



RAZISKOVALNA NALOGA

VPLIV TELESNE AKTIVNOSTI NA AEROBNI IN  
ANAEROBNI PRAG

Področje: Šport

Avtorica: Marta Arko, 3.g

Mentorica: Erika Jarič, prof.

Ljubljana, 2025

### *Zahvala*

*Za podporo pri raziskovalni nalogi, bi se rada zahvalila svojim sošolcem in sošolkam ter vsem ostalim sodelujočim v raziskavi in pomočnikom pri merjenju. Iskrena zahvala profesorici Mojci Kolbl Repinc za pomoč pri izvedbi testiranja in trenerjema za svetovanje in posojen laktat meter. Zahvalila bi se tudi šoli in staršem za finančno podporo pri tej raziskavi. Zahvaljujem se mentorici, profesorici Eriki Jarić za potrpežljivost in pripravljenost za pomoč, ko sem to potrebovala.*

Ključne besede: aerobni prag, anaerobni prag, laktat, telesna aktivnost

#### Povzetek

V raziskavi sem preučila vpliv telesne aktivnosti na aerobni (LT1) in anaerobni prag (LT2) ter preverila, kako se ti pragovi razlikujejo med športniki, rekreativci in nešportniki. Pretekle študije potrjujejo, da redni vzdržljivostni trening poveča tako aerobni kot anaerobni prag, saj izboljša oksidativno kapaciteto mišic, poveča število mitohondrijev in izboljša sposobnost izkoriščanja kisika. V raziskavi sem hipotezo preverila z metodo stopnjevanega teka (6 x 800 m), pri katerem sem merila raven laktata v krvi po vsaki ponovitvi. Testiranci so bili razdeljeni v tri skupine glede na količino telesne aktivnosti: športniki, rekreativni športniki in nešportniki. Rezultati so pokazali, da športniki dosežejo tako LT1 kot LT2 pri višjih hitrostih kot ostali, kar pomeni, da dlje časa lahko vzdržujejo visoko intenzivnost brez kopičenja laktata. Rekreativni športniki imajo boljše presnovo laktata kot nešportniki, a slabšo kot trenirani športniki. Nešportniki so dosegli pragove pri najnižjih hitrostih, kar nakazuje na hitrejše zakisanje mišic in manjšo vzdržljivost. Ugotovitve potrjujejo, da je telesna aktivnost ključna za izboljšanje aerobne in anaerobne kapacitete ter da lahko redni trening bistveno vpliva na sposobnost telesa pri obvladovanju laktata.

## Keywords

aerobic threshold, anaerobic threshold, lactate, physical activity

## Abstract

In this study, I investigated the effect of physical activity on aerobic (LT1) and anaerobic (LT2) thresholds and examined how these thresholds differ between athletes, recreational and non-athletes. Previous studies confirm that regular endurance training increases both aerobic and anaerobic thresholds by improving muscle oxidative capacity, increasing mitochondrial number and improving oxygen utilisation capacity. In my study, I tested this hypothesis using a graded running method (6 x 800 m), measuring blood lactate levels after each repetition. The subjects were divided into three groups according to the amount of physical activity: athletes, recreational athletes and non-athletes. The results showed that athletes reach both LT1 and LT2 at higher speeds than the others, which means that they can sustain high intensity for longer without lactate build-up. Recreational athletes have better lactate metabolism than non-athletes, but worse than trained athletes. Non-athletes reached thresholds at the lowest speeds, indicating faster muscle acidification and lower endurance. The findings confirm that physical activity is key to improving aerobic and anaerobic capacity and that regular training can have a significant impact on the body's ability to manage lactate.

## Vsebina

Vsebina.....	5
1 UVOD .....	7
2 PROCESI V MIŠICI MED VADBO .....	9
2.1 ZNAČILNOSTI AEROBNIH ENERGETSKIH PROCESOV .....	10
2.2 ZNAČILNOSTI ANAEROBNIH ENERGETSKIH PROCESOV .....	12
2.2.1 LAKTAT .....	14
2.2.2 RAZGRADNJA LAKTATA.....	15
2.2.3 MERJENJE LAKTATA .....	16
2.2.4 LAKTATNA KRIVULJA TER AEROBNI IN ANAEROBNI PRAG .....	18
2.2.5 MAKSIMALNA PORABA KISIKA (VO <sub>2</sub> MAX) .....	19
3 POTEK RAZISKAVE .....	21
3.1 REZULTATI MERITEV .....	23
3.2 MOŽNE NAPAKE IN OMEJITVE PRI MERITVAH .....	25
4 RAZPRAVA.....	27
5 ZAKLJUČEK .....	29
6 VIRI IN LITERATURA.....	30
7 PRILOGE.....	33
7.1 SLIKOVNA DOKUMENTACIJA TESTIRANJ .....	33
7.2 GRAFI TESTIRANCEV .....	34
7.2.1 ŠPORTNIKI .....	34
7.2.2 REKREATIVNI ŠPORTNIKI .....	36
7.2.3 NEŠPORTNIKI .....	39
7.2.4 ŠPORTNICE.....	42
7.2.5 REKREATIVNE ŠPORTNICE.....	45
7.2.6 NEŠPORTNICE.....	48

Kazalo slik:

Slika 1: Model ATP molekule .....	9
Slika 2: Oksidacija piruvata do acetil CoA.....	11
Slika 3: Prikaz pridobivanja energije na aerobni in anaerobni način .....	14
Slika 4: Corijev cikel .....	15
Slika 5: Primerjava aktivne in pasivne razgradnje laktata po maksimalnem naporu.....	16
Slika 6: Razvoj vsebnosti laktata v mišici in krvi med vadbo in po vadbi .....	17
Slika 7: Naraščanje laktata ob dvigu intenzivnosti .....	19
Slika 8: Primer izračuna con hitrosti .....	22
Slika 9: Čas v sekundah na 100 metrov .....	22
Slika 10: Graf vsebnosti laktata v krvi v odvisnosti od hitrosti: Dekleta .....	24
Slika 11: Graf vsebnosti laktata v krvi v odvisnosti od hitrosti: Fantje.....	25
Slika 12: Primer napačne meritve.....	26
Slika 13: Tek testirancev (Ljubljana, 2025) .....	33
Slika 14: Utrujeni testiranci po testiranju (Ljubljana, 2025).....	33
Slika 15: Merjenje laktata (Ljubljana, 2025) .....	33
Slika 16: Počivanje po testiranju (Ljubljana, 2025).....	33

## 1 UVOD

V preteklosti je bilo na tem področju narejenih že kar nekaj raziskav glede aerobnega in anaerobnega praga, saj so te ključne za razumevanje delovanja človeškega telesa pod fizičnimi obremenitvami. Spoznanja teh raziskav nam služijo za pripravo treningov, ki športnikom izboljšajo vzdržljivost in zmogljivost. Pri pregledu strokovne literature sem ugotovila, da obstaja več študij, ki proučujejo povezavo med aerobnim in anaerobnim pragom ter telesno zmogljivostjo in vzdržljivostjo. Naj omenim le nekatere avtorje: Coyle, Holloszy, Billat, Weston, Denadai ... Vsi raziskovalci potrjujejo, da:

- redni vzdržljivostni trening pripomore k zvišanju omenjenih pragov,
- trening tik pod anaerobnim pragom je ključnega pomena za dvig le tega,
- intenzivni treningi povzročijo povečanje števila mitohondrijev v mišicah, kar izboljša oksidativno kapaciteto mišic in vodi k lažjemu premagovanju naporov,
- imajo športniki z višjim anaerobnim pragom boljšo vzdržljivost.

Vsa ta odkritja podpirajo definicijo športne vadbe Dietricha Haareja, ki dobro povzame mnoge značilnosti sistema športne vadbe: »Športna vadba je po znanstvenih, zlasti pedagoških načelih zgrajen proces športnega izpopolnjevanja, ki z načrtnim in sistematičnim delovanjem učinkuje na takšno tekmovalno zmogljivost, ki omogoča športniku najvišje tekmovalne dosežke v izbrani športni panogi«.

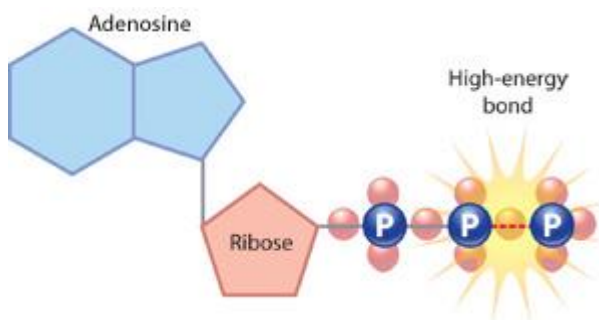
Raziskovalci so do svojih ugotovitev prišli s spremljanjem športnikov skozi daljše časovno obdobje in opazovali njihov napredek glede na različne vrste treningov. Moj pristop pa je obrnjen, pri posamezniku nisem opazovala kako se s treningom zvišujeta LT1 in LT2, ampak sem želela preveriti ali sta LT1 in LT2 odvisna od življenjskega sloga oz. količine telesne aktivnosti posameznika.

Moja hipoteza je: hitrost teka, pri kateri se v mišicah začne tvoriti laktat in pri kateri se ta začne nalagati torej aerobni in anaerobni prag, je možno z treningom dvigniti. Športniki bodo svoja pragova dosegli pri višji hitrosti kot rekreativci in nešportniki.

Podrobnejša opredelitev terminov LT1 in LT2 sledi v naslednjem poglavju.

## 2 PROCESI V MIŠICI MED VADBO

Mišica za krčenje in raztezanje potrebuje energijo, ki jo pridobiva iz molekul hrane. Molekule se razgradijo v naših celicah, ob tem se sproščena energija iz njihovih kemijskih vezi prenese v molekule ATP. ATP (adenozin trifosfat) je molekula, zgrajena iz adenina (dušikova baza), riboze (petogljični sladkor) in treh fosfatnih skupin. Nastaja pri vrenjih, aerobnem celičnem dihanju, anaerobnem celičnem dihanju nekaterih bakterij in pri svetlobnih reakcijah fotosinteze, kjer se kasneje porabi v Calvinovem ciklu. Naloga teh molekul je prenašanje energije po celici od reakcij, ki sproščajo, do reakcij, ki porabljajo energijo. Mišica lahko energijo (ATP) pridobiva na dva načina in sicer anaerobno ali aerobno. Za proces aerobne razgradnje je potreben kisik, za proces anaerobne razgradnje pa ne.



Slika 1: Model ATP molekule

Pri razgradnji ATP se visoko energijska vez med drugim in tretjim fosfatom prekine. Sprosti se en fosfat, tako se molekula ATP spremeni v ADP (adenozin difosfat) in sprosti se energija:



Sproščena energija se porabi za celične procese: krčenje mišic, sinteza beljakovin, podvajanje DNA, potovanje kromosomov pri delitvi celic ... Molekule ATP so nestabilne in v stiku z vodo hitro razpadejo. Prav tako niso primerne za daljše shranjevanje energije, ker ne vsebujejo veliko energije. Ena molekula glukoze shranjuje približno 30-krat več energije kot molekula

ATP. Za daljši čas organizmi energijo shranjujejo v velikih polisaharidih (škrob, glikogen) in maščobnih molekulah, saj te vsebujejo veliko energije in so stabilne.

## 2.1 ZNAČILNOSTI AEROBNIH ENERGETSKIH PROCESOV

V te procese vključujemo aerobno celično dihanje. Sodeluje kisik, ki velja za najboljši oksidant, kar pomeni, da dobro sprejema elektrone in protone. Glukoza oddaja svoje elektrone in protone ter se oksidira do ogljikovega dioksida. Elektrone in protone sprejme kisik, ki se reducira v vodo. Končna produkta razgradnje sta torej CO<sub>2</sub> in H<sub>2</sub>O. Glavna značilnost teh procesov je prisotnost kisika pri razgradnji organskih molekul na enostavne anorganske spojine, pri čemer se sprošča energija, ki se veže v ATP. *Za obnavljanje ATP iz ADP in fosfata (Pi) se porabljajo ogljikovi hidrati in maščobne kisline, te v mitohondriju izgorevajo in tako se nakopiči kemična energija v obliki ATP, kot stranska produkta pa CO<sub>2</sub> in H<sub>2</sub>O. To prikazujeta spodnji enačbi (Hlača, 2011):*

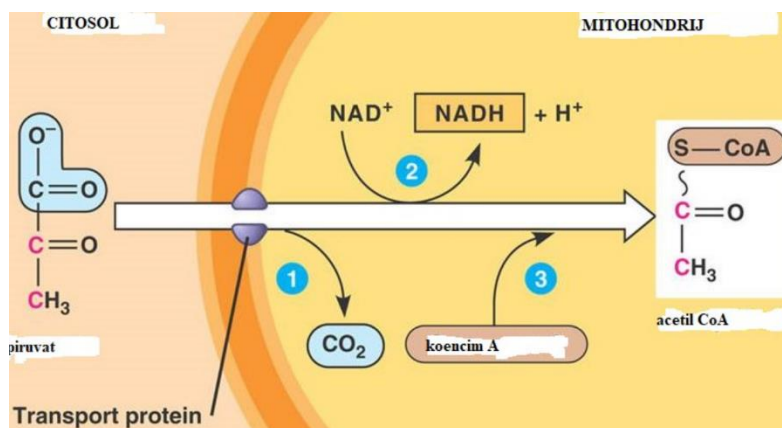
*glukoza + kisik + ADP → ogljikov dioksid + ATP + voda*

*maščobne kisline + kisik + ADP → ogljikov dioksid + ATP + voda*

*Aerobne energetske procese tvori več zaporednih kemijskih reakcij, zato le-ti potekajo počasneje kot anaerobni procesi (Pliberšek, 2011). Sestavljajo jih štiri faze, to so: glikoliza, Krebsov cikel, nastanek acetil Co A in oksidativna fosforilacija ali dihalna veriga.*

Glikoliza poteka v citosolu celice. Pri procesu glikolize se ena molekula glukoze razgradi na dva piruvata, nastaneta dve molekuli ATP (sprostijo se štiri, vendar se dve porabita za aktivacijo glukoze na začetku) in dve molekuli NADH.

NAD<sup>+</sup> (nikotinamid adenin dinukleotid) sodeluje pri celičnem dihanju in pri celičnem vrenju.



Slika 2: Oksidacija piruvata do acetil CoA

Njegova funkcija je prenašanje vodikovih protonov in energetsko bogatih elektronov iz enega procesa v drug proces. Ko sprejme dva elektrona in protona vodika se reducira v  $\text{NADH} + \text{H}^+$ , kar poenostavljeno zapišemo NADH. Ko elektrone odda, se vrne v prvotno obliko, torej se oksidira.

Piruvata še vedno vsebujeta veliko energije, ki jo lahko celica dobi z oksidacijo piruvatov. S pomočjo posebnih črpalnih prenašalnih beljakovin se piruvati prenesejo v matriks mitohondrija, kjer poteka nadaljnja razgradnja. Odcepi se  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NAD}^+$  se reducira do NADH in acetilna skupina piruvata se spoji s CoA, tvori se acetil-koencim A (acetil CoA). CoA je molekula, ki prenese acetil do Krebsovega cikla.

Krebsov cikel je prav tako proces oksidacije, ki poteka v mitohondrijskem matriksu. Tu se zgodi nadaljnja oksidacija acetil CoA. Cikel vsebuje številne reakcije, v katerih je produkt zadnje reakcije začetni produkt za prvo reakcijo. Sproščajo se elektroni in protoni vodika, ki se vežejo na  $\text{NAD}^+$ , deloma tudi na FAD (koencim, ki pri celičnem dihanju sodeluje pri prenosu elektronov), malo sproščene energije se veže tudi v ADP. Kot odpadni produkt se sprošča  $\text{CO}_2$ , ki z difuzijo izhaja iz celic. Pri razgradnji ene molekule glukoze se v Krebsovem

ciklu sprostijo štiri molekule CO<sub>2</sub>, šest molekul NADH, dve molekuli FADH<sub>2</sub> in dve molekuli ATP. Torej je energetski izkupiček v Krebsovem ciklu iz ene molekule glukoze:

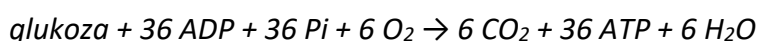


*Oksidativna fosforilacija je zadnja stopnja celičnega dihanja, ki poteka v nagubani notranji membrani mitohondrija. Ker je notranja membrana mitohondrija močno nagubana, to omogoča veliko površino za namestitev potrebnih molekulskih sistemov, ki omogočajo nastanek velikega števila molekul ATP (Boyer, 2005). NADH + H<sup>+</sup> in FADH<sub>2</sub> preko verige prenašalcev preneseta elektrone in protone na kisik, ki je končni oksidant.*

Veriga za prenos elektronov so številni proteini in druge organske molekule, ki se nahajajo na notranji membrani mitohondrija. *Elektroni prehajajo med temi prenašalci prek številnih redoks reakcij. Energija, ki se sprosti, se porabi za sintezo ATP (Boyer, 2005).*

Elektroni in protoni — vodikovi ioni se s kisikom združijo v H<sub>2</sub>O, ki je poleg CO<sub>2</sub> odpadni produkt celičnega dihanja. Ogljikov dioksid iz celic po krvi potuje do pljuč, kjer ga po dihalni poti izločimo iz telesa.

