



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**

**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**Gerda Zelenkaitė**

**ENTROPIJOS IR INFORMACIJOS KITIMŲ DĒSNINGUMAI  
GYVUOSE ORGANIZMUOSE**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

prof.habil.dr. A. Kopustinskas

**KAUNAS, 2015**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS FAKULTETAS**  
**ELEKTRONIKOS INŽINERIJOS KATEDRA**

**ENTROPIJOS IR INFORMACIJOS KITIMŲ DĖSNINGUMAI**  
**GYVUOSE ORGANIZMUOSE**

Baigiamasis magistro projektas  
Biomedicininė inžinerija (621H16001)

**Vadovas**

(parašas) prof.habil.dr. A. Kopustinskas

(data)

**Recenzentas**

(parašas)

(data)

**Projektą atliko**

(parašas) G. Zelenkaitė

(data)

**KAUNAS, 2015**



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

(Fakultetas)

GERDA ZELENKAITĖ

(Studento vardas,pavardė)

BIOMEDICININĖ INŽINERIJA, 621H16001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Entropijos ir informacijos kitimų dėsningumai gyvuose organizmuose“

**AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA**

20 15 m. Gegužės 29 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Gerdos Zelenkaitės** baigiamasis projektas tema „Entropijos ir informacijos kitimų dėsningumai gyvuose organizmuose“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

\_\_\_\_\_  
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

\_\_\_\_\_  
(parašas)

Zelenkaitė G. Entropijos ir informacijos kitimų dėsningumai gyvuose organizmuose: Biomedicininės inžinerijos magistro baigiamasis projektas / vadovas prof.habil.dr.A.Kopustinskas; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, elektronikos inžinerijos katedra. Kaunas, 2015. 43 p.

## 1. SANTRAUKA

Gamtoje yra daugybė sudėtingų sistemų. Vienas iš sudėtingiausių kūrinų yra žmogus. Tokių sudėtingų sistemų tyrinėjimas yra ir bus vienas iš labiausiai reikšmingų mokslo nagrinėjimo sričių.

Vienas iš būdų tokioms sudėtingoms sistemoms nagrinėti yra termodinamikos taikymas. Konkrečiau kalbant – entropijos našumas, kuris leidžia analizuoti makroskopinius biologinius objektus.

Visatoje egzistuoja tiesioginis ryšys tarp informacijos ir entropijos, tačiau žmogaus organizme termodinamika veikia šiek tiek kitaip. Iki šiol dar nėra tokios įrangos, kuri gebėtų suskaičiuoti informacijos ir entropijos kiekį žmogaus organizme. Dėl šios priežasties informacijos ir entropijos kiekis turi būti identifikuojamas iš kitų procesų vykstančių žmogaus kūne.

Analizuojant žmogaus širdies elektrokardiogramą ir intervalų pokyčius kintant jo amžiui, bei tyrinėjant homeostazę buvo pastebėta, jog gyvenimo pradžioje, žmogus turi tam tikrą kiekį informacijos, bei daug entropijos. Tačiau žmogaus organizmui augant, entropija mažėja, tačiau informacijos kiekis didėja. Kai žmogaus organizmas susiformuoja, šie du parametrai keičiasi nežymiai, tačiau prieš pat mirtį, entropija staiga pradeda augti iki pradinio lygio.

Reikšminiai žodžiai: entropija, entropijos našumas, informacija, elektrokardiograma

Zelenkaite G. Regularity changes of entropy and information in live organisms: Master's work in biomedical engineering/ supervisor prof. habil. dr. Kopustinskas A., Department of electrical engineering, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

Kaunas, 2015. 43p.

## SUMMARY

There are many complex systems in the nature. One of the highest complexity creature is human. The investigation of this kind complex system is and will be the most significant science research object.

One of ways to investigate these kind of complex system is to use thermodynamics. Specifically – entropy production, which allows to study macroscopic biological objects.

In the universe there is a direct connection between information and entropy. But in human organisms, laws of thermodynamics work a little bit different than in the universe. Due to there is no equipment yet to measure information and entropy in human organism, they have to be identified from other processes which take place in the human body.

