok je većina virusnih klasa blago ispod prosjeka, osim ukupnih virusa koji su jedva iznad prosjeka. Ispod površinskog sloja, kojeg opisuje neuron 5, HNA grupa prokariota, V1 i ukupna brojnost virusa su vrijednosti nižih od prosjeka, no vrijednosti LNA grupe prokariota su maksimalne, dok su vrijednosti ukupne brojnosti prokariota i V4 klase virusa iznad prosjeka. Period kasnog proljeća i jeseni opisuje neuron 2, temperatura mora je malo iznad prosjeka, a taj period ujedno karakterizira izrazito niske vrijednosti HNA grupe prokariota i ukupne brojnosti prokariota, a vrijednosti LNA grupe prokariota su se smanjile u odnosu na ranu jesen. Grupe virusne populacije su porasle te su pri svojim maksimalnim vrijednostima. Prelaskom u hladnije doba godine, kojeg opisuje neuron 3, vidimo maksimalne vrijednosti HNA grupe prokariota i ukupne brojnosti prokariota te porast LNA grupe prokariota, dok virusne populacije imaju znatno manje vrijednosti u odnosu na neuron 2. U najhladnijem periodu godine, a opisan je neuronom 4, smanjile su se sve biološke varijable te nemamo visoke koncentracije ni virusa ni prokariota.

Vrijednosti anomalija modela sa 5 neurona i dalje prate sličan obrazac kao i u prijašnjim modelima. Neuron koji poprima najniže vrijednosti svih parametara je neuron 4 (Tablica 12), te upravo on ima i najniže vrijednosti anomalija. Najveće vrijednosti anomalija virusnih skupina ima neuron 2, koji i sam prikazuje najveće vrijednosti virusnih parametara (Tablica 12) (Slika 12).

Okolišni čimbenici za model s 5 neurona koji su utjecali na brojnost svih organizama opisani su u tablici 14, zajedno sa njihovom srednjim vrijednostima i standardnom devijacijom.

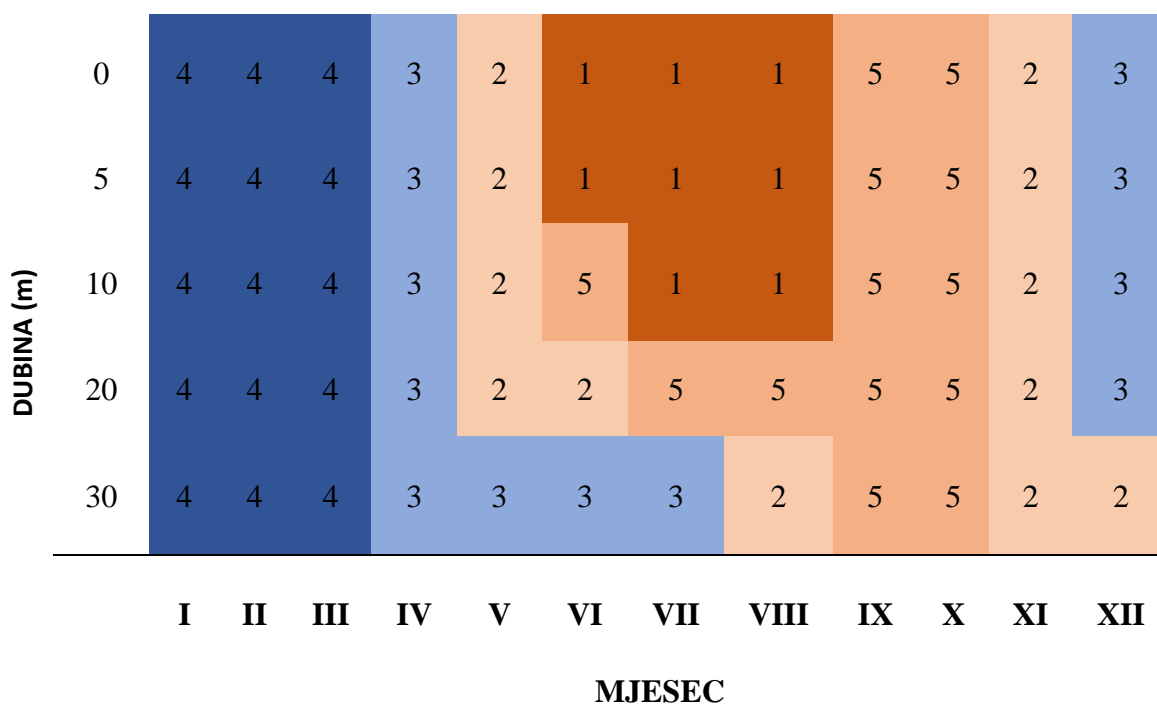
**Tablica 12.** Neuronu dobivenih modelom *Neural gas* uvježbanog za prokariote i viruse. Bojom su označena njihova odstupanja od prosjeka. (Narančasta – pozitivna odstupanja, Plava – negativna odstupanja). (HNA – *High Nucleic Acid* prokariotska grupa, LNA – *Low Nucleic Acid* prokariotska grupa, Prokarioti – ukupni broj prokariota, V1 – *Virus High*, V4 – *Virus High Side Scatter*, Virusi – ukupni broj virusa).