*Enačba, ki predstavlja popolno razgradnjo glukoze v skeletni mišici :*



*Za druge celice je izračun drugačen (Boyer, 2005)!*

## 2.2 ZNAČILNOSTI ANAEROBNIH ENERGETSKIH PROCESOV

Pod anaerobne energijske procese v celici štejemo mlečnokislinsko vrenje, pri katerem se sprosti manj energije kot pri celičnem dihanju. Pri vrenju se pri razgradnji organskih molekul sprošča energija, ki se prav tako veže v molekule ADP in nastaja ATP. Vrenje uvrščamo med nepopolno anaerobno razgradnjo, ker produkti, ki so organske snovi, še vedno vsebujejo energijo (npr. mlečna kislina).

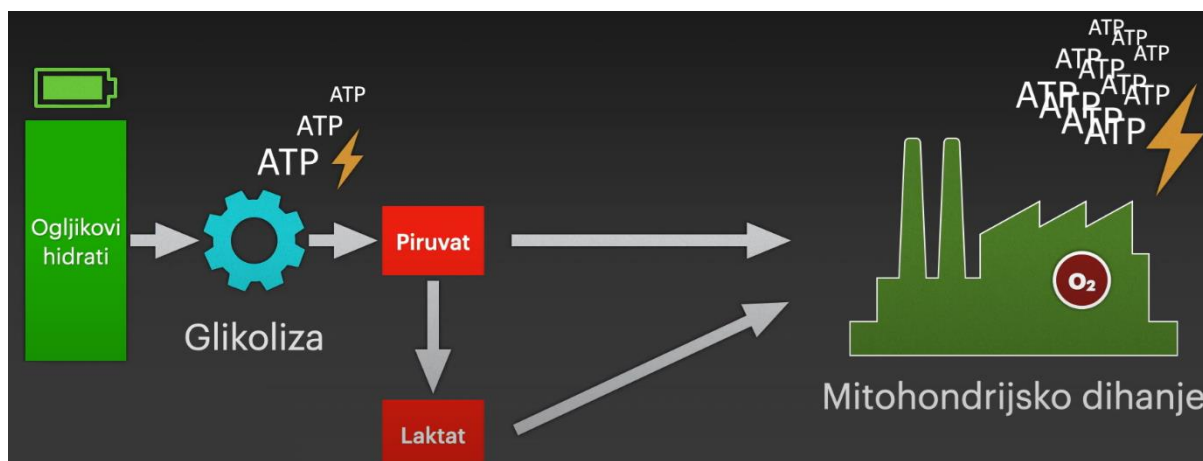
Tudi pri vrenjih je začetni proces glikoliza. Glukoza se torej razgradi na dva piruvata, s pomočjo številnih encimov, brez prisotnosti kisika. Pri procesu se sprostita dve molekuli ATP (sprostijo se štiri, vendar se dve porabita za aktivacijo glukoze na začetku) in odcepijo se po

štirje elektroni in protoni vodika, ki se vežejo na  $\text{NAD}^+$ , tako da nastaneta dve molekuli NADH.

Mlečnokislinsko vrenje poteka v anaerobnih pogojih, ko NADH odda vodikove ione in elektrone piruvatu, pri čemer se ta reducira v mlečno kislino, NADH pa se oksidira v  $\text{NAD}^+$ . Mlečna kislina ima torej nekoliko več energije kot piruvat, saj vsebuje še energijo energijsko bogatih vodikovih elektronov. Če ni na voljo zadosti kisika ( $\text{O}_2$ ) potem NADH ne more sprostiti vodikovih ionov ( $\text{H}^+$ ) in elektronov. Njihova koncentracija naraste v celici. Da bi preprečili zakisanje, se piruvat reducira z elektroni in vodikovimi ioni iz NADH ter pretvori v laktat. Večina mlečne kisline se v fiziološkem pH preoblikuje v laktatne ione (laktat), saj mlečna kislina disociira in sprosti vodikov ion ( $\text{H}^+$ ). Laktat pogosto uporabljamo kot sinonim za mlečno kislino, vendar moramo vedeti, da kislo okolje povzročajo vodikovi protoni mlečne kisline.

Tak način razgradnje glukoze zagotavlja veliko količino energije v kratkem času. Ti energetski procesi so najbolj učinkoviti pri intenzivnih naporih, ki trajajo med 45 in 90 sekund. V tem obdobju se tvori veliko ATP molekul, vendar se zaradi znižanja pH vrednosti, proces ne more nadaljevati dolgo. Nižji pH vpliva na encime, ki v kislem okolju ne delujejo optimalno, kar upočasni energetsko presnovo. Posledica zakisanja in slabe dostopnosti ATP je zmanjšana sposobnost mišic za učinkovito krčenje. To vodi v občutek utrujenosti, ki služi kot naravni signal telesu, da zmanjša intenzivnost vadbe ali si vzame premor, kar omogoča ponovno vzpostavitev kisikove preskrbe in energijskih zalog ter normalizacijo pH v mišičnem tkivu.

Aerobni energijski procesi se vedno odvijajo v pogojih, ko je na voljo dovolj kisika. Presnovni produkti, ki pri tem nastajajo, pa ne ovirajo delovanja organizma (Koprivnjak, 1991). Pri anaerobnih procesih je produkt kislina, kar mišicam onemogoča delovanje na daljši rok, saj pride do acidoze (znižanja pH v mišicah).



Slika 3: Prikaz pridobivanja energije na aerobni in anaerobni način

### 2.2.1 LAKTAT

Pri aerobnih pogojih se del piruvata pretvori v laktat, čeprav večino piruvata porabijo mitohondriji za oksidacijo. Laktat pa je v celicah prisoten tudi ob mirovanju (približno od 0,5-2,00 mmol/L), njegova koncentracija med vadbo naraste glede na intenzivnost. Koncentracija laktata v krvi je običajno 1–2 mmol/L v mirovanju, med vadbo pa lahko preseže 20 mmol/L.

Proizvodnja laktata in njegov vpliv na znižanje pH v mišicah (acidozo) je pogosto obravnavana tema v vadbeni fiziologiji. Robert Robergs in sodelavci trdijo, da nastajanje mlečne kisline ne povzroča acidoze in da se pH znižuje predvsem zaradi hidrolize ATP (reakcija  $\text{ATP} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{ADP} + \text{piruvat} + \text{H}^+$ ) in da se pri pretvorbi piruvata v laktat dejansko porabijo vodikovi ioni. Vendar pa ostali znanstveniki pravijo, da so Robergs in sodelavci prezrli druge dejavnike, ki prispevajo k povečanju koncentracije  $\text{H}^+$ . Laktat kot anion zmanjša koncentracijo kationov (npr.  $\text{Na}^+$ ), kar povzroči več  $\text{H}^+$  zaradi ohranjanja nevtralnosti. Prav tako povečanje  $\text{CO}_2$  med vadbo poveča koncentracijo  $\text{H}^+$ . Tako med vadbo laktat in  $\text{CO}_2$  prispevata k povečanju  $\text{H}^+$  in znižanju pH, skladno z Le Chatelierjevim načelom (če se v uravnoteženem sistemu spremeni koncentracija, temperatura, volumen ali tlak, se bo sistem odzval tako, da se bo vzpostavilo novo ravnotežje).

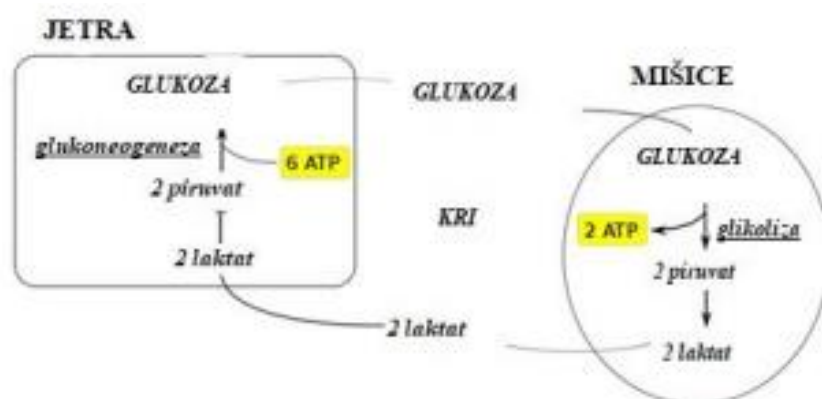
## 2.2.2 RAZGRADNJA LAKTATA

Laktat se v mišicah ne more nalagati v nedogled, saj zaradi znižanja pH to postane nevarno za naš organizem. Na tekmovanjih je med nastopi pogosto malo časa, zato je med odmori zelo pomembna regeneracija, ker se iz mišic odstranjuje laktat in pH preide v meje normale. Primer dobre regeneracije je Michael Phelps, ki je na Olimpijskih igrah leta 2008 v Pekingu, osvojil kar 8 zlatih medalj, torej je imel v šestih dneh kar 17 nastopov, med katerimi je bila regeneracija ključnega pomena.

Laktat, ki nastane med vadbo, se lahko razgradi na več načinov. Razgradnja poteka z uporabo laktata kot vira energije, bodisi neposredno v mišicah bodisi v drugih organih, kot so jetra, kjer se laktat pretvori nazaj v glukozo. *Aerobni energijski procesi lahko kot gorivo porabljajo tudi laktat, če je bila obremenitev intenzivna in je prišlo do tvorbe le-tega. Produkti so isti kot pri prej omenjenih gorivih (Arcelli in Canova, 2001):*

$\text{laktat} + \text{kisik} + \text{ADP} \rightarrow \text{ogljikov dioksid} + \text{ATP} + \text{voda}$

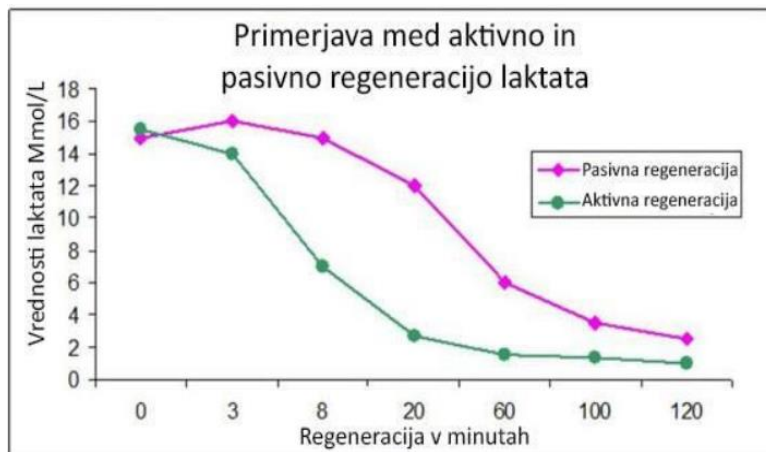
Pot, po kateri se laktat preoblikuje v glukozo v jetrih, imenujemo Corijev cikel.



Slika 4: Corijev cikel

Raziskave so pokazale, da lahko laktat v krvi znižamo z aktivnim počitkom (raztekom, razplavanjem), kar pomeni, da športnik med odmorom premaguje nizko intenzivni napor. Ta

prispeva k rahlemu povečanju aktivnosti aerobnih procesov, ki porabijo del laktata iz krvi kot gorivo (Brooks, 1985).



Slika 5: Primerjava aktivne in pasivne razgradnje laktata po maksimalnem naporu

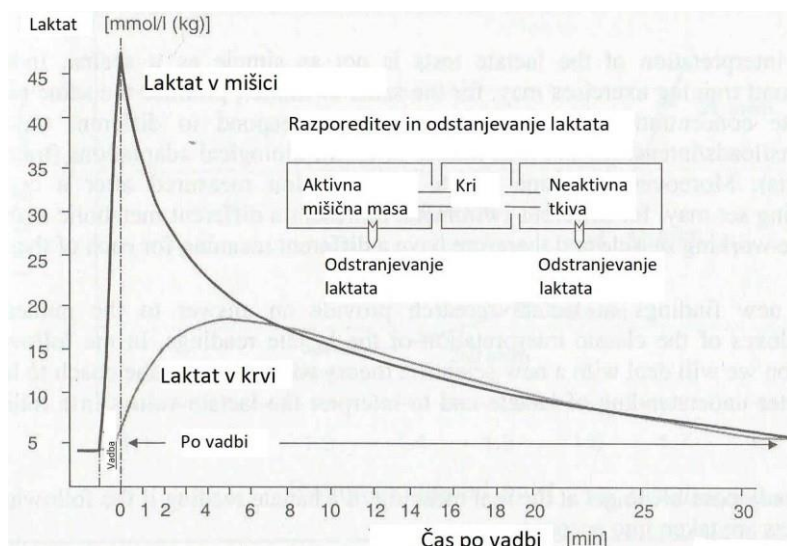
Jaka Kramaršič je v svoji diplomski nalogi primerjal aktivno razgradnjo laktata in pasivnega odmora med dvema maksimalnima nastopoma na 100 m kravl. Udeleženci so med nastopi prakticirali obe vrsti regeneracije in ugotovil je, da je pri daljših odmorih med nastopi bolj učinkovit pasivni počitek, med krajšimi odmori (do 1 ure) pa aktivno razplavanje (plavanje s 65 % maksimalne hitrosti). Njegove raziskave so namreč pokazale, da se vrednosti laktata enake tistim v mirovanju po približno eni uri. Poudarja pa tudi, da je za posameznika priporočljivo, da na vadbi preizkusi obe metodi in ugotovi, katera mu bolje ustreza.

Ob intenzivni telesni aktivnosti imamo včasih bolečine v mišicah tudi nekaj dni po naporu. Za bolečine ni kriva mlečna kislina oziroma laktat, vendar majhne poškodbe v mišičnih tkivih. Mlečna kislina se namreč v mišicah razgradi nekaj ur po treningu, zato bolečino povzroča samo med treningom in nikakor ne 1 do 2 dni po njem, takrat je že zdavnaj ni več v mišicah.

### 2.2.3 MERJENJE LAKTATA

Koncentracija laktata se ne poveča, dokler hitrost nastajanja laktata ne preseže hitrosti odstranjevanja laktata, kar je odvisno od številnih dejavnikov. Običajna vsebnost v krvi je 1 do 2 mmol/L, med telesno aktivnostjo pa lahko vrednost močno naraste. Redno merjenje laktata je za sledenje napredka smiselno pri vrhunskih športnikih. Z merjenjem pri različnih

obremenitvenih serijah je možno določiti najvišjo stopnjo laktata, aerobni in anaerobni prag, ki se razlikuje pri vsakem posamezniku. Pri laktatnih testih merimo količino laktatnih ionov (laktata na liter krvi). Kri med vadbo odvezamo iz prsta ali iz ušesne mečice. *Predpostavka pri laktatnih testih je, da dvig laktata v krvi odraža dvig mlečne kisline v mišicah. Večina laktata, proizvedenega med vadbo, v mišicah difundira in je prenesena iz mišic v kri. Torej lahko po vsebnosti laktata v krvi sklepamo na nivo anaerobne presnove v mišicah* (Maglischio, 2003). Olbrecht (2007) je meril laktat pri plavalcih in opozarja, da je po preplavani razdalji potrebno pridobiti najvišjo vrednost laktata v krvi, saj nam le ta pove nekaj o laktatu v mišici. Laktat namreč potuje med mišico in krvjo, zato je v vrednosti med krvnim in mišičnim laktatom časovni zamik. Da se prepričamo, ali smo ujeli najvišjo vsebnost laktata v krvi, moramo testirancu vzeti vsaj 2 vzorca krvi. Oblecht (2007) priporoča prvega 1 minuto po naporu in drugega 3 minute po naporu. Če je vrednost drugega vzorca višja od prvega, je priporočljiv odvzem še tretjega vzorca 5 minut po naporu. Maglischio (2003) ugotavlja, da bi bilo bolj natančno merjenje laktata v mišicah, vendar to ne bi bilo praktično. To bi bilo mogoče samo z odvzemom manjšega vzorca mišičnega tkiva med vadbo, ki bi moralo biti zamrznjeno in kasneje analizirano.



Slika 6: Razvoj vsebnosti laktata v mišici in krvi med vadbo in po vadbi

Za meritve potrebujemo laktat meter in laktatne lističe. V svoji raziskavi sem uporabila laktat meter Lactate Pro 2 in zanj primerne lističe. Zaradi visoke cene laktatnih lističev si

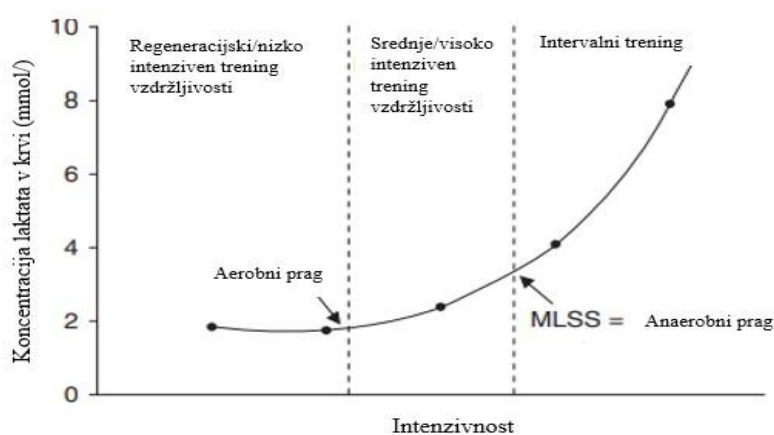
večkratnega merjenja vzorcev pri eni osebi nisem mogla privoščiti in sem vsakemu testirancu laktat po naporu izmerila samo enkrat. Merjenje sem ponovila le, če je vrednost zelo odstopala od pričakovane.