By investigating human heart electrocardiogram and its' interval changes with age, also exploring homeostasis of human, it was observed that at the beginning of life, human has some information and a lot of entropy. But when the human organism grows, entropy gets lower and information level goes higher. Those two parameters does not really change through life, but before death, entropy suddenly starts to grow and returns to its previous level.

Keywords: entropy, entropy production, information, electrocardiogram

## Turinys

1.	Įvadas.....	7
2.	Analitinė dalis.....	8
2.1	Entropijos sąvoka ir gyvieji organizmai .....	8
2.2.	Informacija ir entropija .....	17
3.	Problemos formulavimas, darbo tikslas ir uždaviniai .....	20
4.	Tiriamoji dalis.....	21
4.1	Žmogaus homeostazės kitimo analizė .....	21
4.2	Entropijos kitimas žmogui senėjant .....	28
4.3	Informacijos gavimas ir jos kitimas žmogui senėjant.....	34
4.4	Prognozuojama entropijos laiko priklausomybė gyviems organizmams.....	36
4.4	Ryšys tarp informacijos ir entropijos.....	38
4.5	Hipotezė .....	39
5.	Išvados .....	40
6.	Literatūros sąrašas .....	41
7.	Priedai.....	42

## 1. Įvadas

Gamtoje egzistuoja daugybė sudėtingų kompleksinių sistemų. Kolkas vienas iš sudėtingiausių yra žmogaus organizmas. Tokių sudėtingų sistemų tyrinėjimas tiek dabar, tiek ateityje yra ir bus reikšmi. Nors daugybė kompleksiško tyrimų – savarankiška organizacija, savarankiškas prisitaikymas, chaosas ir daugybė kitų – yra vykdomi ir dabar, tačiau šios problemos yra sunkiai suvokiamos, todėl progresas yra lėtas.

Vienas iš galimų būdų, siekiant tyrinėti kompleksines sistemas yra termodinamikos panaudojimas. Konkrečiau – entropijos našumo (angl. entropy production) koncepcija, siekiant iširti makroskopinius biologinius objektus.

Visatoje egzistuoja tiesioginis sąryšis tarp informacijos ir entropijos. Žmogaus organizmas, kaip ir visata, yra sudėtinga kompleksinė sistema, tačiau jo organizme termodinamikos dėsniai veikia kiek kitaip nei visatoje. Todėl šio darbo metu bus siekiama nustatyti galimus entropijos kitimus žmogaus organizme. Tačiau žinant sąryšį tarp informacijos ir entropijos visatoje, kyla klausimas: ar informacijos kitimas gyvuose organizmuose priklauso nuo entropijos kitimo taip, kaip tai vyksta visatoje. Tai viena iš žmogaus organizmo pažinimo sričių, kuri yra labai mažai tyrinėta. Egzistuoja daugybė klausimų, kurie kol kas neturi atsakymo.

Šiuolaikine įranga nėra galimybės tiesiogiai išmatuoti nei žmogaus organizmo entropijos, nei informacijos. Todėl norint nustatyti tarp jų egzistuojantį sąryšį, reikia įvertinti visą eilę organizme vykstančių procesų, kurie galėtų įtakoti šių dviejų dydžių tarpusavio priklausomybę ir kitimą.

## 2. Analitinė dalis

### 2.1 Entropijos sąvoka ir gyvieji organizmai

#### *Entropijos sąvoka*

Entropija [gr. en – viduje + tropē – posūkis, pavirtimas] tai [1]:fiz. termodinaminės sistemos būseną apibūdinantis kintamasis dydis, išreiškiantis izoliuotos sistemos reiškinių negrįžtamumą; entropija kinta beveik kiekvieno proceso metu;informacijos teorijoje – bandymo rezultato neapibrėžtumo matas.

Entropija – sistemos, kurią sudaro energija ar informacija, netvarkos matas. Kuo mažiau tvarkos sistemoje, tuo didesnė entropija. Entropijos sąvoka yra naudojama fizikiniuose moksluose, dažniausiai termodinamikoje (šilumos procesų stebėjime). Ji taip pat gali būti naudojama ir kitose srityse.