	Neuron 1	Neuron 2	Neuron 3	Neuron 4	Neuron 5
Temperatura (°C)	23,60	17,08	15,18	11,44	20,50
HNA Prokarioti (mL)	91312,82	66264,10	94223,14	60838,59	80925,96
LNA Prokarioti (mL)	306125,19	306933,93	319082,74	193313,65	327558,95
Prokarioti (mL)	404958,09	376884,42	422278,69	260631,34	413939,07
V1 (mL)	2716,12	2977,67	2679,39	2229,70	2284,45
V4 (mL)	35453,07	45822,64	33429,43	28272,88	38635,40
Virusi (mL)	2602005,04	3126191,46	2124883,72	2062891,05	2423249,25



**Slika 12.** Anomalije neurona dobivenih modelom *Neural gas* uvježbanog za prokariote i viruse. (HNA – *High Nucleic Acid* prokariotska grupa, LNA – *Low Nucleic Acid* prokariotska grupa, Prokarioti – ukupni broj prokariota, V1 – *Virus High*, V4 – *Virus High Side Scatter*, Virusi – ukupni broj virusa).

**Tablica 13.** Raspodjela vodenog stupca dobivena modelom *Neural gas*. Bojom je označen temperaturni gradijent (Narančasta – Veće vrijednosti temperature, Plava – niže vrijednosti temperature)



**Tablica 14.** Srednje vrijednosti i standardna devijacija biotičkih i abiotičkih parametara (HNF – Heterotrofni nanoflagelati, BP – Bakterijska proizvodnja, PRO – Proklorokoki, SYN – Sinekokoki, PE – pikoeukarioti).

	<b>NEURON 1</b>	<b>NEURON 2</b>	<b>NEURON 3</b>	<b>NEURON 4</b>	<b>NEURON 5</b>
SAL (%)	38,09 ± 0,38	37,95 ± 0,39	38,04 ± 0,43	37,66 ± 0,85	38,39 ± 0,18
O <sub>2</sub> (mL/L)	5,19 ± 0,30	5,68 ± 0,28	5,92 ± 0,47	6,35 ± 0,35	5,28 ± 0,38
O <sub>2</sub> (%)	108,98 ± 5,25	105,97 ± 5,33	106,20 ± 7,50	105,42 ± 4,44	104,99 ± 7,36
pH	8,16 ± 0,02	8,14 ± 0,04	8,15 ± 0,03	8,19 ± 0,04	8,14 ± 0,03
NO <sub>3</sub> (μmol L <sup>-1</sup> )	0,22 ± 0,11	0,89 ± 0,73	0,59 ± 0,56	1,37 ± 1,92	0,25 ± 0,25
NO <sub>2</sub> (μmol L <sup>-1</sup> )	0,05 ± 0,02	0,12 ± 0,12	0,14 ± 0,07	0,16 ± 0,18	0,08 ± 0,08
NH <sub>4</sub> (μmol L <sup>-1</sup> )	0,13 ± 0,15	0,14 ± 0,08	0,26 ± 0,37	0,31 ± 0,17	0,25 ± 0,31
PO <sub>4</sub> (μmol L <sup>-1</sup> )	0,02 ± 0,02	0,03 ± 0,03	0,05 ± 0,37	0,06 ± 0,03	0,07 ± 0,06
SiO <sub>2</sub> (μmol L <sup>-1</sup> )	1,39 ± 0,38	2,15 ± 0,64	1,99 ± 1,25	0,87 ± 0,74	1,65 ± 1,21
HNF (mL)	2678,64 ± 868,52	2340,80 ± 807,50	3545,61 ± 1357,13	2614,41 ± 1022,81	2450,67 ± 659,83
BP (st. mL <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	2199,60 ± 975,58	2386,76 ± 582,66	2516,90 ± 937,16	3933,56 ± 2500,34	2722,19 ± 987,64
CHL a	0,20 ± 0,06	0,47 ± 0,13	0,85 ± 0,34	0,78 ± 0,35	0,31 ± 0,10
PRO (mL)	813,05 ± 691,00	488,30 ± 176,06	2341,85 ± 3712,74	581,09 ± 1050,99	1279,98 ± 2493,16
SYN (mL)	6890,73 ± 6504,24	2968,62 ± 1947,91	7942,30 ± 11255,80	2566,41 ± 3225,27	11588,58 ± 10664,33
PE (mL)	328,25 ± 311,60	794,40 ± 800,31	1052,08 ± 2570,15	212,44 ± 229,51	1333,59 ± 1443,01

