

# Struktura i funkcija ATP-sintaze

---

**Baranašić, Jurica**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2014**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Chemistry / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:182:849891>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-23**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Department of Chemistry, Osijek](#)



Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku

Odjel za kemiju

Preddiplomski studij kemije

Baranaši Jurica

# **Struktura i funkcija ATP-sintaze**

Završni rad

Mentor:

Elizabeta Has-Schön, prof. dr. sc.

Osijek, 2014.

**Sažetak:**

ATP-sintaza je kompleksni protein odgovoran za katalizu sinteze ATP-a i katalize hidrolize ATP-a. Nalazi se u svim organizmima, od bakterija do čovjeka. Građen je od dva dijela koji rotiraju,  $F_0$  i  $F_1$ .  $F_0$  dio je građen od  $a_2c_{10-15}$  podjedinica, ali može imati i još dodatnih podjedinica ovisno o organizmu.  $F_0$  dio se nalazi kod pozitivne strane (P), strana sa visokim elektrokemijskim potencijalom protona. U  $F_0$  dijelu se događa protok protona uz rotaciju c prstena.  $F_1$  dio je građen od  $\alpha_3\beta_3$ -prstena koji se rotira.  $F_1$  dio se također sastoji od  $\alpha$ -,  $\beta$ - i  $\gamma$ -podjedinice.  $F_1$  dio se nalazi kod negativne strane (N), strana sa niskim elektrokemijskim potencijalom protona. Sinteza i hidroliza ATP-a se događaju u podjedinici. U nekom trenutku svaka podjedinica se nalazi u različitoj konformaciji. Ovakav mehanizam rada ne postoji niti u jednom drugom biološkom sustavu. ATP-sintaza iako je mali protein vrlo je efikasan.

**Ključne riječi:** sinteza ATP-a, ATP-sintaza, hidroliza ATP-a, transport protona

**Abstract:**

ATP synthase is a complex protein. It catalyzes synthesis of ATP and also it catalyzes its hydrolysis. It is found in all organisms, from bacteria to man. It is built from two units that rotate,  $F_0$  and  $F_1$ .  $F_0$  consists of  $a_2c_{10-15}$  subunits, but it can also have other additional subunits, depending in which organism it is.  $F_0$  is situated on the positive side (P), side with a high electrochemical proton gradient. In  $F_0$  happens the rotational flow of protons.  $F_1$  is built from  $\alpha_3\beta_3$ -ring which rotates. It also consists of  $\alpha$ -,  $\beta$ - and  $\gamma$ -subunits.  $F_1$  is situated on the negative side (N), side with a low electrochemical proton gradient. Synthesis and hydrolysis happen in subunits. In any time of the synthesis or hydrolysis the three subunits have different conformations. This mechanism is not found in any other biological system. Although ATP synthase is a small protein it is highly efficient.