Termodinamikoje entropija kartais laikoma šilumos kokybės matu arba kaip viena iš šilumos kokybės matavimo priemonių [5]. Ryšių teorijoje, susijusioje su informacija, entropija yra informacijos, kuri gali būti prarasta signalų perdavimo metu, matavimo vienetas.Siunčiamas signalas gali tapti netvarkingas (iškraipytas), gali atsirasti neatitikimų su realiu signalu, dėl įvairių atsirandančių triukšmų ir pan.

Natūraliuose procesuose entropija didėja, t.y. sistema siekia pasiekti kuo įmanoma didesnę netvarką. Taip vyksta todėl, kad yra daugybė galimybių sistemai pasiekti tam tikrą būseną. Kaip pavyzdys galėtų būti dėžutė, kurioje yra monetos, tvarkingai sudėliotos į krūveles. Papurčius tokią dėžutę monetos išsidėlios netvarkingai, nes yra daugybę pozicijų, kurias jos gali užimti.

Fizikinėse sistemose, jei turėsime sistemą, kurioje yra šiltas objektas ir šaltas objektas, šiluma natūraliai sklis iš šilto objekto į šaltą tol, kol abiejų objektų temperatūra taps vienoda. Šis principas yra vadinamas antruoju termodinamikos dėsniu. Kai objektas yra kaitinamas (šildomas), jo entropija didėja, nes tą objektą sudarančios dalelės įgyja daugiau energijos ir pradeda greičiau judėti įvairiomis kryptimis. Šiluma natūraliai pereina iš šiltesnio objekto į šaltesnį, nes šaltesnio objekto šildymas pakelia bendrą entropijos kiekį sistemoje.

Organizmai yra atviros netiesinės termodinaminės sistemos, kurios su aplinka keičiasi medžiaga ir energija. Organizmai turi keletą savybių, kurios leidžia juos atskirti nuo negyvų sistemų. Viena savybė yra antro termodinamikos dėsnio nesilaikymas: entropijos didėjimas biosistemoms yra



neįmanomas, nes organizmo temperatūra negali pastoviai didėti, ji turi būti konkrečiai tam tikram organizmui, todėl entropijos lygis yra stabilizuojamas.

Visi gyvieji organizmai naudoja cheminę, mechaninę, elektrinę ir kitokių rūšių energijas. Vykstant biocheminėms ir fiziologinėms reakcijoms, tam tikra dalis energijos virsta šilumine energija. Organizmas praranda energiją dėl šilumos išsisklaidymo į aplinką. Taigi entropija yra šiluminės energijos išsisklaidymo matas[2]. Ši entropijos apibrėžimą izoliuotoms mechaninėms sistemoms (be energijos mainų su aplinka) 1865 metais suformulavo R. Clausius.

### ***Faktai apie entropiją***

- Gyvi organizmai gimsta turėdami mažą entropijos kiekį. Bręstant organizmui entropijos kiekis didėja, o pasiekus maksimumą – miršta.
- Mirtis yra visiška netvarka, maksimali entropija.
- Iš entropijos kitimo galima nusakyti laiko ašį, laiko tekėjimo kryptį.
- Entropija charakterizuoja simetriškumą. Didesnė entropija reiškia daugiau atsitiktinumo.
- Entropijos didėjimas sąlygoja informacijos mažėjimą.
- Maksimali entropija yra tada kai viskas lygu. T.y. nusako visišką išsibarstymą atsitiktine tvarka.

2.1 Lentelė. Skirtumai tarp didesnės ir mažesnės entropijos

Didesnė entropija	Mažesnė entropija
Atsitiktinė	Neatsitiktinė
Neorganizuota	Organizuota
Netvarka	Tvarka
Konfigūracijų įvairovė	Apribotos priemonės
Laisvė rinktis	Suvaržymas
Neapibrėžtumas	Patikimumas
Didesnė klaidos tikimybė	Tikslumas
Potenciali informacija	Saugoma informacija