## 4. RASPRAVA

Neuronska mreže su najčešće korištene metode modeliranja u posljednjih nekoliko godina (Šolić i sur., 2018, 2020, 2022; Šantić i sur., 2021, Ordulj i sur., 2023). Postavke modela ne utječu bitno na konačne rezultate nego na njih najviše utječe odabir struktura ulazne matrice, odnosno koji podatci i na koji način su uključeni u ulaznu matricu (Šantić i sur., 2021; Ordulj i sur., 2023). U ovom diplomskom radu testirana su dva tipa ulaznih podataka, abiotički i biotički parametri .

Prvi eksperiment je napravljen uz uključivanje temperature mora kao abiotičkog parametra, te svi prikupljeni podaci o prokariotima i virusima, tip eksperimenta koji je korišten u radu Ordulj i sur. (2023). Uočeno je da se temperatura mora najlakše modelira. Varijabilnost temperature mora je dovoljno velika da nadjača sve ostale parametre. Prva skupina eksperimenata pokazala je da i varijable koje opisuju prokariote imaju veliku varijabilnost, ali unutar samih varijabli nema velike razlike. Odvajaju se dvije skupine i to LNA prokarioti i svi ostali. Varijabilnost virusnih varijabli je najmanja, odnosno svi se ponašaju kao jedna varijabla. Odvajanje virusa se podudara s rezultatima rada Ordulj i sur. (2023), gdje je za temperaturu od  $\sim 17$  °C dobivena najveća brojnost virusa po cijeloj vertikali.

U drugoj klasi eksperimenata željeli smo utvrditi postoji li neka raspodjela unutar različitih tipova virusa. Kao okolišni parametar smo uzeli temperaturu mora. Četiri neurona bila su potrebna da se odvoje klase unutar virusa. Najlakše se odvojila V1 grupa virusa. Koliko je odvajanje unutar virusne populacije slabo najbolje se vidi u činjenici da se virusne klase uopće ne odvajaju za najveće i za najmanje temperature mora. Do sličnog rezultata došli su i Ordulj i sur. (2023).

U trećoj klasi eksperimenata odabrali smo varijable za koje smo u prethodna dva eksperimenta uočili da u sebi sadrže najviše varijabilnosti, odnosno da se najlakše modeliraju. Oni su nam poslužili za povezivanje sa svim ostalim parametrima. Treća klasa eksperimenata uz modeliranje s pet neurona pokazala se kao optimalna mreža. Uspješno se modelirala i prostorna i vremenska raspodjela svih varijabli. Zimsku klasu neurona označavaju vertikalno homogeno izmiješani nutrijenti i temperatura, karakterizirana je primarno neuronom 4 koji nam pokazuje najniže vrijednosti svih organizama, kao i temperature. Početkom proljeća površinski sloj mora se počinje zagrijavati, dok dublji slojevi ostaju hladni, vertikalni stupac se raslojava jer sunce i atmosfera primarno zagrijavaju površinski sloj te se kasnije toplina prenosi u dublje slojeve. Slične prostorno vremenske podjele dobili su i Ordulj i sur. (2023).