#### 2.2.4 LAKTATNA KRIVULJA TER AEROBNI IN ANAEROBNI PRAG

Na grafu odvisnosti koncentracije laktata od hitrosti nam krivulja odraža vrednosti med količinama. Kadar tekač teče stopnjevan test (6 x 800 m) bo po prvi ponovitvi laktat nizek, vendar se bo ob stopnjevanju hitrosti začel hitreje kopičiti. Višja kot je hitrost teka, večja bo tudi vrednost doseženega laktata. Manjši kot je naklon krivulje, boljša je aerobna in anaerobna vzdržljivost športnika (laktat se v krvi kopiči počasneje glede na povečano hitrost teka) in obratno. Premik krivulje v levo nakazuje na poslabšanje stopnje aerobne presnove, saj je kopičenje laktata večje. Medtem ko premik v desno pomeni izboljšanje aerobne in anaerobne presnove ter kaže napredek.

*Aerobni prag označuje zgornjo mejo intenzivnosti, pri kateri procesi potekajo izključno aerobno in omogoča vadbo, ki traja več ur. Vadba nad aerobnim pragom povzroča rahel in konstanten dvig vsebnosti laktata in jo je mogoče vzdrževati do 4 ure v območju prvega povišanja laktata ter 45–60 minut pri intenzivnosti, ki ustreza najvišjemu stacionarnemu stanju laktata (MLSS) (Faude, Kindermann in Meyer, 2009). Torej aerobni prag je točka pri intenzivnosti vadbe, pri kateri se začne koncentracija laktata v krvi opazno povečevati od izhodiščne vrednosti, vendar se še vedno uravnoteženo presnavlja. Ponavadi se nahaja nekje pri laktatu 2.0–2.5 mmol/L. Na grafu aerobni prag najdemo pri prvem rahlem dvigu laktata oz. ob nenadnem/nelinearnem dvigu vsebnosti laktata v krvi nad stacionarno stanje. Športniki lahko plavajo dolgo časa brez pojava acidoze, dokler je njihova oskrba s kisikom zadostna. Glavna cilja aerobne vadbe sta izboljšanje učinkovitosti tehnike zaveslajev in povečanje oskrbe mišic s kisikom. Prvi bo zmanjšal strošek energije pri plavanju tako, da bodo športniki plavali hitreje, ne da bi pri tem močno povečali količino kisika, ki ga potrebujejo. Drugi pa omogoča, da plavajo hitreje in s tem ne proizvajajo velike količine mlečne kisline (Oblrecht, 2007). Enako bi lahko sklepali pri teku.*

Pri določeni intenzivnosti (okrog 80-90 % anaerobne moči) se dinamika naraščanja laktata v krvi močno poveča. To točko imenujemo laktatni ali anaerobni prag in pomeni prelomnico v obremenitvi, pri kateri se poruši ravnovesje produkcije in porabe laktata (Škof et al, 2010). Anaerobni prag je točka, pri kateri se laktat kopiči hitreje, kot ga telo lahko odstranjuje, kar pomeni prehod na anaerobno presnovo. Pogosto je ta prag postavljen pri 3.5–6.0 mmol/L. Na grafu ga določimo z vizualno oceno ali pa narišemo črto od začetne do končne točke grafa in poiščemo točko, v kateri je odklon od te črte največji. Pri anaerobnem pragu se krivulja močno ukrivi, kar pomeni, da je hitrost tvorbe laktata veliko višja od njegove porabe. Nad anaerobnim pragom laktat raste zelo hitro in je krivulja zelo strma.



Slika 7: Naraščanje laktata ob dvigu intenzivnosti

V nadaljevanju bom namesto aerobni prag uporabljala kratico LT1 (lactate threshold) in za anaerobni prag LT2.

## 2.2.5 MAKSIMALNA PORABA KISIKA (VO<sub>2</sub> MAX)

VO<sub>2</sub> max – maksimalna aerobna kapaciteta je največja količina kisika, ki jo lahko organizem porabi v eni minuti. Volumen izražamo kot razmerje med litri na minuto (L/min) ali mililitri na kilogram telesne teže na minuto (ml/kg/min). Poraba kisika je linearno povezana s potrošeno energije, zato pri merjenju VO<sub>2</sub> max posredno merimo tudi aerobno zmogljivost posameznika. Kakšna je sposobnost pljuč za oskrbo krvi s kisikom, je možno izmeriti z različnimi testi. Višja kot je maksimalna poraba kisika, več ATP lahko naše telo ustvari. VO<sub>2</sub> max se najbolj natančno izmeri na ergometru – napravi za testiranje obremenitve, na primer kolo ali tekalni

proga, s katero testiranec postopoma povečuje intenzivnost vadbe, dokler ne doseže točke izčrpanosti. Med testom se meri koncentracija kisika in ogljikovega dioksida v izdihanem zraku.  $VO_2$  max se doseže, ko kljub povečanju intenzivnosti poraba kisika ne narašča več. Približno določanje brez naprav je možno tudi z različnimi testi, jaz sem uporabila test teka na 2 km, vendar so vrednosti bolj približne.

### 3 POTEK RAZISKAVE

Svojo hipotezo sem preverjala pri teku. V raziskavi je sodelovalo 30 testirancev, 15 deklet in 15 fantov, starih med 17 in 22 let. Glede na njihovo telesno pripravljenost sem jih razporedila v tri skupine. V prvi skupini so bili športniki, ki trenirajo vsak dan. Izbirala sem med športi, ki vsebujejo veliko teka, npr. atletika, triatlon in nogomet. Drugo skupino so sestavljale osebe, telesno aktivne od 2 do 3-krat na teden, ki se športno udeležujejo v teku, kolesarjenju in obiskom fitnesa. Zadnjo skupino so sestavljale osebe, ki niso redno športno aktivne in se ne rekreirajo. Na tak način delitve je bilo v vsaki kategoriji 10 testirancev, 5 ženskega in 5 moškega spola.

Za merjenje LT1 in LT2 sem izbrala serijo 6 x 800 m, v kateri se intenzivnost postopoma povečuje. Testiranci so stopnjevali svojo hitrost po ponovitvah, med katerimi so imeli dve minuti odmora. Hitrost teka pri vsaki ponovitvi sem izračunala za vsakega testiranca posebej, glede na njihovo  $VO_{2max}$ .  $VO_{2max}$  – maksimalno porabo kisika sem dobila pri testu teka na 2 km, ki ga je predhodno opravil vsak od testirancev. Glede na dobljen rezultat sem s pomočjo programa Excel določila cone hitrosti. Predpostavila sem, da je rezultat na 2 km tudi hitrost pri  $VO_{2max}$  in na podlagi rezultatov določila cone hitrosti:

- a) Prva cona: od 60 % hitrosti  $VO_{2max}$  (zelo počasi, lahkoten tek oz. hoja);
- b) Druga cona: od 70 % hitrosti  $VO_{2max}$  (pod prvim pragom – LT1);
- c) Tretja cona: od 78 % hitrosti  $VO_{2max}$  (na prvem pragu – LT1);
- d) Četrta cona: od 86 % hitrosti  $VO_{2max}$  (pod drugim pragom – LT2);
- e) Peta cona: od 94 % hitrosti  $VO_{2max}$  (tik nad drugim pragom – LT2);
- f) Šesta cona: od 110 % hitrosti  $VO_{2max}$  (zelo hitro).

Primer: če nekdo teče 2 km 8 minut in 34 sekund, kar je 4 min in 17 sekund na 1 kilometer, je to 257 sekund.

IME IN PRIIMEK		
	rezultat testa na 2000 m	0:08:33
	VO2max	00:04:17/km
	sekunde v VO2max na 1000 m	257
	sekunde v VO2max na 800 m	205,6
	% hitrosti pri VO2max	sekunde VO2max/800 m
meritev 1	60	343
meritev 2	70	294
meritev 3	78	264
meritev 4	86	239
meritev 5	94	219
meritev 6	110	187

Slika 8: Primer izračuna con hitrosti

	s/100 m	s/200 m	s/300 m	s/400 m	s/500 m	s/600 m	s/700 m	s/800 m
	100	200	300	400	500	600	700	800
meritev 1	43	86	129	171	214	257	300	343
meritev 2	37	73	110	147	184	220	257	294
meritev 3	33	66	99	132	165	198	231	264
meritev 4	30	60	90	120	149	179	209	239
meritev 5	27	55	82	109	137	164	191	219
meritev 6	23	47	70	93	117	140	164	187

Slika 9: Čas v sekundah na 100 metrov

Cone hitrosti so bile za vsakega testiranca določene individualno, saj se med seboj razlikujejo in odražajo posameznikovo telesno pripravljenost. Najbolj pripravljeni so začeli z lahkotnim tekom, slabše pripravljeni pa s hojo. Pomembno je, da so se sodelujoči držali izračunanih con. Začetna obremenitev je morala biti dovolj nizka, zato da je testiranec začel v svojem aerobnem območju.

Testiranje je potekalo na stadionu v mesecu januarju in februarju. Zaradi nizkih temperatur so testiranci obvezno nosili rokavice, v nasprotnem primeru bi bilo odvzemanje krvi iz prsta onemogočeno. Kot prej omenjeno, so na testiranju tekli serijo 6 X 800 m, z dvominutnimi odmori. Pred samim merjenjem laktata smo izvedli še vajo testiranja. Vaja je potekala enako kot samo testiranje, vendar brez odvzemanja laktata. Izvedba vaje ima velik pomen predvsem za drugo in tretjo skupino testirancev, ki pri teku ne poznata svojih mej in nimata občutka hitrosti pri določeni intenzivnosti. Testiranci so poskušali slediti izračunanim hitrostim in jim slediti čimbolj natančno. Tako so približno vedeli, kolikšna hitrost ustreza posamezni

coni, in se tudi seznanili s potekom testiranja. Vsi vključeni v raziskavo so imeli nekoga, ki je nadzoroval njihov tempo, meril čas teka in odmora ter jih ob morebitnih odstopanjih opozoril.

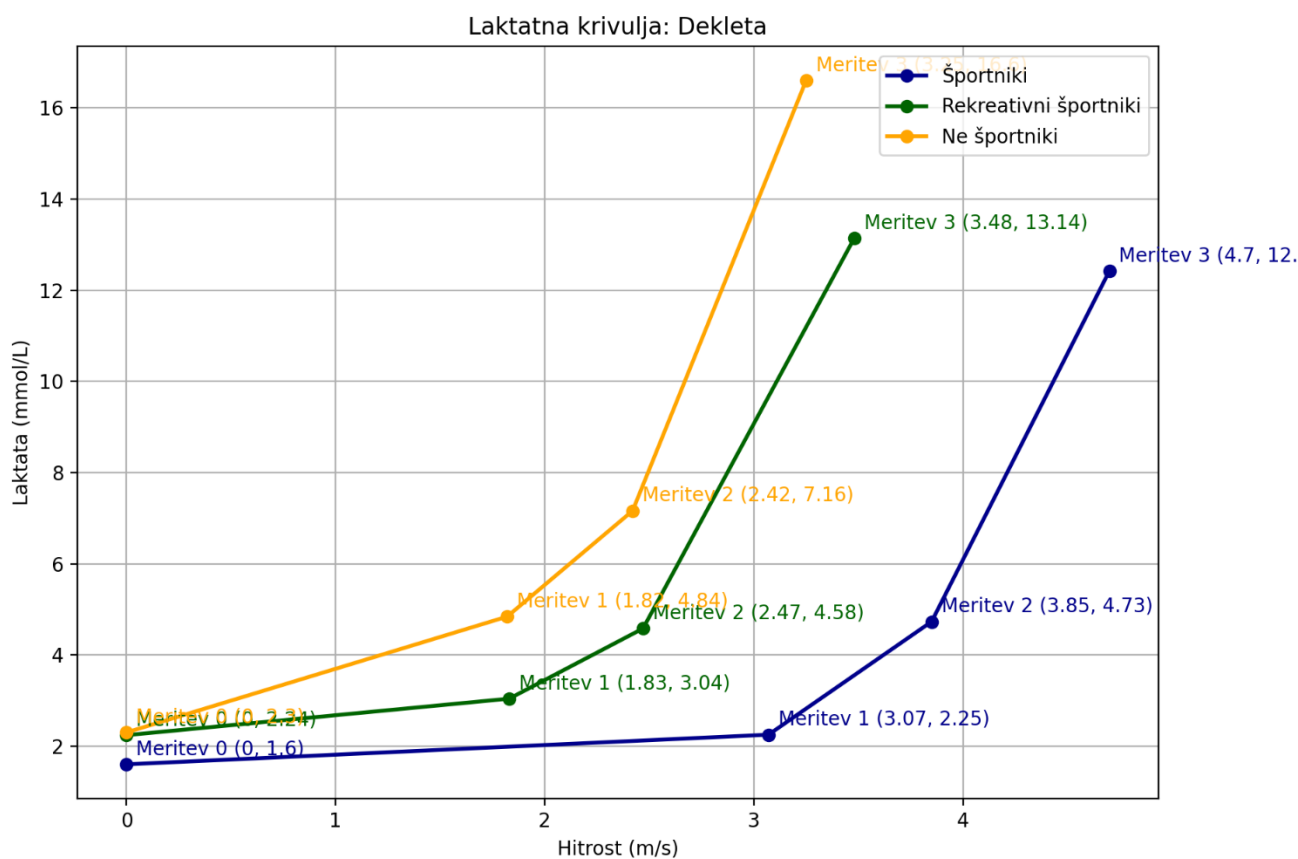
Zaradi predhodne vaje je testiranje potekalo skoraj nemoteno. Laktat smo izmerili v mirovanju pred začetkom ogrevanja iz prsta. Nato je sledilo ogrevanje 10–15 minut pri nizki intenzivnosti. Testiranci so se ogreli z nekaj krogi teka in atletske abecedo. Merjenje laktata je sledilo takoj po vsaki ponovitvi teka na 800 m. Tako sem lahko ugotovila, pri kateri hitrosti, koncentracija laktata v krvi močno naraste. S tem načinom sem prepoznala točke preloma laktatne krivulje. Odvzemanje vzorca je potekalo sledeče: najprej smo z alkoholno blazinico razkužili prst, nato smo z lanceto (majhno iglico v peresu) prebodli blazinico prsta, prvo pritečeno kapljico obrisali, naslednjo pa kapnili na laktat listič povezan z laktat metrom, ki po nekaj sekundah na zaslonu izpiše vrednost laktata. Ob povečevanju obremenitve se je povečevala tudi vsebnost laktata v krvi. Pri samem testiranju sem imela ekipo pomočnikov za merjenje časa teka testirancev, vpisovanja časa teka, merjenje koncentracije laktata in vpisovanje meritev v tabele.

### 3.1 REZULTATI MERITEV

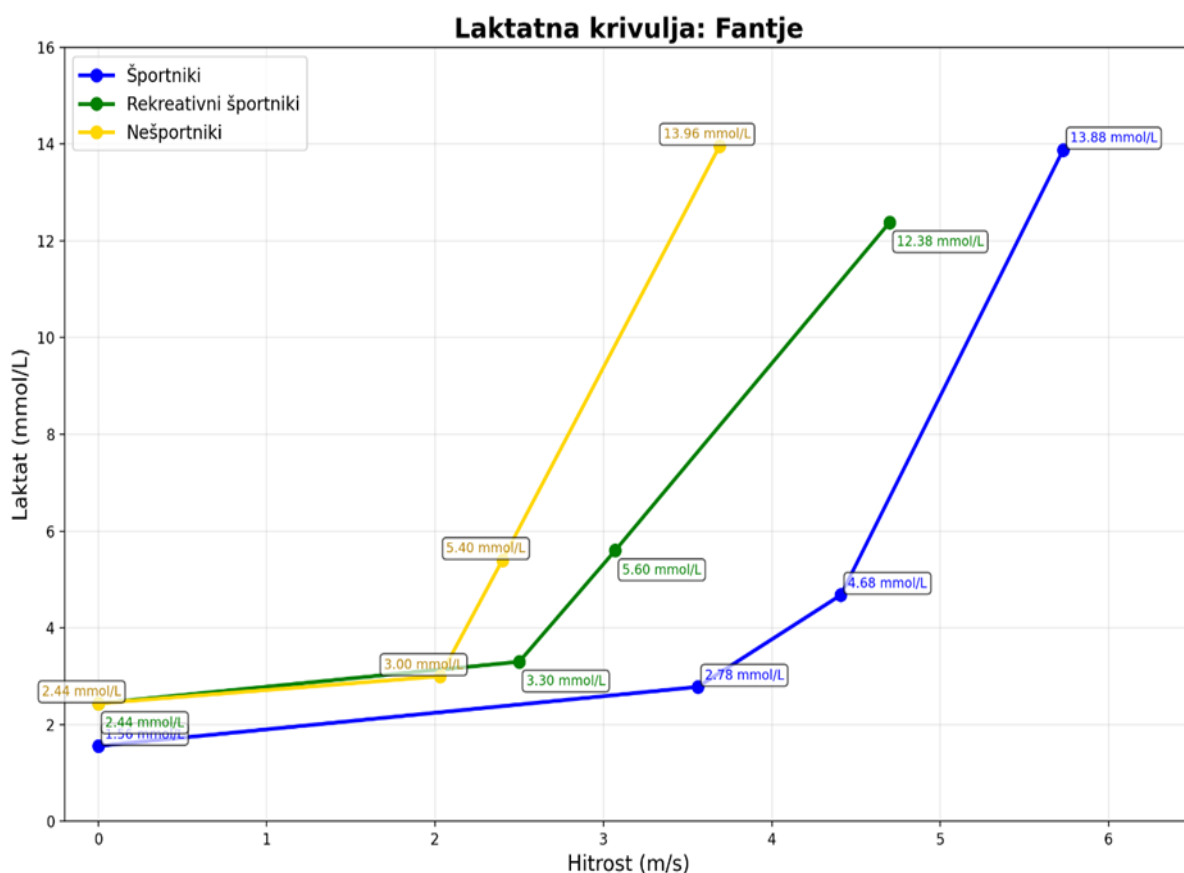
Na podlagi izmerjenih rezultatov, sem za vsakega testiranca s pomočjo umetne inteligence (Julius AI) generirala grafe, ter določila LT1 in LT2. Iskana pragova sem določila tako, da sem od prve do končne točke krivulje potegnila črto in vzela točki z največjo razdaljo. Tam, kjer se je začela rahla rast koncentracije laktata v krvi, sem označila LT1 in tam, kjer je prišlo do strme rasti, sem označila LT2. Ob prevelikem odstopanju od pričakovanih rezultatov sem podatke zanemarila. Nato sem za vsako testirano skupino izračunala povprečje, osredotočila sem se predvsem na začetno vrednost laktata v krvi, LT1 in LT2 ter končno vsebnost laktata. Dobljene rezultate sem izrazila z dvema grafoma, ločeno po spolih.