**Key words:** ATP synthesis, ATP synthase, ATP hydrolysis, proton transport

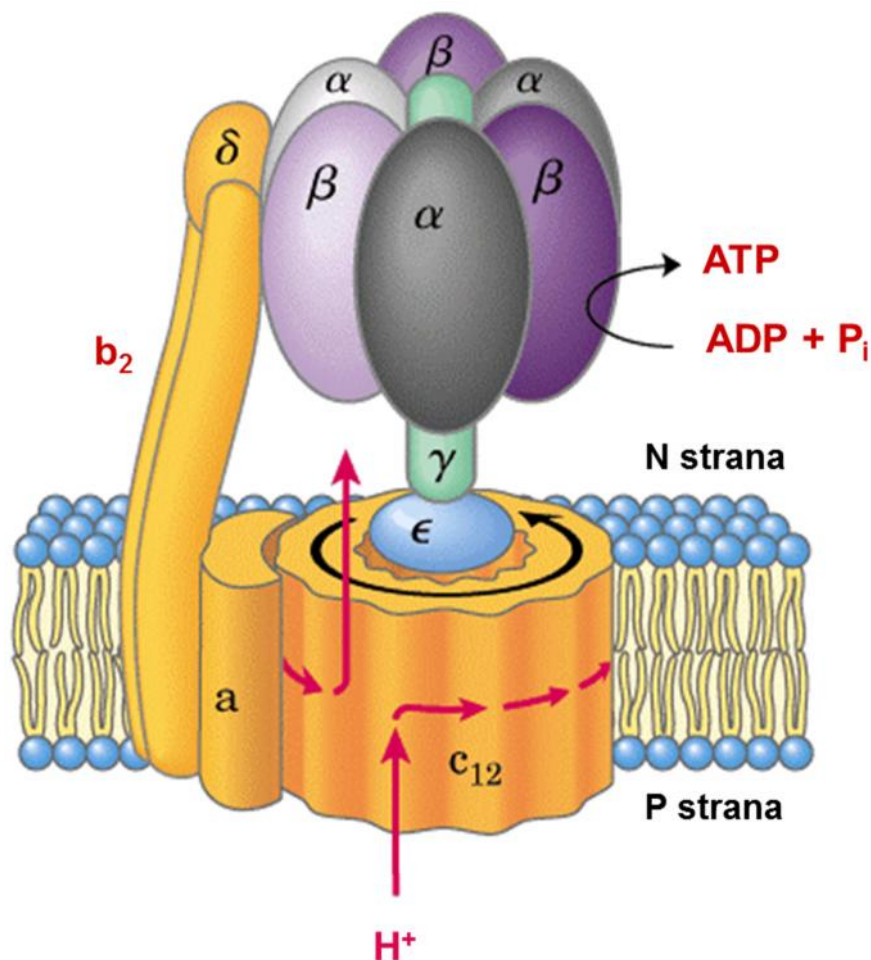
## Sadržaj

Sažetak.....	1
1. Uvod.....	3
2. Struktura ATP-sintaze .....	5
2.1. Struktura F <sub>0</sub> dijela.....	5
2.2. Struktura F <sub>1</sub> dijela.....	6
3. Funkcija ATP-sintaze.....	7
3.1. Funkcija F <sub>0</sub> dijela.....	7
3.2. Funkcija F <sub>1</sub> dijela.....	8
4. Zaključak.....	9
5. Literatura .....	10

## 1. Uvod

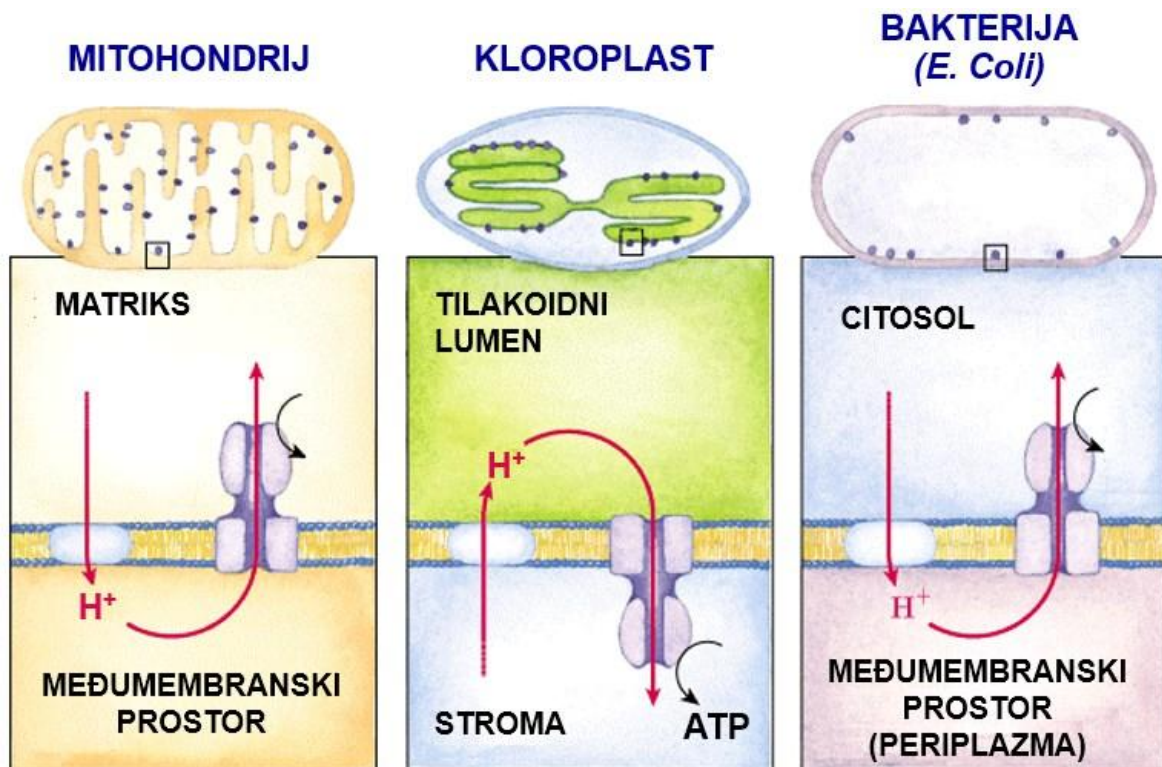
ATP-sintaza je proteinski kompleks koji sintetizira ATP u zadnjem koraku oksidativne fosforilacije i fotofosforilacije. Nalazi se kod svih organizama, od bakterija do čovjeka. Enzim također može katalizirati reakciju hidrolize ATP-a kada je elektrokemijski potencijal protona premalen.