Organizaciją ar paprasčiausią įmonę, galima prilyginti žmogaus organizmui. Organizacija demonstruoja entropiją, struktūrą ir informacijos tekėjimą. Struktūra yra reikalinga tam, kad būtų užtikrintas informacijos saugojimas ir kaupimas. Be reikiamos struktūros visa informacija tampa potenciali informacija, kuri nėra susisteminta ir yra teoriškai prieinama tik tuomet, kai sistema yra organizuota. Taip pat galima įsivaizduoti ir žmogaus organizme. Gimęs vaikas pradeda kaupti daug informacijos iš aplinkos, ją sistemingai apdorojus ir išmokus sukaupiama daug žinių ir reikalingų duomenų. Organizmui augant informacijos kiekis didėja, ji tampa vis sudėtingesnė. Pasiekus tam tikrą ribą informacijos kiekis pamažu pasidaro pastovus ir kurį laiką nekinta. Priešingai nei informacija,

gimus vaikui, jo entropijos kiekis būna didelis. Jam augant, entropija vis mažėja kolpasiekus brendimo stadiją nusistovi ir kurį laiką nebekinta. Pasiekus tam tikrą amžių (visiems žmonėms jis yra skirtingas, tačiau labia panašus), organizmas pradeda senti, nemaža dalis informacijos sukauptos per gyvenimą tampa nebereikalinga ir ji yra pamirštama. Informacijos mažėjimą gali įtakoti entropijos didėjimas. Nes jau yra žinoma, kad artėjant prie mirties (senatvėje) entropijos kiekis artėja prie maksimumo, o tai reiškia, kad organizme pradeda veikti įvairūs procesai, atsiranda ligos, dar labiau pagreitinančios entropijos didėjimą ir informacijos užmiršimą.

### ***Entropijos našumas***

Entropija yra energijos kokybės matas: kuo didesnė entropija, tuo mažesnės kokybės energija tampa. Taip pat remiantis Boltzmann'u, entropija mikroskopinėse struktūrose yra netvarkingumo ar atsitiktinumo matas. Tačiau reikia paminėti, kad entropija nėra visuotinis tvarkos ar netvarkos matas.

Biologinės sistemos yra atviros sistemos, kurios keičiasi energija ir medžiaga su jas supančia aplinka. Atviroms sistemoms, visos sistemos turimos entropijos pokytis yra sudarytas iš dviejų komponentų[1]:

- Entropijos tekėjimo (angl. Entropy flow) -  $\Delta_e S$ ;
- Entropijos našumo (angl. Entropy production) -  $\Delta_i S$ .

Entropijos tekėjimas – tai entropija, kuri įeina arba išeina iš sistemos ir yra susijusi su energijos ir/arba materijos (medžiagos) tekėjimu.

Entropijos našumas – tai entropija, kuri atsiranda sistemoje vykstant negrįžtamiesiems procesams. Entropijos našumo matavimo vienetas yra  $J s^{-1} K^{-1}$ .

Antrasis termodinamikos dėsnis atviroms sistemoms teigia, kad negrįžtamųjų procesų entropijos našumas [ $\Delta_i S$  (negr)] visada yra didesnis nei grįžtamųjų procesų [ $\Delta_i S$  (gr)] ir galiausiai lygus nuliui (Nicolis & Prigogine, 1977)(1).

$$\Delta_i S(\text{negr}) > \Delta_i S(\text{gr}) = 0 \quad (1)$$

Atvirose sistemose po tam tikro laiko pasiekus termodinaminę pusiausvyrą, entropijos našumas tampa lygus nuliui. Kiekvieno negrįžtamojo procesu metu yra sukuriama entropija. Kuo didesnis proceso negrįžtamumas, tuo entropija didesnė.

### ***Organizmo entropijos įvertinimas***

Sujungus visus organizme vysktančius procesus gaunama bendra sistemos entropija[2]. Norint teisingai apskaičiuoti organizmo bendrą entropiją reikia atskirai įvertinti kiekvieną organizme vykstantį procesą, nustatyti to proceso metu išskiriamos ar sugeriamos entropijos kiekį. Matavimų ir entropijos skaičiavimai buvo atlikti mokslininkų Hardy ir DuBois, kurie atliko eksperimentą su žmogumi, panaudodami respiratorinį kalorimetrą.