Grafa vsebnosti laktata v odvisnosti od hitrosti prikazujeta primerjavo vseh treh testiranih skupin po spolih. Vsaka od krivulj prikazuje eno izmed testiranih skupin. Prva točka prikazuje začetno vrednost laktata v mirovanju, druga LT1, tretja LT2 in četrta stanje laktata pri maksimalni hitrosti. Med spoloma do velikih razlik pri LT1 in LT2 ni prišlo, vidimo le, da so

fantje dosegali višje hitrosti kot dekleta. Pri obeh lahko opazimo, da imajo športniki v mirovanju nižje vrednosti laktata in dosežejo višji maksimalni laktat. LT1 in LT2 dosežejo pri višji hitrosti in nižji vsebnosti laktata v krvi kot pri ostalih dveh skupinah. Meritve rekreativnih športnikov in športnikov so si med seboj podobne, le da rekreativni športniki praga dosežejo pri višji hitrosti in nekoliko nižji laktatni vrednosti. Njihovi začetni vrednosti v mirovanju sta skoraj enaki. Dekleta, ki sem jih uvrstila med nešportnice, dosežajo LT1 in LT2 pri zelo podobni hitrosti, vendar pri nekoliko višji laktatni vrednosti kot rekreativne športnice. Na grafu fantov pa opazimo, da nešportniki in rekreativni športniki svoja pragova dosežejo pri zelo podobnih laktatnih vrednostih, le da nešportniki pri nižji hitrosti.



Slika 10: Graf vsebnosti laktata v krvi v odvisnosti od hitrosti: Dekleta



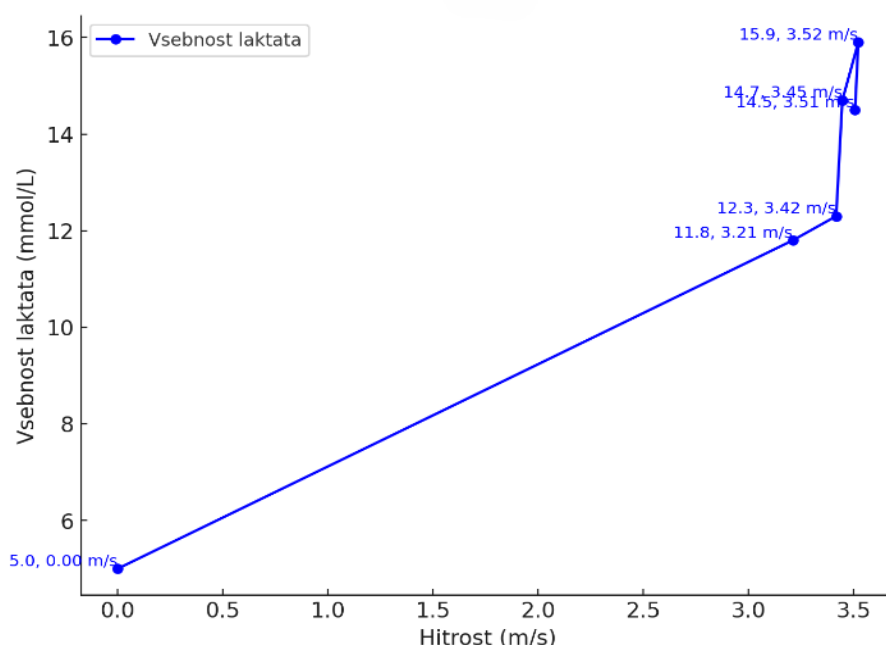
Slika 11: Graf vsebnosti laktata v krvi v odvisnosti od hitrosti: Fantje

## 3.2 MOŽNE NAPAKE IN OMEJITVE PRI MERITVAH

Ena izmed večjih omejitev pri testiranju so bile vsekakor vremenske razmere. Testiranje je potekalo pozimi, ob nizkih temperaturah in snegu, zato je bila izvedba otežena. Kljub uporabi rokavic je bilo odvzemanje vzorcev krvi iz premraženih prstov težavno. V tem primeru bi bilo jemanje krvi iz ušesne mečice bolj smiselno. Na vsebnost laktata v krvi ne vpliva samo intenzivnost vadbe ampak tudi mnogi drugi dejavniki. Pomemben dejavnik je spočitost osebe. Če je ta utrujena, se bo laktat začel tvoriti prej. Dejavnik, ki vpliva na višjo količino laktata je tudi stres. Na proizvodnjo vpliva tudi genetika, saj nekateri ljudje že naravno proizvedejo manj laktata. Odstopanje od pričakovanih rezultatov lahko pričakujemo tudi zaradi nenatančnega razdeljevanja ljudi po skupinah. Med rekreativnimi športniki so sodelovali nekateri, ki so v preteklosti intenzivno trenirali in imajo še zmeraj dobro anaerobno presnovo. Ločevanje re-

kreativnih športnikov od nešportnikov je potekalo predvsem po količini redne telesne aktivnosti in lastni presoji. Izbira serije za športnike ni bila najbolj primerna, saj laktat za svojo stabilizacijo potrebuje približno 4 minute. Dobro telesno pripravljene testiranci so 800 m pretekli hitreje kot v tem času. Za njih bi bila bolj ustrezna daljša serija, pri kateri bi presnova dosegla stabilnost, vendar daljše serije ne bi mogli zdržati manj fizično pripravljene testiranci. Nedvomno pa sem bila pri raziskavi tudi finančno omejena. Zaradi visoke cene laktat lističev sem lahko vsakega testiranca izmerila le enkrat. Za večjo verodostojnost rezultatov bi bilo potrebno odvzeti več vzorcev in testirati več ljudi. Zato sem ob morebitnih nepričakovanih odstopanjih sklepala, da je rezultat napačen in meritev zanemarila.

Pri testiranju so se morali testiranci držati vnaprej določenih con hitrosti, v nasprotnem primeru je prišlo do napačnih rezultatov. Na sliki vidimo, da je testiranec začel prehitro in tako presegel svoje aerobne sposobnosti in preklopil na anaerobno presnovo. Laktat se je začel prehitro kopičiti, še preden je dosegel stabilno stanje in uničil prepoznavanje točk preloma (LT1 in LT2). Vidimo tudi, da je testiranec na koncu že dosegel acidozo v mišicah in posledično izčrpanost, zato se hitrost zmanjša. Zaradi izčrpanosti testiranec ni bil več sposoben nadaljevati in test je bil predhodno prekinjen.



Slika 12: Primer napačne meritve

## 4 RAZPRAVA

Rezultati so pokazali, da imajo športniki najbolj učinkovito presnovo laktata, kar pomeni, da lahko več časa vzdržujejo visoko hitrost brez kopičenja laktata. LT1 in LT2 dosežejo pri višji hitrosti kot rekreativci in nešportniki, kar dokazuje boljšo vzdržljivost pri intenzivnih obremenitvah. Vsakodnevna vadba poveča število mitohondrijev, kar omogoči bolj intenzivno aerobno celično dihanje, večje število kapilarnih prepletov pa izboljša preskrbo mišic s hranili in kisikom. Nekatere druge posledice rednega treninga so tudi: večja poraba maščob kot vira energije pri nizkih intenzivnostih, s čimer varčujejo z glikogenom in posledično kopičenjem laktata, povečana sposobnost srca za črpanje krvi, več mišičnih vlaken tipa I, v katerih prevladuje aerobna presnova ... Iz teh razlogov so bili na testiranju športniki sposobni teči hitreje pri nižjih laktatnih vrednostih.

Rekreativni športniki imajo v primerjavi s športniki manjšo sposobnost presnove laktata. LT1 in LT2 sta nižja kot pri športnikih, kar pomeni, da se laktat začne kopičiti pri manjši hitrosti. Laktat naraste do malo nižjih vrednosti kot pri športnikih pri nižji hitrosti, kar nakazuje na manjšo vzdržljivost pri intenzivnejših obremenitvah. Nešportniki so dosegli LT1 in LT2 pri najnižji hitrosti, kar pomeni da se hitreje utrudijo zaradi zakisanja mišic. Zaradi pomankanja treninga in posledično slabše fiziološke prilagoditve, njihovo telo hitreje preide iz aerobne v anaerobno presnovo, to vodi k slabši vzdržljivosti in manjši sposobnosti za dolgotrajno telesno aktivnost.

Pri testiranju je sodelovalo relativno majhno število ljudi in zavedam se tudi vseh ostalih omejitev v moji raziskavi, vendar lahko z gotovostjo potrdim moje predpostavke, da hitrost pri LT1 in LT2 naraščata s količino telesne aktivnosti. Ugotovitve so skladne s preteklimi raziskavami, ki kažejo, da je redna telesna aktivnost ključna za izboljšanje vzdržljivosti in sposobnosti telesa za obvladovanje laktata. S to temo se veliko ukvarjajo tekmovalni športniki, ki pripisujejo velik pomen treniranju aerobnih in anaerobnih zmožnosti. Dokazala sem, da reden trening vpliva na LT1 in LT2. Zanimivo bi bilo raziskati povezavo med različnimi vrstami treninga in različnimi športi ter sposobnosti športnikov pri intenzivnejših obremenitvah. Pri

svoji raziskavi sem namreč v isto skupino športnikov vključila atlete, triatlonce in nogometaše, saj so me zanimali predvsem rezultati v teku. Plavalci bi najverjetneje prišli do drugačnih rezultatov, kljub enakemu naporu in številu ur treninga.

## 5 ZAKLJUČEK

V raziskavi sem ugotovila, da imajo športniki najvišjo sposobnost vzdrževanja visoke hitrosti pred začetkom nabiranja laktata v mišicah, da imajo rekreativci izboljšano toleranco laktata v primerjavi z nešportniki, vendar ni tako dobra kot pri športnikih, in da imajo nešportniki najslabšo sposobnost presnove laktata in se hitreje utrudijo. Redna vadba in trening vzdržljivosti pomagata izboljšati presnovo laktata, aerobno kapaciteto in sposobnost dalj časa vzdrževati visoke hitrosti brez hitrega kopičenja laktata. Rezultati raziskave so bili pričakovani in s tem lahko potrjujem svojo hipotezo. Na podlagi rezultatov raziskave lahko potrdim hipotezo, da se aerobni in anaerobni prag dvigujeta s količino in intenzivnostjo telesne aktivnosti. Športniki, ki trenirajo vsakodnevno, dosegajo LT1 in LT2 pri višjih hitrostih ter imajo boljšo presnovo laktata kot rekreativci in nešportniki. Rekreativni športniki sicer izkazujejo določene prilagoditve, vendar ne v tolikšni meri kot športniki, medtem ko nešportniki izkazujejo najnižjo sposobnost toleriranja in presnavljanja laktata. Rezultati raziskave so skladni s preteklimi študijami in potrjujejo pomen rednega treninga pri izboljšanju aerobne in anaerobne kapacitete. Nadaljnje raziskave bi lahko preučile vpliv različnih vrst treninga na razvoj teh pragov in ali obstajajo specifični treningi, ki so učinkovitejši pri višanju LT1 in LT2.

Delo na tej raziskavi me je izredno veselilo, saj sem imela priložnost preizkusiti znanstvene metode v praksi in poglobiti razumevanje fiziologije športa. V največji izziv mi je bilo organiziranje in izvedba testiranj, ter dogovarjanje s testiranci. Zavedam se določenih omejitev, kot so vremenske razmere med testiranjem in finančne omejitve pri merjenju laktata, ki bi jih bilo v prihodnje mogoče izboljšati z boljšimi pogoji in dodatnimi merilnimi metodami.

## 6 VIRI IN LITERATURA

1. Arcelli, E., Canova, R. 2001. Trening za maraton: znanstveni pristup. Gopal, Zagreb.
2. Billat, V.L., Flechet, B., Petit, B., Muriaux, G., Koralsztein, J.P. Interval training at VO<sub>2</sub>max: effects on aerobic performance and overtraining markers. *Med Sci Sports Exerc.* 1999, Jan; 31(1): 156-63.
3. Boyer R., 2005. Temelji biokemije. Študentska založba, Ljubljana.
4. Brooks, G.A. 1985. Anaerobic Threshold: review of the Concept and Directions for future Research. *Medicine and Science in Sports and Exercise*
5. Denadai, B.S., Ortiz, M.J., Greco, C.C., de Mello, M.T. Interval training at 95% and 100% of the velocity at VO<sub>2</sub> max: effects on aerobic physiological indexes and running performance. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2006, Dec; 31(6): 737-43
6. Faude, O., Kindermann, W., Meyer, T. 2009. Lactate threshold concepts. *Sports medicine*, 39(6), 469-490. Pridobljeno s spleten strani: <https://link.springer.com/article/10.2165/00007256-200939060-00003>
7. Hlača, J., 2011. Značilnosti športne vadbe rekreativnih tekačev v Sloveniji : diplomsko delo [na spletu]. Diplomsko delo. Ljubljana : J. Hlača. [Dostopano 31 oktober 2024]. Pridobljeno s spletne strani: <http://www.fsp.unilj.si/COBISS/Diplome/Diploma22057920HlacaJure.pdf>
8. Holloszy, J.O., Coyle, E.F. Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol.* 1984 Apr; 56(4): 831-8.
9. Koprivnjak, T. 1991. Proučevanje nekaterih funkcionalnih dimenzij športnikov pri cikličnih obremenitvah. Ljubljana : Športna zveza Slovenije.
10. Lindič, M. 2019, Določanje koncentracij hipoksantina in hipoksantin-gvanin-fosforibozil-transferaze v venski krvi tekačev na 100 in 400 m [na spletu]. Magistrsko

delo. [Dostopano 26 februar 2025]. Pridobljeno s spletne strani:

<https://repositorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?lang=slv&id=111800>

11. Maglischio, E.W. 2003. Swimming fastest. Champaign: Human Kinetics
12. Olbrecht, J. 2007. The Science of Winning, Brugge: F&G Partners
13. Pliberšek, T. 2011. Ugotavljanje zveze med spremembami vadbenih količin in rezultatov testov v eni tekmovalni sezoni tekača na srednje proge : diplomsko delo [na spletu]. Diplomsko delo. Ljubljana : T. Pliberšek.  
[Dostopano 31 oktober 2024]. Pridobljeno na spletni strani: <http://www.fsp.uni-lj.si/COBISS/Diplome/Diploma22056000PlibersekTomaz.pdf>
14. Škof, Tomažin, Dolenc, Marcina, Čoh, 2010. Atletski praktikum : didaktični vidiki poučevanja osnovnih atletskih disciplin. Ljubljana : Fakulteta za šport, Inštitut za šport
15. Weston, A.R., Myburgh, K.H., Lindsay, F.H., Dennis, S.C., Noakes, T.D., Hawley, J.A. Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by well-trained cyclists. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1997; 75(1): 7-13.

Viri slik:

Slika 1: <https://naukagovori.ba/atp-kriptoaluta-zivog-svijeta-disanje-ii-dio/>, 28.2.2025

Slika 2: povzeto po <https://biology.stackexchange.com/questions/76205/pyruvate-oxidation-where-did-the-hydrogen-come-from>, 28.2.2025

Slika 3: <https://www.kineziolog.si/laktat-vse-prej-kot-razlog-za-utrujenost/>, 26.2.2025

Slika 4: povzeto po <https://www.khanacademy.org/science/biology/cellular-respiration-and-fermentation/pyruvate-oxidation-and-the-citric-acid-cycle/a/pyruvate-oxidation>, 26.2.2025

Slika 5: <https://www.usaswimming.org/>, 26.2.2025

Slika 6: Olbrecht, J. (2007). *The Science of Winning*, Brugge: F&G Partners  
Slika 7: Povzeto po »Lactate threshold concepts«, avtorji Faude, O., Kindermann, W. in Meyer, T., 2009, *Sports medicine*, 39(6), str. 469-490.