ATP-sintaza je kompleksni enzim molekulske mase >500 kDa, sastoji se od dva rotirajuća motora,  $F_0$  i  $F_1$ .  $F_1$  dio je topljiv u vodi, i kada je odvojen od membranskog dijela pokazuje ATPaznu aktivnost.  $F_0$  je ugrađen u membrane, kroz njega se protoni vraćaju natrag u matriks.



Slika 1. Shematski prikaz ATP-sintaze i njenih dijelova [5]

$F_0$  dio se nalazi kod pozitivne strane (P), strana sa visokim elektrokemijskim potencijalom protona.  $F_1$  dio se nalazi kod negativne strane (N), strana sa niskim elektrokemijskim potencijalom protona. U mitohondriju je P strana u međumembranskom prostoru, a N u matriksu. Kod bakterija je P strana vani (periplazma gram-negativnih bakterija), a N strana u citoplazmi. U kloroplastu je P strana u tilakoidnom lumenu, a N na strani strome [4].



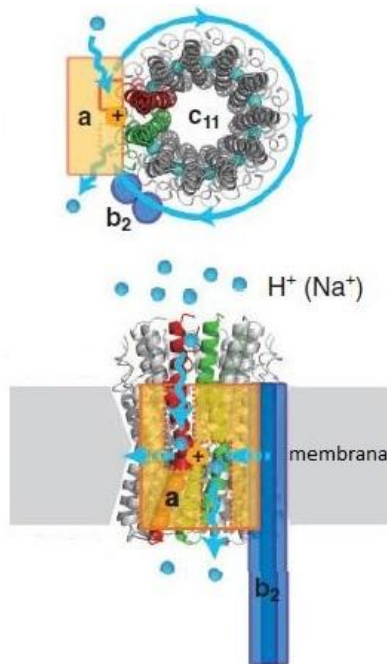
Slika 2. Prikaz orijentacije ATP-sintaze kod različitih organizama [5]

## 2. Struktura ATP-sintaze

### 2.1. Struktura F<sub>0</sub> djela

F<sub>0</sub> dio je najčešće građen od *a*, dvije *b* i 10-15 *c* podjedinica, te se stoga još često označava *ab<sub>2</sub>c<sub>10-15</sub>*. Broj *c* podjedinica varira između vrsta, tako npr. svinjska mitohondrijska ATP-sintaza ima 8 podjedinica, dok kvasac, *Escherichia coli* i termofilni *Bacillus PS3* imaju 10 *c* podjedinica [1]. Mitohondrijski F<sub>0</sub> dio još dodatno sadrži *d*, *e*, *f*, OSCP, F6 i A6L podjedinice [1]. Najbolje su istražene strukture bakterijskih ATP-sintaza, gdje su F<sub>0</sub> dijelovi građeni samo od *a*, *b* i *c* podjedinice.