Klasikiniame daugelyje šaltinių cituojamame Hardy ir DuBois eksperimente, nuogas objektas yra patalpinamas respiratoriniame kalorimetre bazine padėtimi vienai valandai. Tiriamas objektas turi būti nuogas todėl, kad būtų gaunamas tiesioginis kontaktas tarp žmogaus organizmo ir aplinkos. Objektas sleidžia infraraudonąją (IR) spinduliuotę į aplinką. Vidutinė objekto odos temperatūra yra  $T_s = (1/2)(33.02+32.91) + 273.15 = 306.12$  K, kai kalorimetre temperatūra yra  $27.40$  °C. Žmogaus odos išskiriama IR spinduliuotė yra artima 1 [4]. Dėlto entropijos kitimas susijęs su IR spinduliuote, kurią skleidžia objektas yra [4]:

$$S_{out} = 1.54 \times \frac{4}{3} \sigma (T_s) = 3.340 \text{ Js}^{-1} \text{ K}^{-1}, \quad (2)$$

čia  $\sigma = 5,670 \times 10^{-8} \text{ Jm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ K}^{-4}$  yra Stefan'o – Boltzmann'o konstanta, o 1,54 yra objekto efektyvusis spinduliuojančio paviršiaus plotas ( $\text{m}^2$ ).

Objektas esantis kalorimetre sugeria IR spinduliuotę, kuri yra išskiriama iš kalorimetro viduje esančių sienų. Kalorimetre temperatūra yra  $T_c = 27.40$  °C = 300.55 K. Pagal Kirchhoff dėsnį, žmogaus oda sugeria tokį IR spinduliuotės kiekį, kokį išspinduliuoja, t.y. artimą 1. Dėl to entropijos tekėjimas (srautas) susijęs su IR spinduliuote, skleidžiama vidinių kalorimetro sienų ir sugertos objekto yra :

$$S_{in} = 1,54 \times \frac{4}{3} \sigma (T_c)^3 = 3,161 \text{ Js}^{-1} \text{ K}^{-1}, \quad (3)$$

Konvekcijos metu prarasta energija yra :

$$E_{con} = 11,00 \text{ kcal h}^{-1} = 12,78 \text{ J s}^{-1}, \quad (4)$$

Konvekcijos būdu prarasta entropija yra [4] :

$$S_{con} = E_{con} / T_s = 0,042 \text{ Js}^{-1} \text{ K}^{-1}, \quad (5)$$

Panašiai, energija prarasta vandens garavimo metu yra :

$$E_{evp} = 20,66 \text{ kcal h}^{-1} = 24,01 \text{ J s}^{-1}, \quad (6)$$

Hardy ir DuBois eksperimente, kuris atliekamas vieną valandą, kūno išskiriama šiluma yra  $77.36 \text{ kcal h}^{-1}$ , o sugertas šilumos kiekis yra  $68.65 \text{ kcal h}^{-1}$ . Tokiu atveju šilumos pokytis organizme yra:

$$\Delta Q = -8,71 \text{ kcal h}^{-1} = -10,1 \text{ Js}^{-1}, \quad (7)$$

Šilumos didėjimas organizme laikoma teigiamu dydžiu, o mažėjimas – neigiamu. Šiuo atveju entropijos pokytis organizme yra:

$$\Delta S(\text{šilumos}) = \Delta Q/T_r = -0,033 \text{ J s}^{-1} \text{K}^{-1}, \quad (8)$$

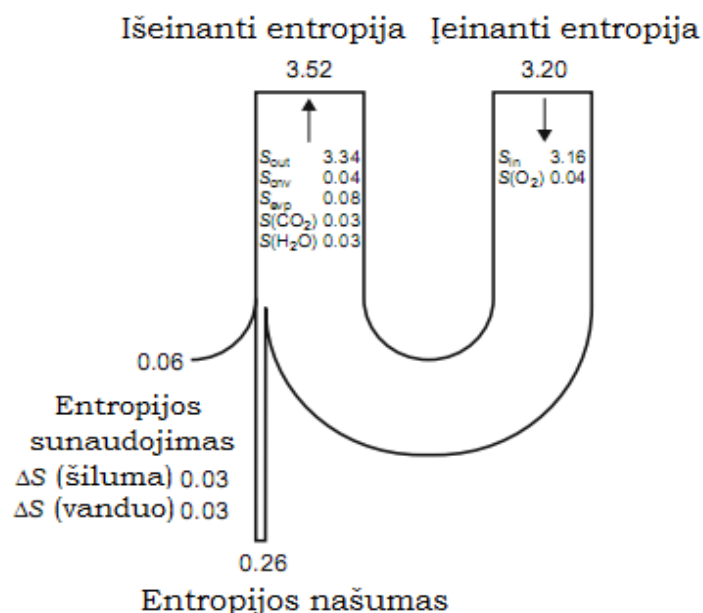
čia  $T_r = 310,3 \text{ K}$  – žmogaus kūno temperatūra.