Slika 8: Julius AI (2025, 22. februar). [Generirani grafi glede na dobljene rezultate in določitev aerobnega in anaerobnega pragu] <https://julius.ai/chat?id=9532819c-c07b-432f-bdae-3f12c3f1c077>

Slika 9: Julius AI (2025, 22. februar). [Generirani grafi glede na dobljene rezultate in določitev aerobnega in anaerobnega pragu] <https://julius.ai/chat?id=9532819c-c07b-432f-bdae-3f12c3f1c077>

Slika 10: Julius AI (2025, 22. februar). [Generirani grafi glede na dobljene rezultate in določitev aerobnega in anaerobnega pragu] <https://julius.ai/chat?id=9532819c-c07b-432f-bdae-3f12c3f1c077>

## 7 PRILOGE

### 7.1 SLIKOVNA DOKUMENTACIJA TESTIRANJ



*Slika 13: Tek testirancev (Ljubljana, 2025)*



*Slika 14: Utrujeni testiranci po testiranju (Ljubljana, 2025)*



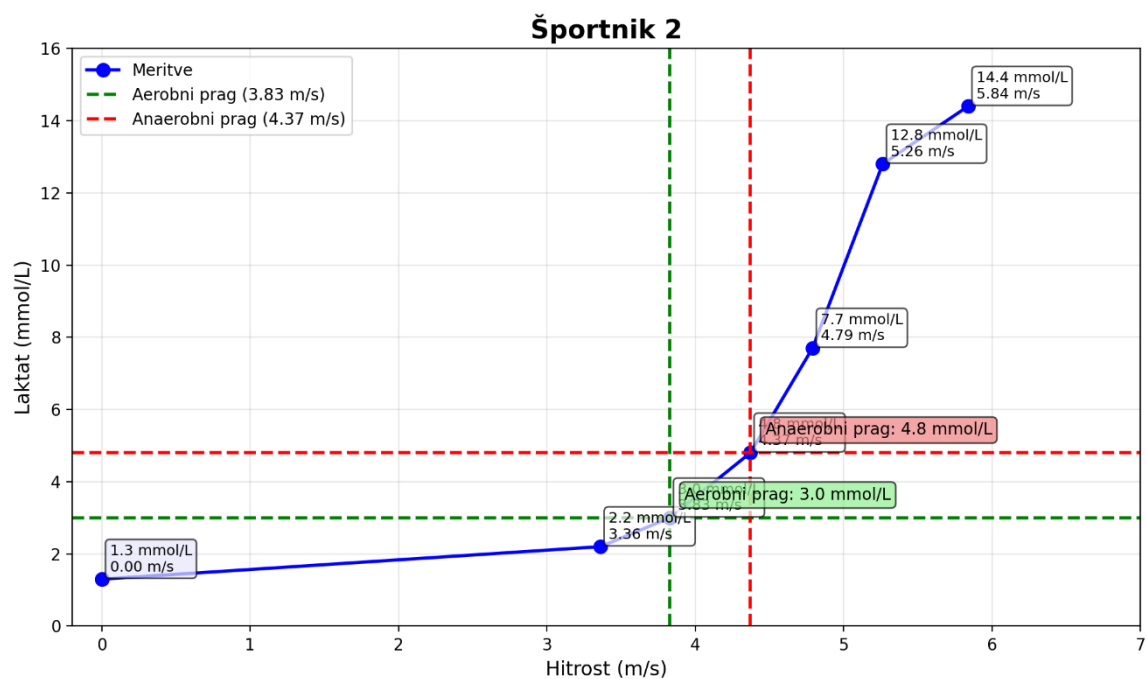
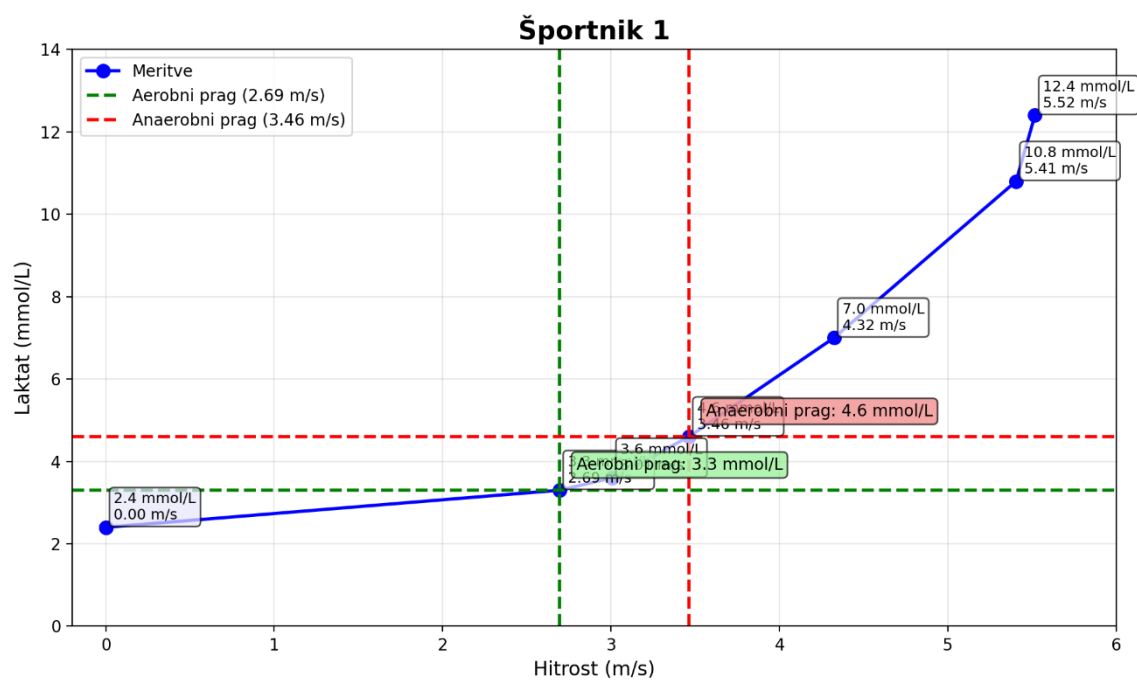
*Slika 15: Merjenje laktata (Ljubljana, 2025)*



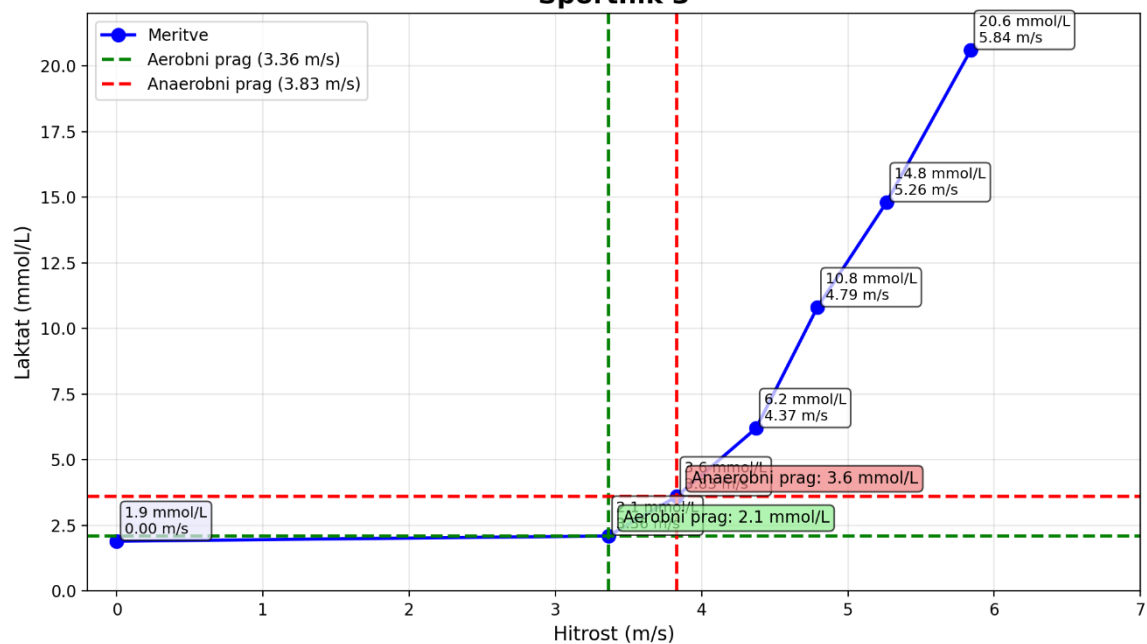
*Slika 16: Počivanje po testiranju (Ljubljana, 2025)*