F<sub>0</sub> dio ugrađen je u membranu. *c* podjedinice se slažu jedna pokraj druge te tako tvore prsten, podjedinica ima strukturu ukosnice, građene od dvije  $\alpha$ -zavojnice povezane okretom. Prsten je građen tako da su C-terminalni dijelovi i okreti okrenuti prema F<sub>0</sub> dijelu (prema citoplazmi kod bakterija). *b* podjedinica je homodimer koji sadrži N-terminalnu transmembransku domenu, dok se ostatak proteže prema F<sub>1</sub> dijelu. Tako su F<sub>0</sub> i F<sub>1</sub> dijelovi povezani preko *b* podjedinice F<sub>0</sub> dijela, koji ih drži zajedno da se ne odvoje. To na građena *a* podjedinice još nije istražen [1]. Ona sadrži 2 kanala koji su važni za funkciju F<sub>0</sub> dijela.

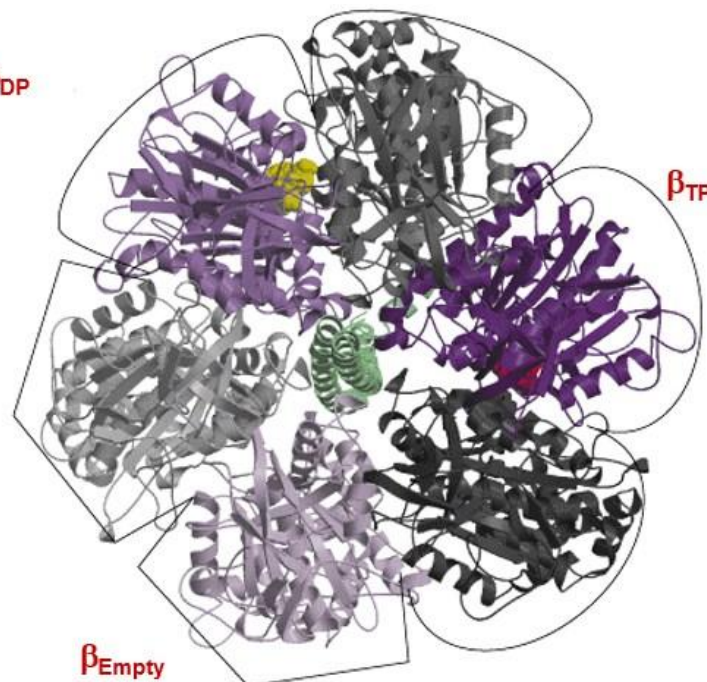


Slika 3. Prikaz F<sub>0</sub> dijela. Gore: prikaz F<sub>0</sub> dijela gledan odozgo, dolje: F<sub>0</sub> gledan sa strane [1]

## 2.2. Struktura F<sub>1</sub> djela

Bakterijski F<sub>1</sub> dio je građen od 3  $\alpha$  - i 3  $\beta$  -podjedinica. 3  $\alpha$  - i 3  $\beta$  -podjedinice tvore heksamerni rotor, gdje su  $\alpha$  - i  $\beta$  -podjedinice poredane u alternirajućem redoslijedu. N-terminalne domene  $\alpha$  - i  $\beta$  -podjedinica na donjoj strani 3  $\alpha$  - 3  $\beta$  -prstena tvore šupljinu u koju je smješten dio  $\beta$  -podjedinice, dok se ostatak  $\beta$  -podjedinice proteže prema F<sub>0</sub> dijelu. C-terminalni dijelovi  $\alpha$  -podjedinica su u kontaktu sa  $\beta$  -podjedinicom [1].  $\beta$  -podjedinica se također okreće tijekom katalize i to uvijek u smjeru suprotnom od smjera kazaljke na satu, kada se gleda sa F<sub>0</sub> strane.  $\beta$  -podjedinica se veže na  $\alpha$  -podjedinicu i služi kao poveznica između F<sub>0</sub> i F<sub>1</sub> dijelova.

$\beta$  -podjedinice se razlikuju u konformaciji i katalitičkom stanju tijekom katalize. Jedna podjedinica veže ATP, druga ADP, a treća nema ništa vezano na sebe, stoga su imenovane ovako: TP, DP i Empty [1]. Dok TP i DP imaju zatvorenu konformaciju, gdje je nukleotid vezan unutra u aktivno mjesto, Empty ima otvorenu konformaciju, kako bi nukleotid mogao doći do aktivnog mjesta, odnosno napustiti ga. Drugi način označavanja  $\beta$  -podjedinica je sa slovima L, T i O.  $\beta$  -podjedinica može biti u L konformaciji kada ima vezan ADP i P<sub>i</sub>, u T konformaciji kada ima vezan ATP, i u O konformaciji kada se veže ili otpušta nukleotid [2][3].