Iš žmogaus organizmo išskiriamo vandens kiekio entropija:

$$\Delta S(\text{vandens}) = -S(H_2O) = -0,026 \text{ J s}^{-1} \text{K}^{-1} \quad (9)$$

Visas entropijos pokytis kūne bus [4]:

$$\Delta S = \Delta S(\text{heat}) + \Delta S(\text{water}) = -0,059 \text{ Js}^{-1} \text{K}^{-1} \quad (10)$$

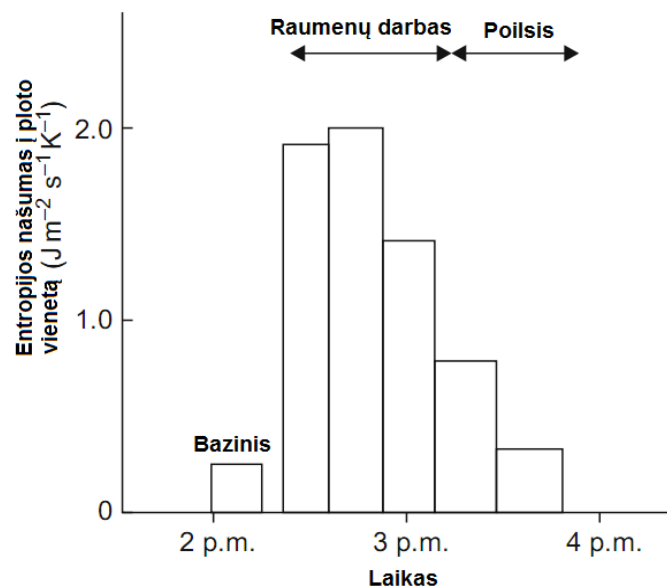


2.1 pav. Entropijos našumo kiekio žmogaus organizme kitimas.

Entropijos našumo diagrama žmogaus organizme yra pavaizduota pirmame (2.1 pav.) paveiksle. Entropijos našumas matuojamas  $J s^{-1} K^{-1}$ . Pirmame paveikslėlyje pateiktos reikšmės gautos, kai aplinkos temperatūra yra  $27.4^{\circ}C$ . Įeinanti entropija yra  $3.20 (J s^{-1} K^{-1})$ , kurią sudaro:  $3.16 (J s^{-1} K^{-1})$  - IR spinduliuotė sugerta žmogaus organizmo,  $0.04 (J s^{-1} K^{-1})$  – deguonies patenkančio į organizmą. Iš žmogaus organizmo išskiriamas entropijos kiekis yra 3.52 vienetai. Šį skaičių sudaro: 3.34 vienetai IR spinduliuotė,  $0.04 (J s^{-1} K^{-1})$  – konvekcija,  $0.08 (J s^{-1} K^{-1})$  – vandens garavimas,  $0.03 (J s^{-1} K^{-1})$  –  $CO_2$  išskyrimas,  $0.03 (J s^{-1} K^{-1})$  – skysto vandens išskyrimas į aplinką (kvėpuojant).

### *Entropijos našumo kitimas kintant aplinkos temperatūrai*

Kai nuogas žmogus guli žemesnės nei  $25^{\circ}C$  temperatūros kalorimetre valandą laiko, jis atvėsta. Tuomet atsiranda nevalingi raumenų judesiai ir susitraukimai, pradeda drebėti visas kūnas. Drebant kūnui, raumenys atlieka darbą, sunaudoja tam tikrą energijos kiekį, kuris virsta šiluma. Taip orgnizmas priešinasi aplinkos poveikiui, kuris šiuo atveju atvėsina kūną. Sukuriamos entropijos kiekis čia daugiausiai yra susijęs su šilumos atsiradimu.