## 7.2 GRAFI TESTIRANCEV

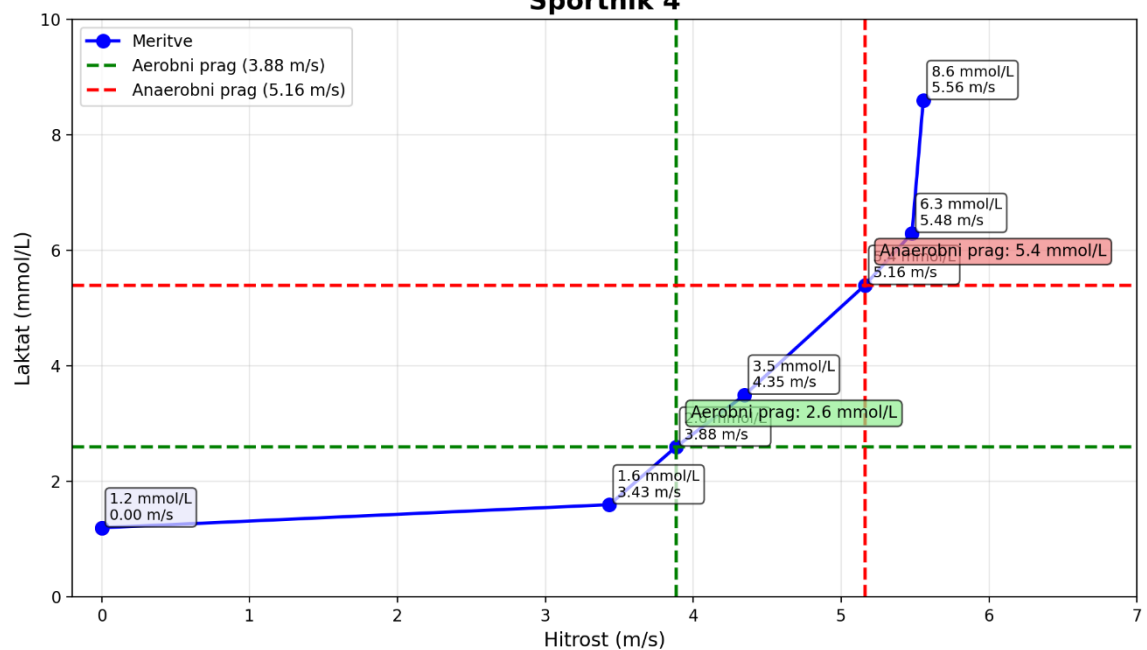
### 7.2.1 ŠPORTNIKI

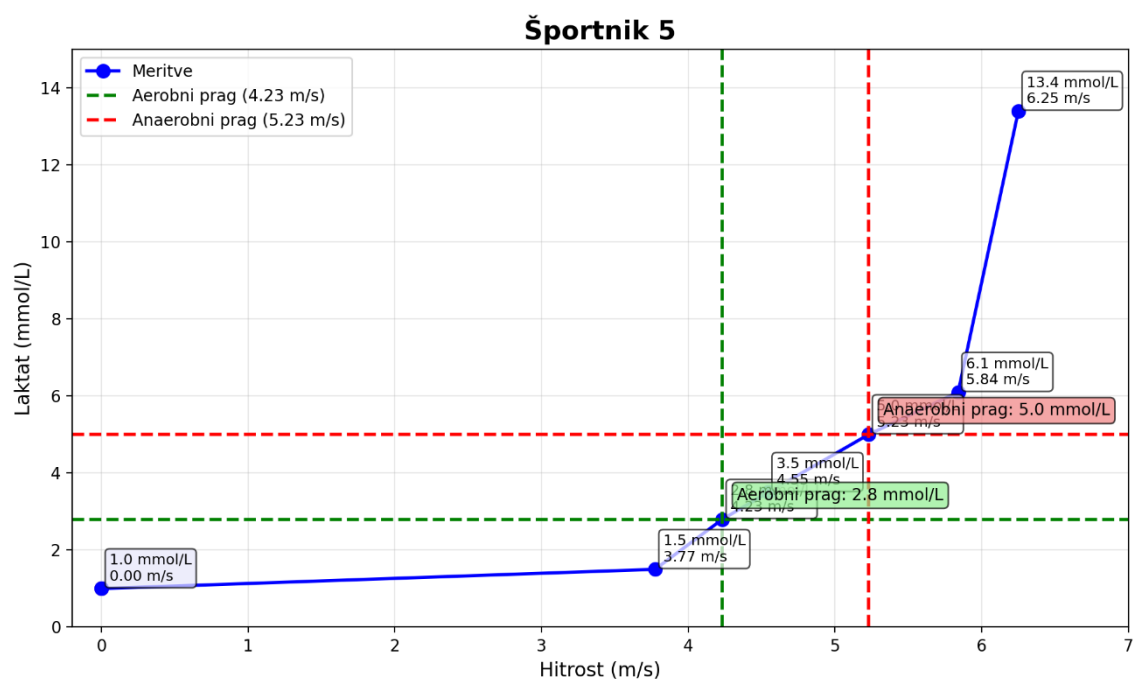


### Športnik 3

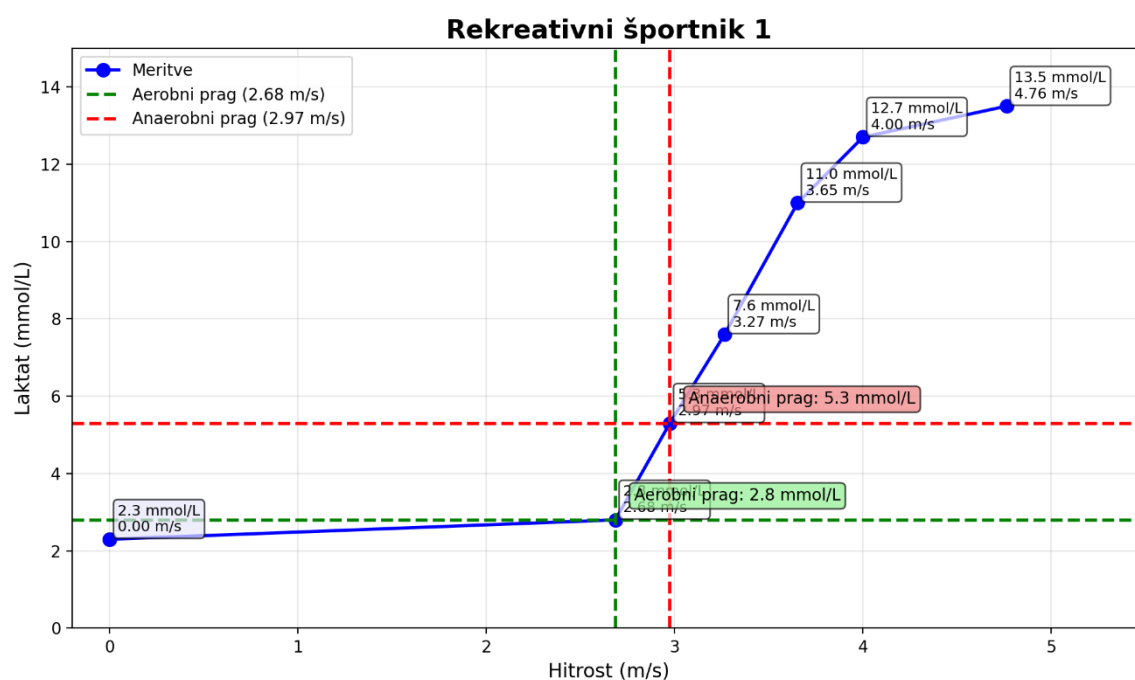


### Športnik 4

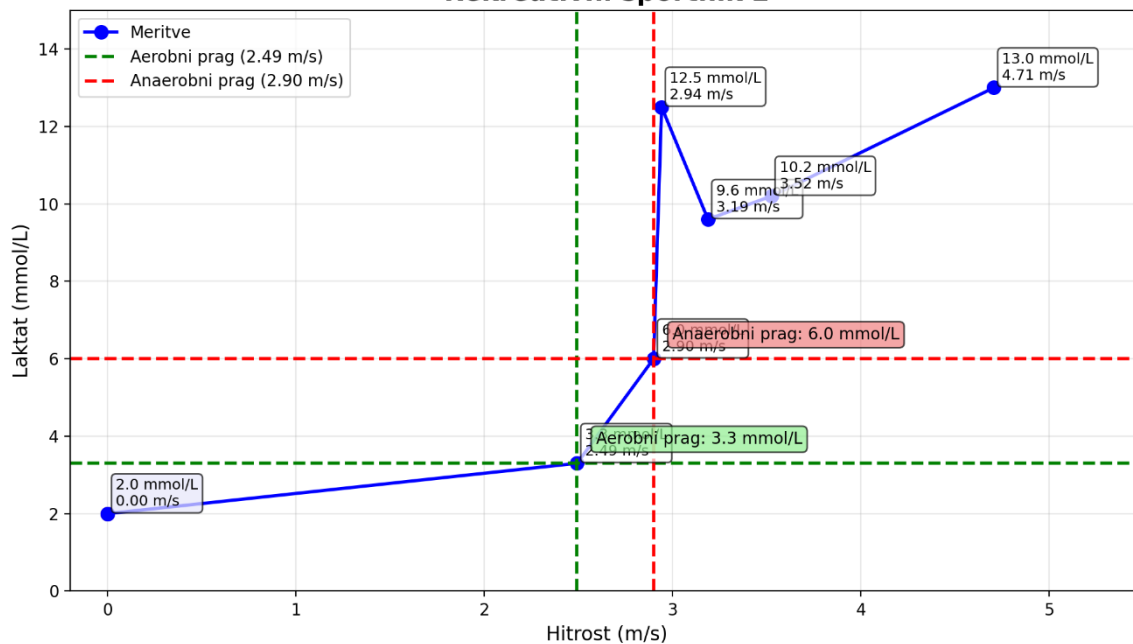




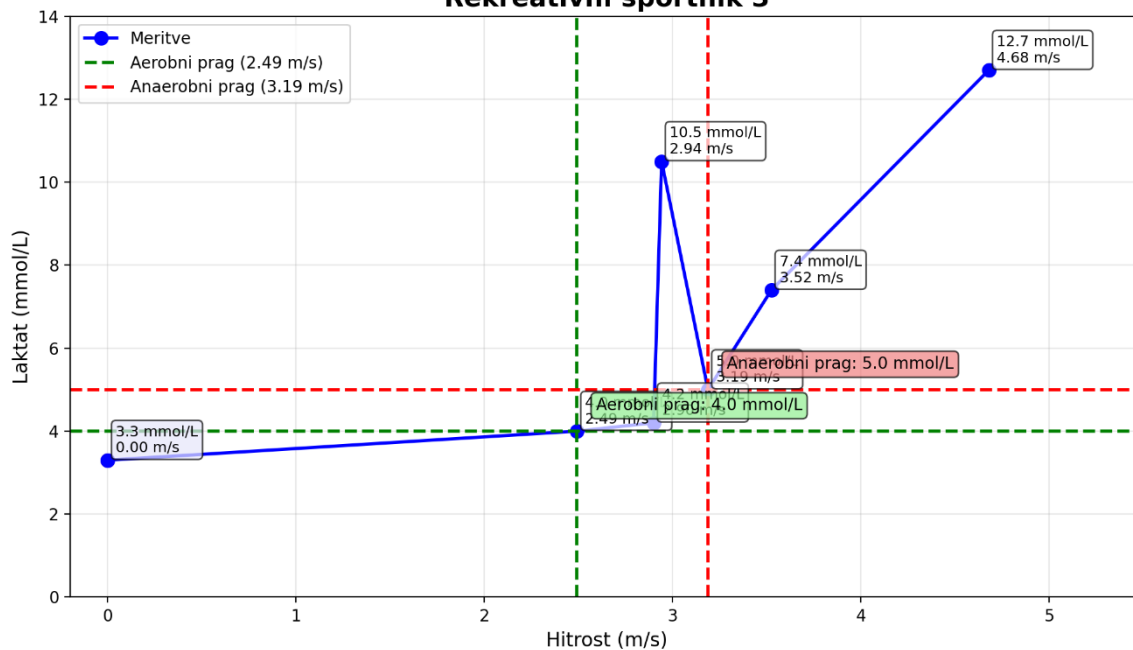
## 7.2.2 REKREATIVNI ŠPORTNIKI

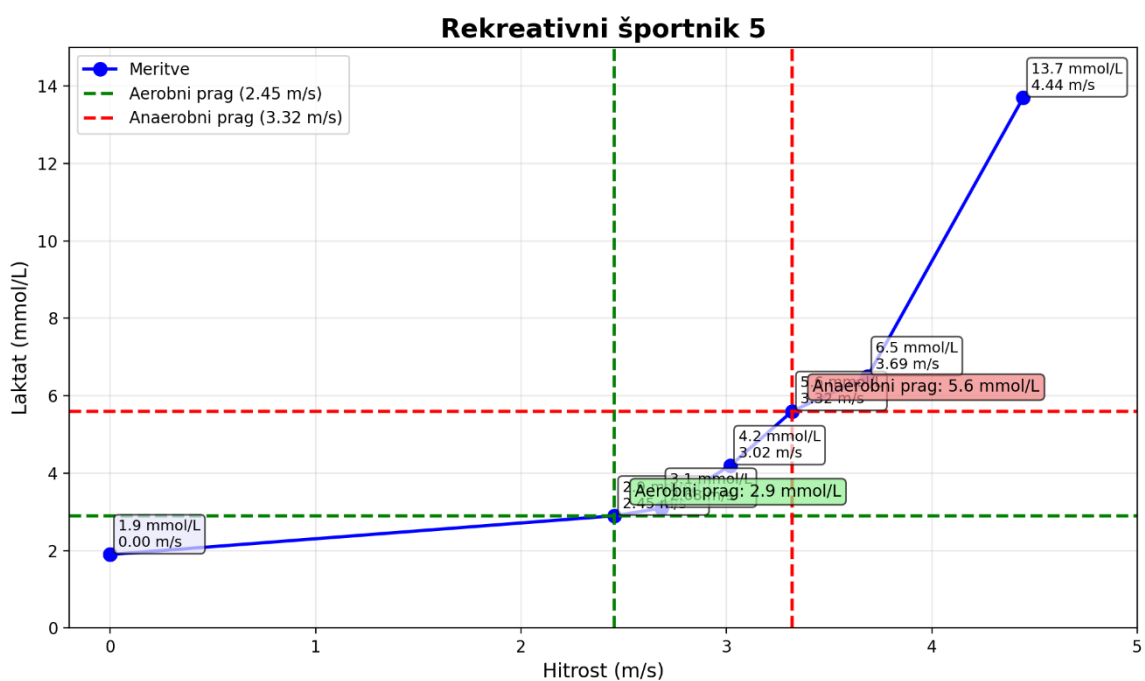
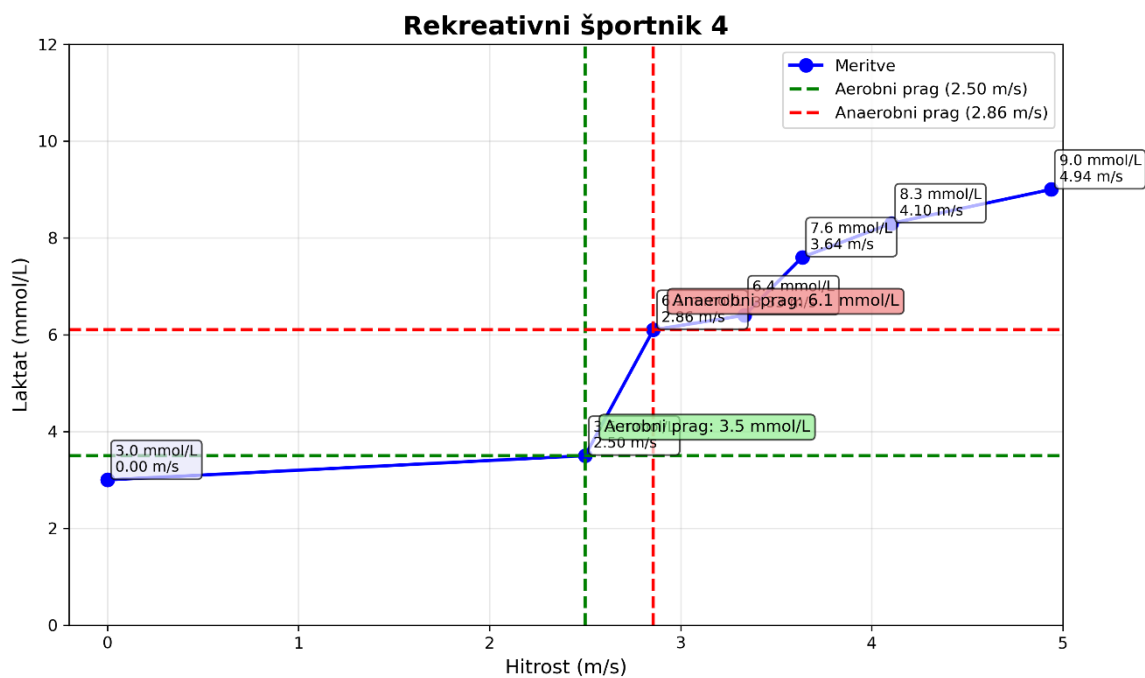


### Rekreativni športnik 2

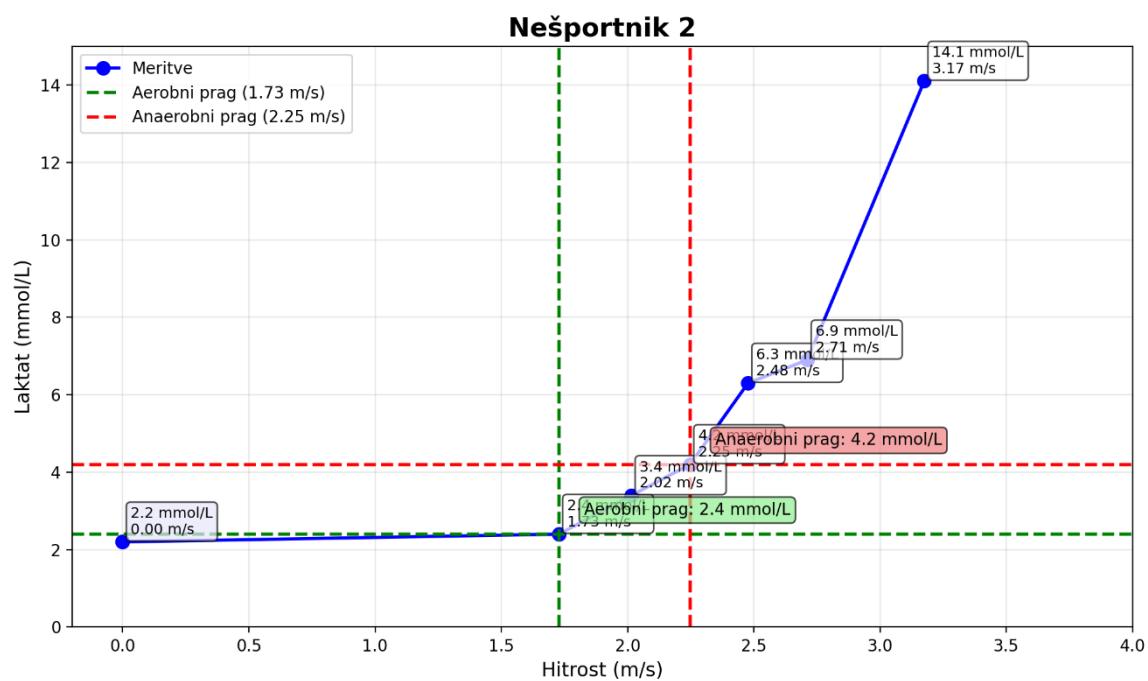
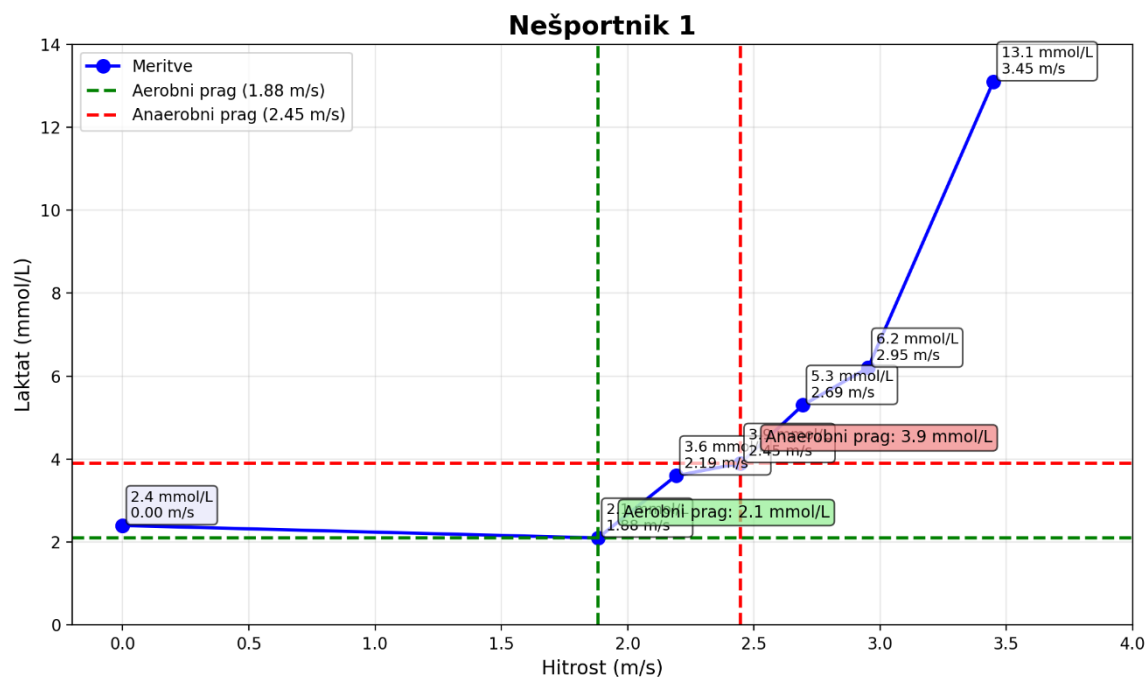


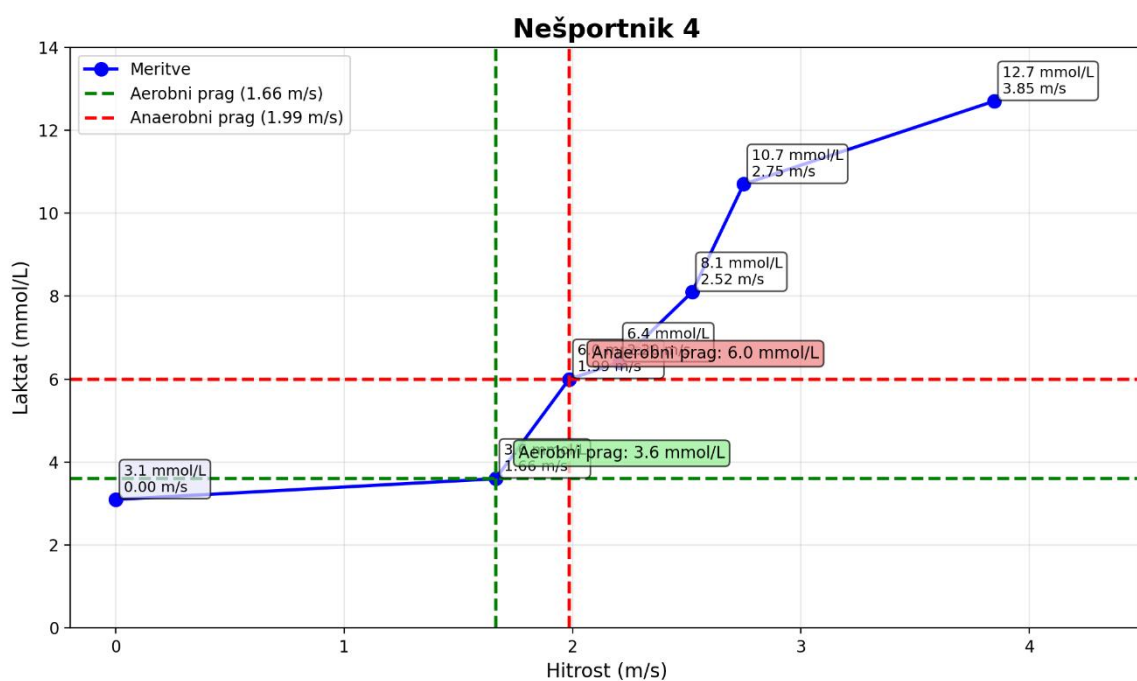
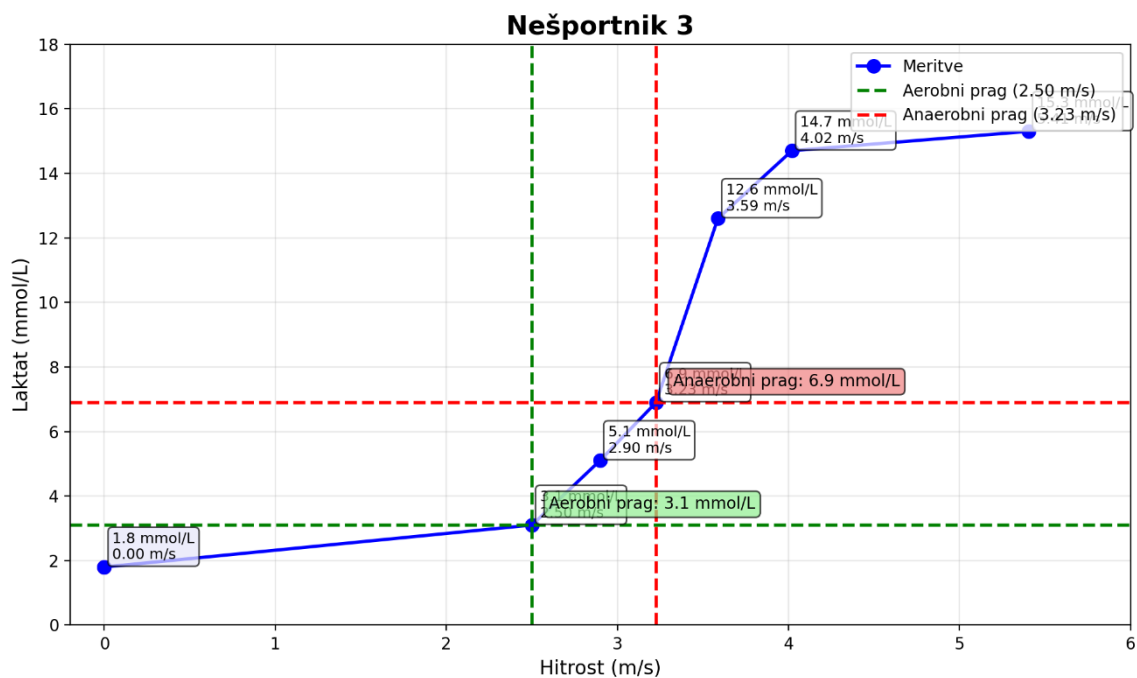
### Rekreativni športnik 3