Dodatnim zagrijavanjem tijekom kasnog proljeća i početka ljeta dolazi do stratifikacije klasa, gdje je površinski sloj jako ugrijan te klasificiran neuronom 1, sloj iznad termokline je klasificiran neuronom 5, ispod termokline neuronom 2, a najdublji sloj će biti klasificiran neuronom 3. Ljetnu klasu smo rastavili na 4 neurona, što je povezano s temperaturom, raslojavanjem i s količinom dostupnih nutrijenata, što se najbolje vidi u slučaju neurona 1 i 5 kada je većina hranjivih soli iskorištena. Izolirani površinski sloj je veće temperature i lakši od ostalih slojeva te nema izmjene vodene mase između površinskog i dubokog sloja, čime dolazi do maksimalnog iskorištavanja nutrijenata površinskog sloja te njihovih minimalnih vrijednosti. Iako je svjetlost tijekom ljetnih mjeseci maksimalna, niske vrijednosti klorofila ukazuju na iskorištavanje nutrijenata i od strane eukariota, točnije zooplanktona (Šolić i sur., 2022).

## 5. ZAKLJUČCI

Umjetna neuronska mreža nam je omogućila uvid u vremensko-prostornu klasifikaciju virusa i prokariota, kao i vrijednosti hranjivih soli i abiotičkih parametara, a istovremeno poveznice između svakih zasebnih neurona i navedenih parametara te njihov međusobni odnos. Željeli smo analizirati raspodjelu virusne populacije primjenom nelinearne klasifikacije i pronaći parametre koji ih najbolje opisuju.

Eksperiment 1:

- postoje varijabilnosti nekih grupa prokariota i virusa,
- nisu sve biotičke varijable jednako bitne za klasifikaciju virusne populacije.

Eksperiment 2:

- virusna populacija nema velike varijabilnosti unutar samih virusnih grupa,
- jedino virusne grupe V1 i V4 se odvajaju u odnosu na druge.

Eksperiment 3:

- uključili smo najbitnije biotičke varijable iz oba eksperimenta koje pokazuju najbolju Varijabilnost,
- temperatura je osnovni parametar za pokretanje varijabilnosti,
- daljnjim eksperimentiranjem moguće je virusne populacije opisati sa LNA grupom prokariota, HNA grupom prokariota i temperaturom.



## 6. LITERATURA

- Goodfellow I, Bengio Y, Courville A. 2016. Deep learning. MIT Press, Cambridge, 775 str.
- Haykin S. 1994. Neural networks: A comprehensive foundation, Prentice Hall, Ontario, 823 str.
- Kohonen T, Hynninen J, Kangas J, Laaksonen J. 1996. SOM\_PAK: The self-organizing map program package. Technical report.
- LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. 2015. Deep learning. Nature, 521: 436-444.
- Martinetz T, Berkovich S G, Schulten K J 1993. "Neural-gas" network for vector quantization and its application to time-series prediction. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. 4: 558–569.
- Ninčević Gladan Ž, Matic F, Arapov J, Skejić S, Bužančić M, Bakrač A, Straka M, Dekneudt Q, Grbec B, Garber R, Nazlić N. 2020. The relationship between toxic phytoplankton species occurrence and environmental and meteorological factors along the Eastern Adriatic coast, Harmful Algae, Vol 92, 101745.
- Ordulj M, Šantić D, Matic F, Jozić S, Šestanović S, Šolić M, Veža J, Ninčević Gladan Ž. 2023. Analysis of the Influence of Seasonal Water Column Dynamics on the Relationship between Marine Viruses and Microbial Food Web Components Using an Artificial Neural Network. Journal of Marine Science and Engineering Eng., 11: 639.
- Šantić D, Piwosz K, Matic F et al. 2021. Artificial neural network analysis of microbial diversity in the central and southern Adriatic Sea. Scientific Reports, 11: 11186.
- Šolić M, Grbec B, Matic F, Šantić D, Šestanović S, Ninčević Gladan Ž, Bojanić N, Ordulj M, Jozić S, Vrdoljak A. 2018. Spatio-temporal reproducibility of the microbial food web structure associated with the change in temperature: Long-term observations in the Adriatic Sea, Progress in Oceanography Vol. 161: 87-101.
- Šolić M, Šantić D, Šestanović S, Bojanić N, Grbec B, Jozić S, Vrdoljak A, Ordulj M, Matic F, Kušpilić G, Ninčević Gladan Ž. 2020. Impact of water column stability dynamics on the succession of plankton food web types in the offshore area of the Adriatic Sea, Journal of Sea Research, Vol. 158: 24-36.
- Šolić M, Šantić D, Šestanović S, Kušpilić G, Matic F, Vrdoljak Tomaš A, Jozić S, Bojanić N, Ninčević Gladan Ž. 2022. Changing ecological conditions in the marine environment generate different microbial food web structures in a repeatable manner. Frontiers in Marine Science, 8: 811155.