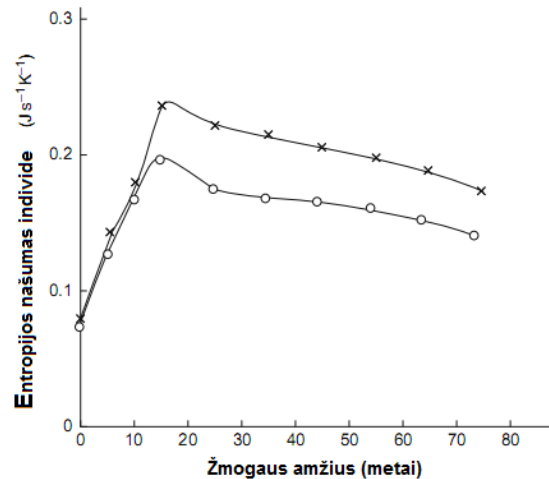


2.2 pav. Žmogaus kūno efektyvaus spinduliuojančio paviršiaus ploto entropijos našumo kitimas esant nevalingam raumenų susitraukinėjimui [1]

2.2 pav. pavaizduotas entropijos našumas į plotą vienetą, kuris susidaro laikui bėgant, kai žmogaus kūne pradeda nevalingai susitraukinėti raumenys, siekdami grąžinti organizmą į stacionarią būseną. Kaip matyti iš pateiktos diagramos, esant energijos suvartojimui ir šilumos išsiskyrimui, entropijos našumas staigiai padidėja. O kai organizmas sušyla, entropijos našumas palaipsniui mažėja, kol pasiekia bazinę būseną.

## *Entropijos našumo kitimas kintant žmogaus amžiui*

Gimus žmogui, entropijos našumas jau turi tam tikrą vertę, t.y. nėra lygus nuliui. Taip yra todėl, kad dar iščiose esančio kūdikio organizmas jau funkcionuoja ar atlieka tam tikrus procesus, tokius kaip raumenų susitraukimas, širdies plakimas, mąstymas ir pan.



2.3 pav. Entropijos našumas individe laikotarpiu 0 – 75 metai. x – vyrams, o – moterims [1]

Nuo gimimo, kai žmogus pradeda sparčiai augti, jo entropijos našumo kiekis taip pat sparčiai didėja. Tai įtakoja didelis energijos suvartojimas. Entropijos našumas didėja tol, kol organizmas auga. Jam pereinant į brendimo stadiją, t.y. pasiekus apytiksliai 15-20 gyvenimo metus, entropijos našumas nustoja augti ir toliau stebimas jo mažėjimas iki pat gyvenimo pabaigos, kai prieinama prie mirties.

2.3 pav. pateiktame grafike matyti kaip kinta entropijos našumas bėgant laikui. Jo kitimas taip pat priklauso ir nuo lyties. Iš pateikto grafiko matyti, kad moterų entropijos našumas yra šiek tiek mažesnis, nei vyrų. Pirmaisiais gyvenimo metais, tiek vyrų, tiek moterų entropijos našumas yra beveik lygus, tačiau paauglystėje, atsiranda tam tikrų skirtumų tarp vyrų ir moterų vystymosi. Kadangi vyrai iš prigimties yra stiprioji lytis, jų raumenų masė taip pat yra didesnė lyginant su moterų, didesnė raumenų masė reikalauja daugiau išteklių (mityba, deguonies suvartojimas). Tas ir įtakoja skirtumus tarp vyrų ir moterų entropijos našumo.