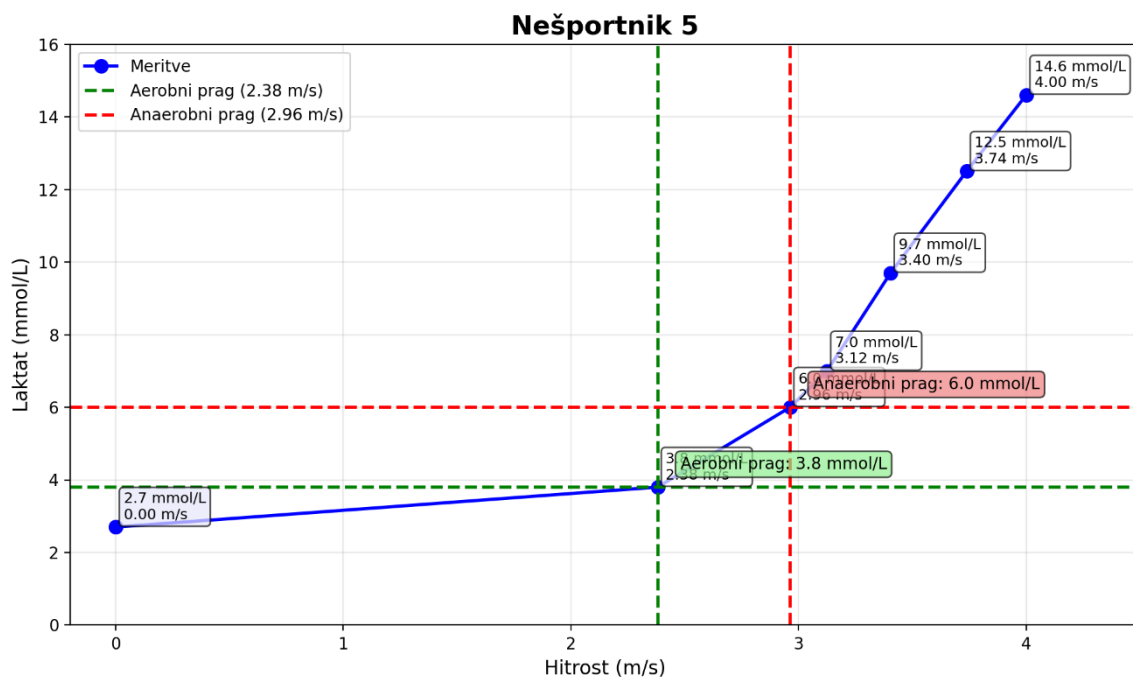




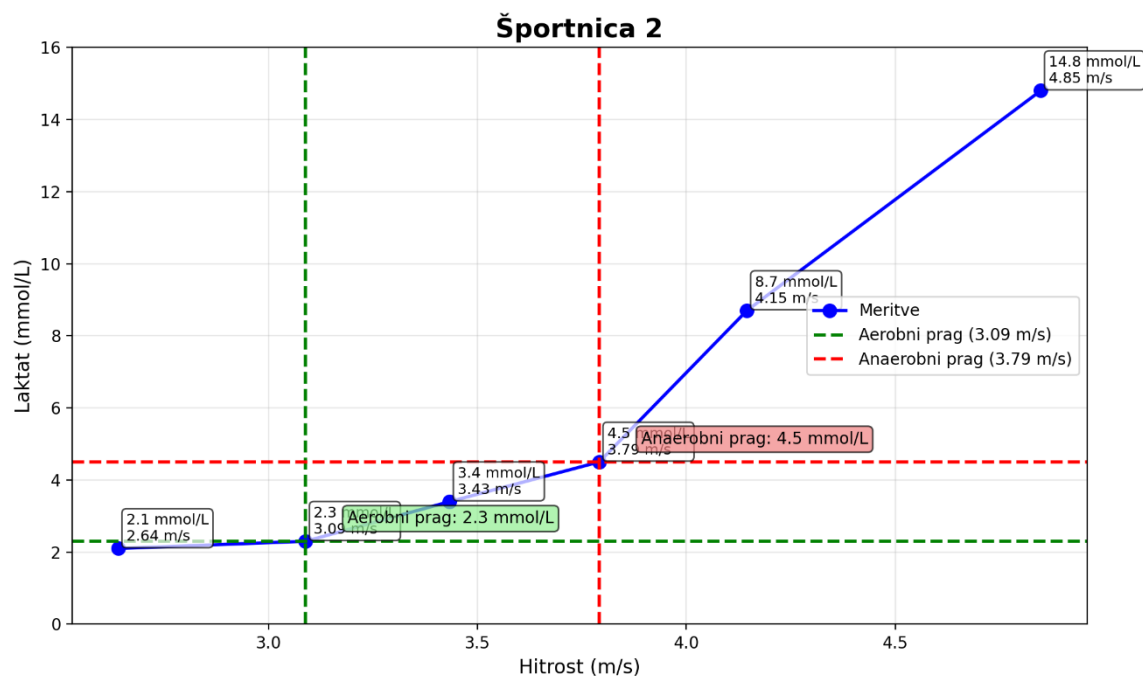
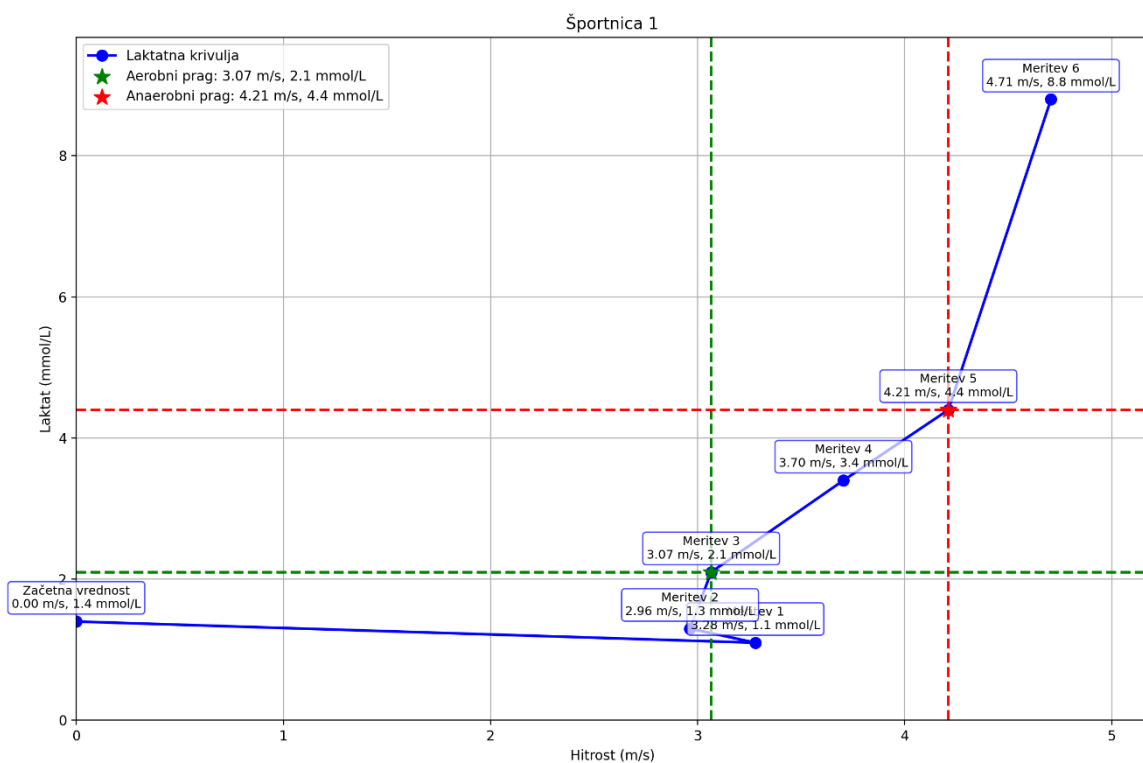
### 7.2.3 NEŠPORTNIKI

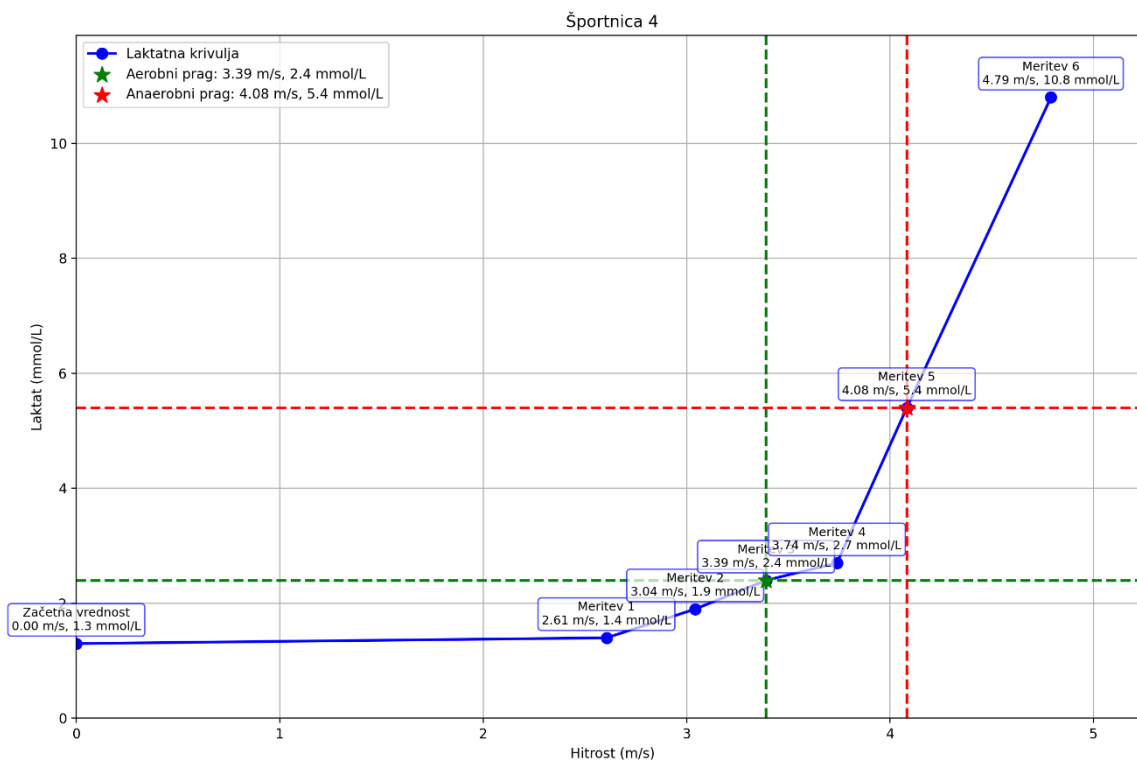
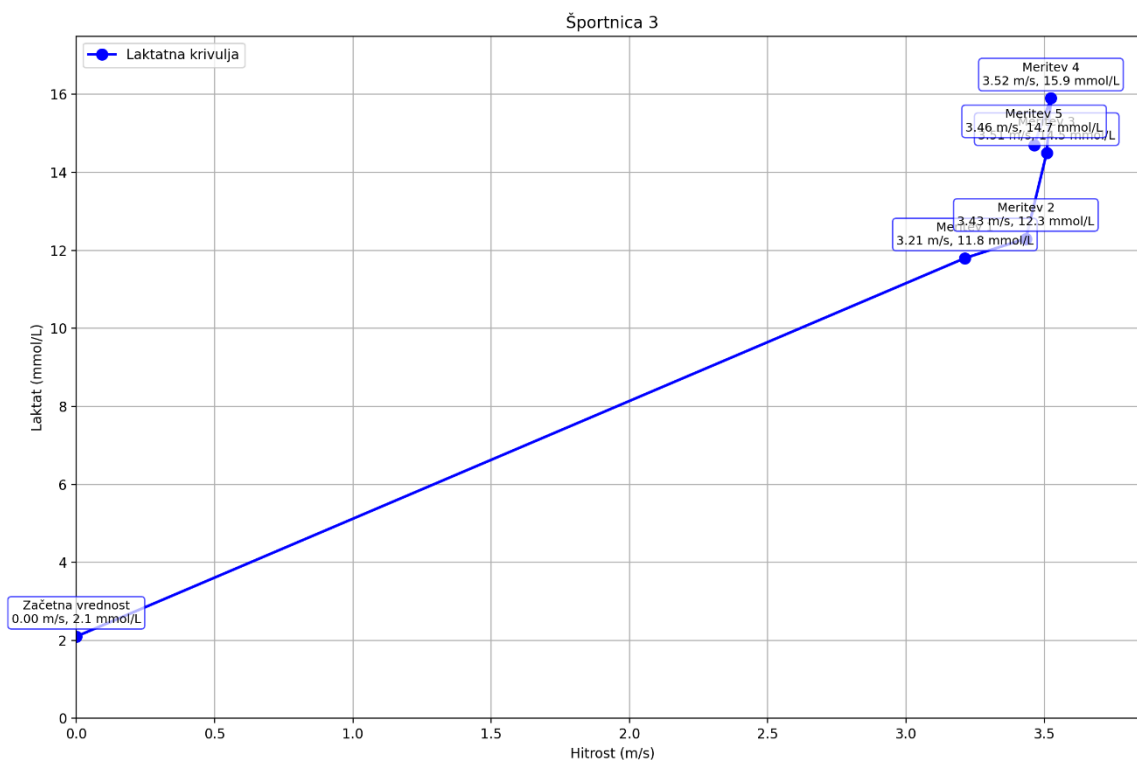