Slika 4. Prikaz F<sub>1</sub> djela sa N-strane membrane [5]

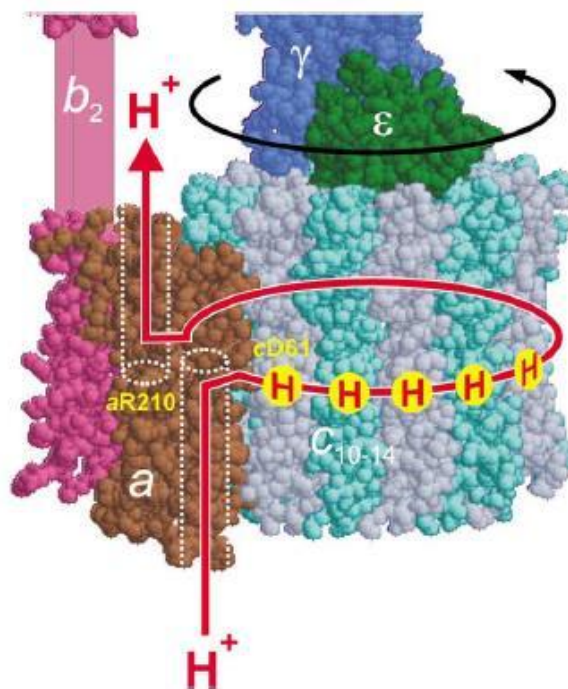


### 3. Funkcija ATP-sintaze

#### 3.1. Funkcija F<sub>0</sub> dijela

F<sub>0</sub> dio služi kao kanal za protok protona. c-prsten rotira tokom protoka protona, uz ab<sub>2</sub> podjedinice i to u smjeru suprotnom od a-pdjedinice F<sub>1</sub> dijela. Najviše prihvaeni model translokacije protona je takozvani model dva-kanala. Taj model pretpostavlja da a-podjedinica sadržava dva polukanala, koja dosežu do polovice membrane, ali imaju otvore sa razli itih strana membrane. Jedan kanal je otvoren sa me umembranske strane, a drugi sa citoplazmatske strane, odnosno prema matriksu mitohondrija.

Proton ulazi u polukanal sa me umembranske strane. Kada do e do kraja tog polukanala, on se veže na aspartat (glutamat kod I. tartaricus F<sub>0</sub>), koji se nalaza na sredini c podjedinice [1]. Time proton neutralizira negativni naboj bo nog lanca asprtata (glutamata), te je c podjedinici omogu ena rotacija oko lipidnog dvosloja, koji je neutralan. U isto vrijeme susjedna c podjedinica se vra a iz dvosloja lipida sa druge strane, i predaje proton drugom polukanalu. Taj polukanal ima hidrofilno okruženje koje poti e deprotonizaciju c podjedinice. Proton se zatim otpušta u citoplazmu, odnosno matriks u mitohondriju. Kada je jedan kanal otvoren drugi je zatvoren.



Slika 5. Prikaz F<sub>0</sub> dijela i protok protona kroz nj. [2]

### 3.2. Funkcija F<sub>1</sub> dijela

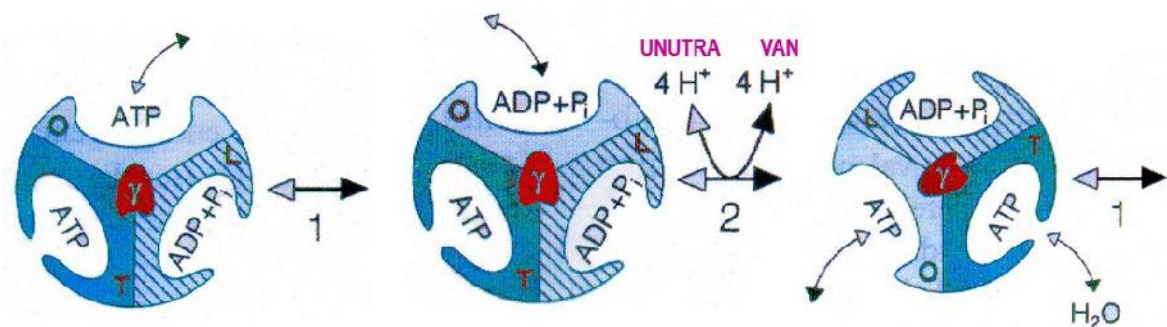
Na F<sub>1</sub> dijelu se događaju sinteza i hidroliza ATP-a. Sinteza ATP-a se događa u 3 koraka, a pri svakom koraku se mijenja konformacija. Ti koraci su:

- I. vezanje ADP-a i P<sub>i</sub>
- II. sinteza ATP-a
- III. otpuštanje ATP-a

U nekom trenutku, svaka  $\beta$ -podjedinica može biti u različitoj konformaciji (L, T i O). Rotacijom  $\beta$ -podjedinice dolazi i do rotacije  $\gamma$ -podjedinice pri čemu one mijenjaju konformaciju.

$\beta$ -podjedinica u O konformaciji može vezati ATP i P<sub>i</sub>.  $\beta$ -podjedinica rotira kompleks za 120°, pri čemu ta  $\beta$ -podjedinica prelazi iz O konformaciju u L konformaciju. Daljnjom rotacijom dolazi do sinteze ATP-a, te promjene konformacije  $\beta$ -podjedinice iz L u T. Daljnjom rotacijom za 120° dolazi do otpuštanja ATP-a a  $\beta$ -podjedinica se natrag vraća u O konformaciju, kako bi se ciklus dalje mogao provoditi. ATP i ADP kompleksi su stabilizirani Mg<sup>2+</sup> ionom.

$\beta$ -podjedinica ima ulogu endogenog inhibitora da ne bi došlo do konzumacije ATP-a. Ona može prije i iz zatvorene konformacije u produženu čime blokira rotaciju  $\beta$ -podjedinice i time se zaustavlja hidroliza ATP-a.



Slika 6. Shematski prikaz sinteze ATP-a. Prikazane su samo  $\beta$ -podjedinice, njihova rotacija i konformacijska promjena, te rotacija  $\gamma$ -podjedinice [4].

#### 4. Zaključak

ATP-sintaza je proteinski kompleks koji katalizira sintezu i hidrolizu ATP-a. Nalazi se u svim organizmima. Građen je od dva dijela koja rotiraju,  $F_0$  i  $F_1$ .  $F_0$  dio je najčešće građen od  $a$ , dvije  $b$  i 10-15  $c$  podjedinica, može sadržavati još dodatne podjedinice. U  $F_0$  dijelu se događa protok protona, koji putuju kroz dva polukanala i prsten građen od  $c$  podjedinica.  $F_1$  dio je građen od  $3\alpha$  i  $3\beta$  -podjedinica.  $3\alpha$  i  $3\beta$  -podjedinice tvore heksamerni rotor.  $c$  -podjedinica služi kao poveznica između  $F_0$  i  $F_1$  dijela. Na  $c$  -podjedinicama se događa sinteza i hidroliza ATP-a, svaka od tih  $c$  -podjedinica se u nekom trenutku nalazi u drugoj konformaciji. Ovaj protein ima jedinstven mehanizam među biološkim sustavima, te je vrlo efikasan.

## 5. Literatura

- [1] D. Okuno, R. Iino and H. Noji, *Rotation and structure of  $F_0F_1$ -ATP synthase*, JB Review, 2011.
- [2] J. Weber, A. E. senior, *ATP synthesis driven by proton transport in  $F_1F_0$ -ATP synthase*, FEBS, 2003.
- [3] J. M. Berg, J. L. Tymoczko and L. Stryer, *Biochemistry*, 7th edition, 2012. (p.563.-568.)
- [4] E. Has-Schön, *Biokemijske teme: oksidacijska fosforilacija, digitalni udžbenik*, Pedagoški fakultet Osijek, 2002.
- [5] Nelson D.L. i Cox M.M., *Lehninger Principles of Biochemistry*, 3<sup>rd</sup> Edition, Worth Publishers, New York, 2000.