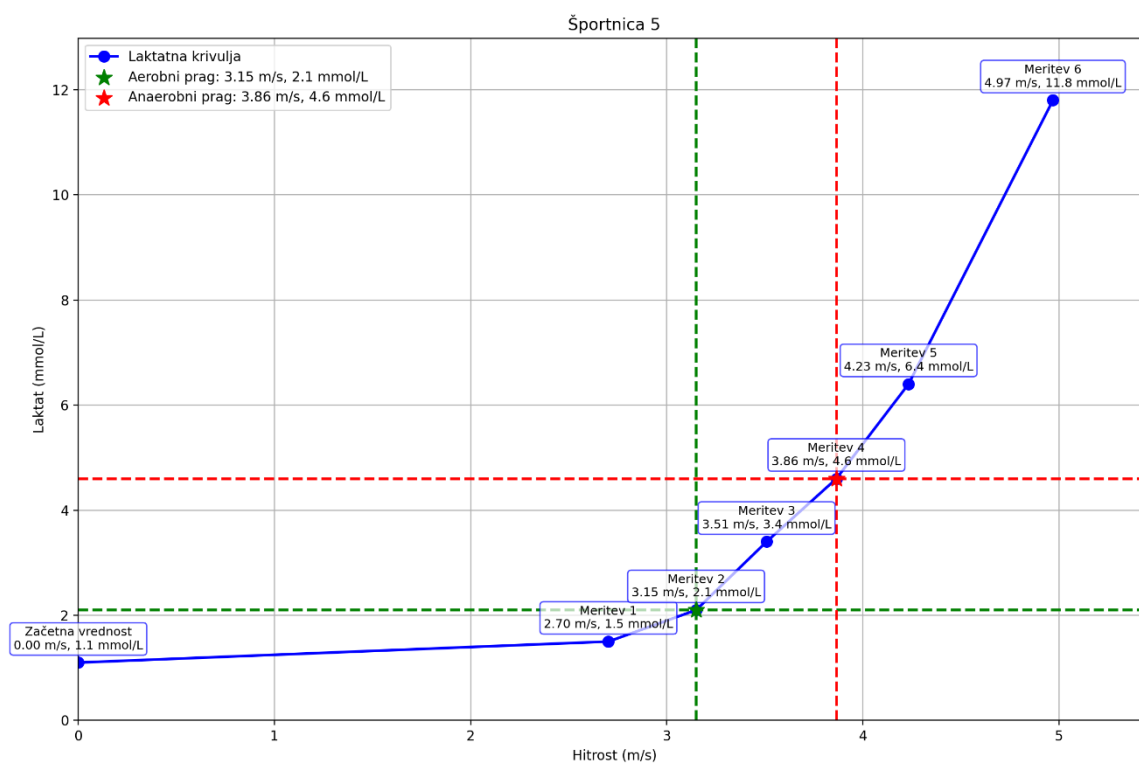




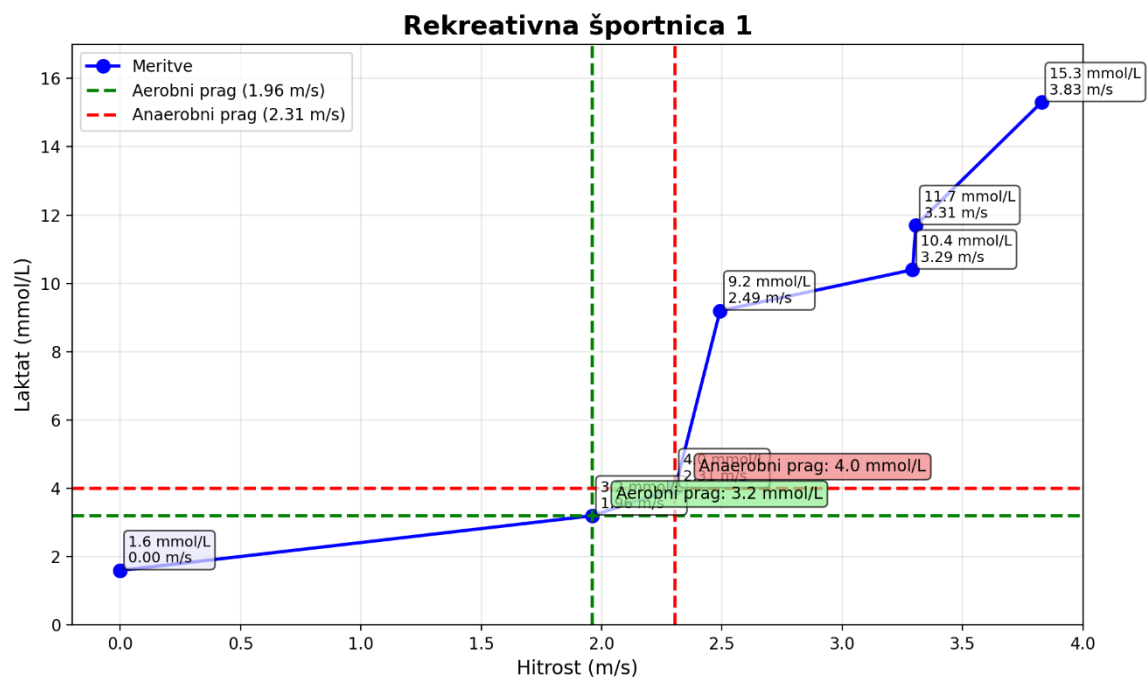
## 7.2.4 ŠPORTNICE

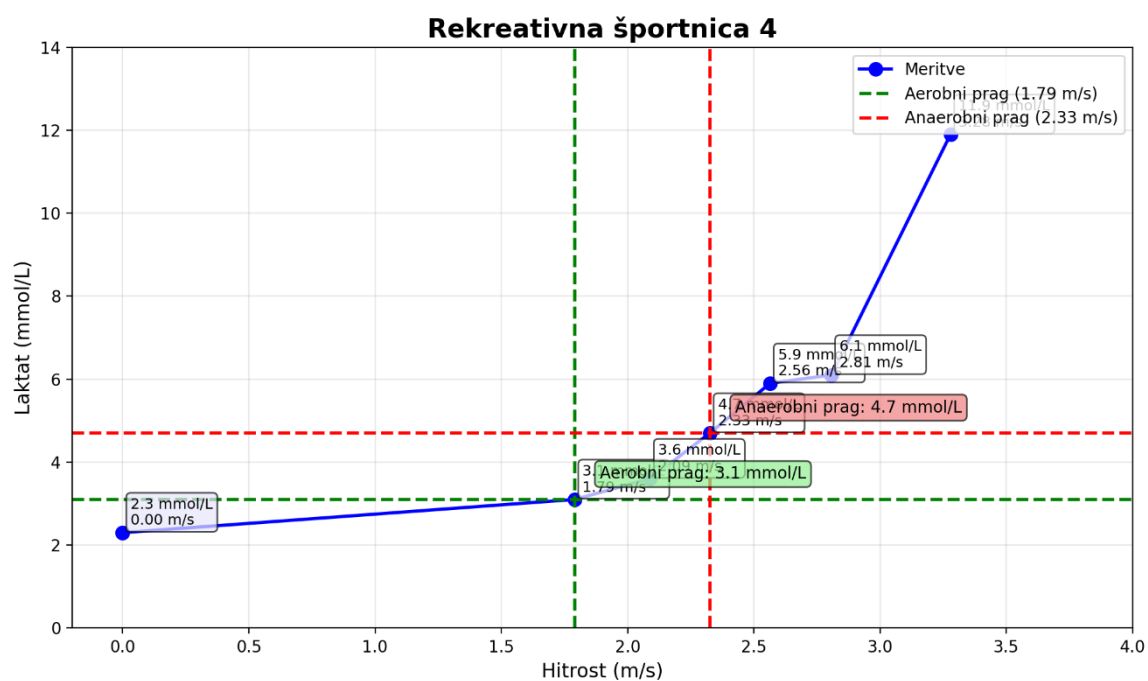
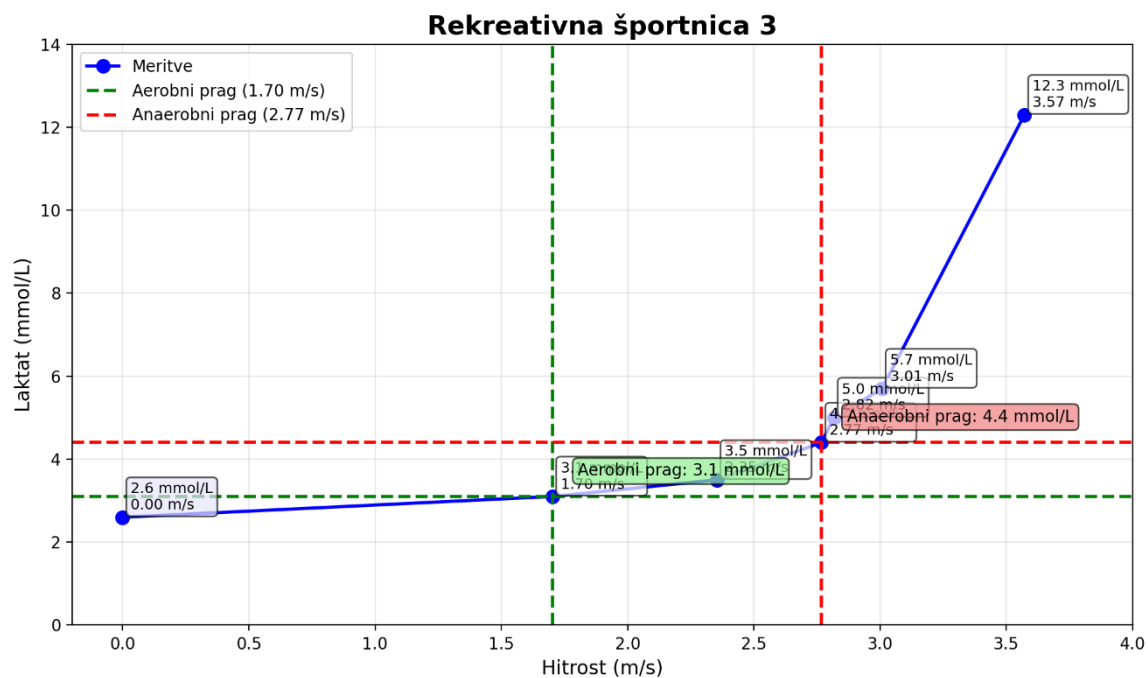


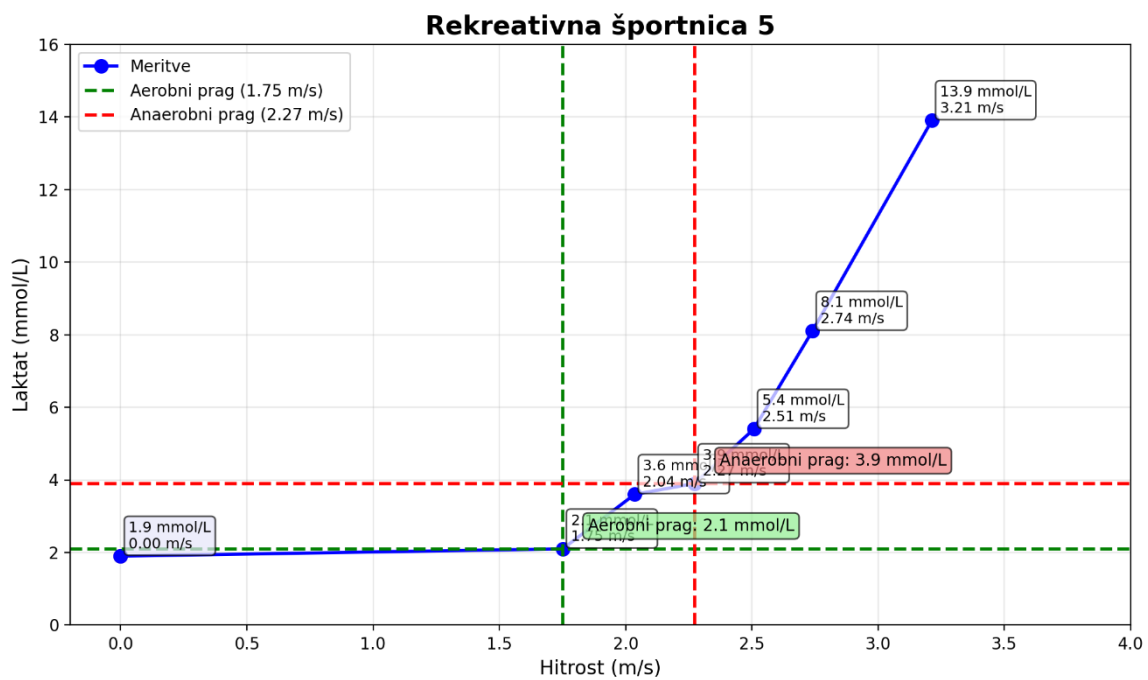




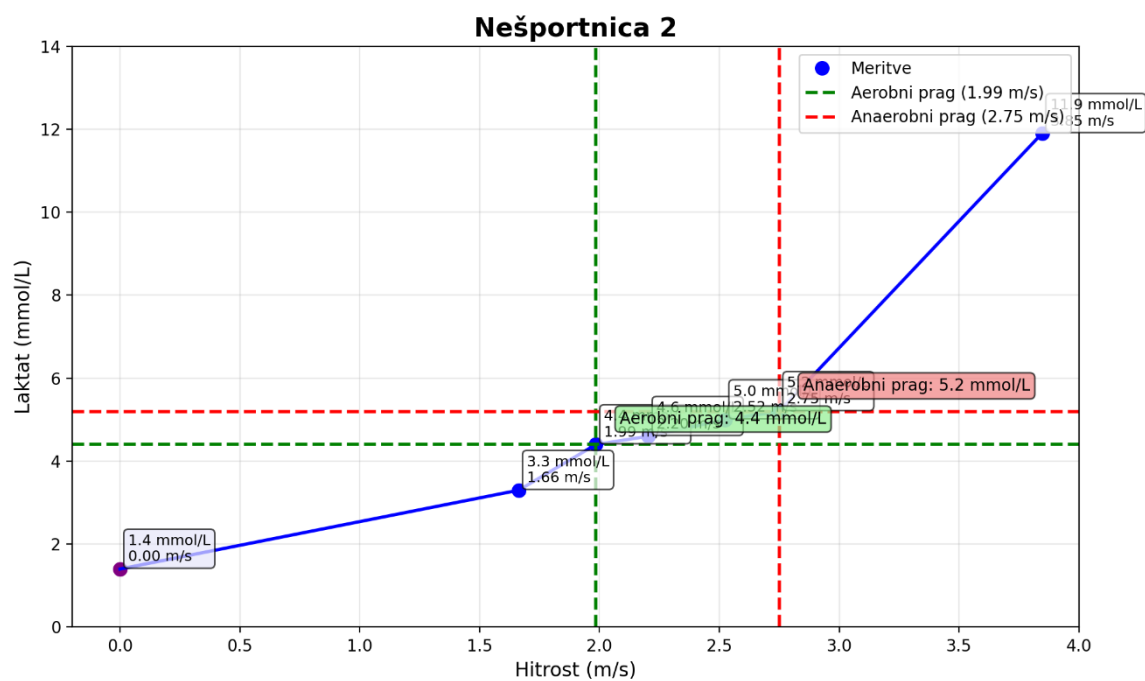
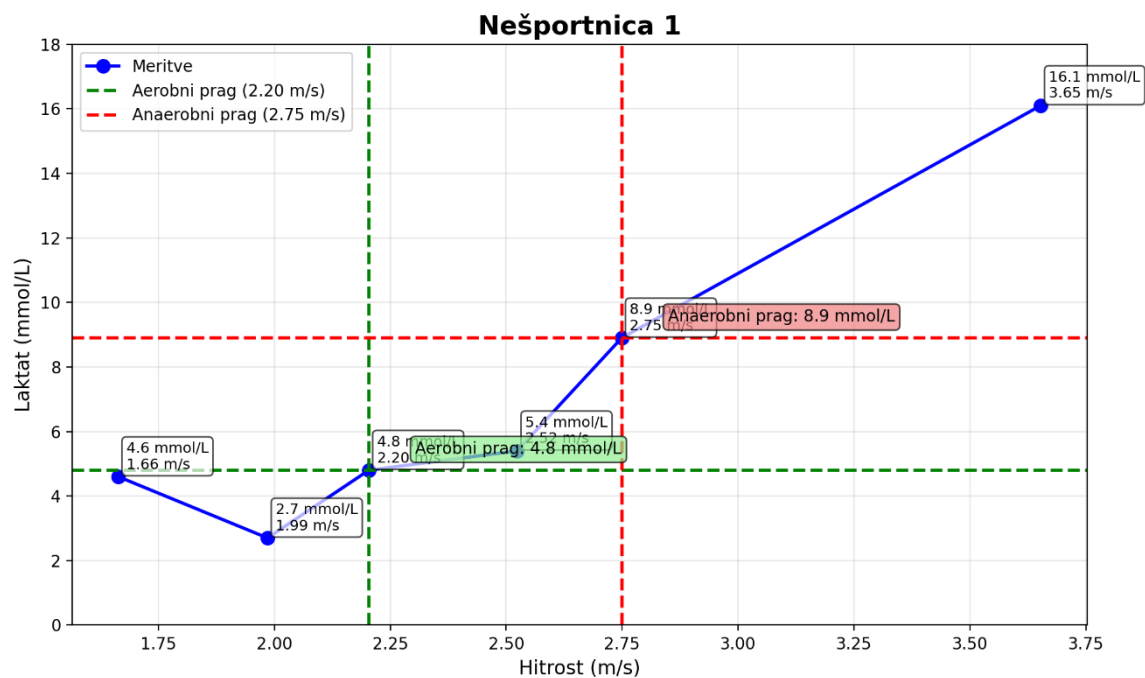
## 7.2.5 REKREATIVNE ŠPORTNICE



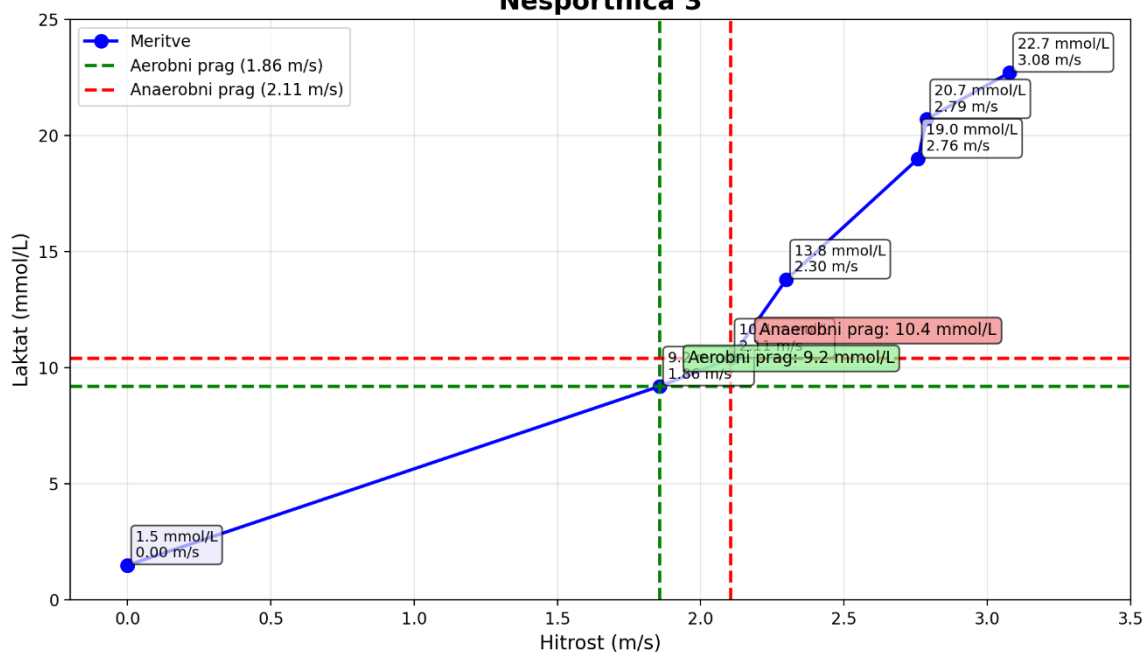




## 7.2.6 NEŠPORTNICE



### Nešportnica 3



### Nešportnica 4