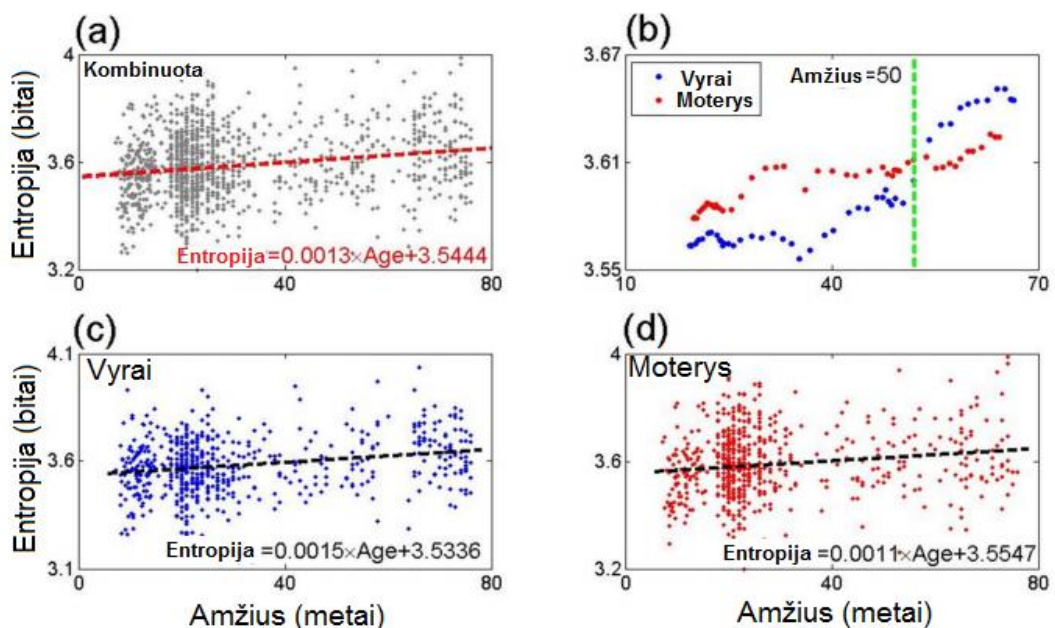
## *Funkcinės entropijos žmogaus smegenyse kitimas su amžiumi*

Funkcinė entropija efektyviai atspindi (parodo) funkcinių jungčių, esančių žmogaus smegenyse išplitimą. Atlikus tam tikrus tyrimus nustatyta, kad funkcinių jungčių paplitimas yra susijęs su žmogaus amžiumi [6]. Tirti individai, kurių amžius yra nuo 6 iki 76 metų. Tai leido nustatyti kaip veikia žmogaus smegenis senėjimas. Skirtingo amžiaus individų tyrimai parodė, kad žmogaus

smegenų funkcinė entropija turi tendenciją didėti bėgant laikui. Tai gali būti pastebėta iš didesnio lygio atsitiktinių ryšių tarp atskirų smegenų sričių.

Taip pat pastebėta, kad funkcinės entropijos smegenyse didėjimas priklauso ir žmogaus lyties. Tai galima nustatyti iš kiekybinių verčių. Naujagimių vyriškos lyties individų funkcinės entropijos vidutinė vertė yra 3.536 bitai, tai yra beveik 0.06% mažiau nei naujagimių moteriškos lyties individų, kur vidutinė funkcinės entropijos vertė yra 3.555 bitai. Taip pat išvelgiamas kitimas tarp skirtingų lyčių bėgant metams. Vyrams funkcinė entropija didėja vidutiniškai 0.0015 bitų per metus. O moterims šis funkcinės entropijos didėjimas yra šiek tiek lėtesnis – 0.0011 bitų per metus. Skirtingos reikšmės naujagimiams ir priklausomai nuo lyčių veda prie tokių rezultatų, kad pasiekus tam tikrą amžių vidutinis funkcinės entropijos kiekis smegenyse persikryžiuoja, t.y. vyrų vid. funkcinės entropijos reikšmės tampa didesnės nei moterų. Toks amžius, kai vyrų vidutinis funkcinės entropijos kiekis tampa didesnis už moterų yra 50 metų. Pasiekus tokį amžių vyriškos lyties individų vidutinė funkcinės entropijos vertė tampa didesnė už moterų.

Vidutinis vyrų amžius (pasauliniu mastu) yra 65.59 metai, o moterų 69.73 metai. Iš atliktų skaičiavimų nustatyta, kad smegenų funkcinė entropija bus 3.633 bitai vyrams ir 3.647 moterims. Vis dėl to vidutiniškai funkcinės entropijos dydis žmogaus smegenyse nuo gimimo iki mirties pakinta per 0.097 bitus vyrams ir 0.092 bitus moterims, nepaisant to, kad moterų gyvenimo trukmė yra didesnė [6].



2.4 pav. Funkcinės entropijos priklausomybė nuo žmogaus amžiaus [6].

2.4 pav. pateikti keturi grafikai. A grafike matyti kombinuotas funkcinės entropijos kiekis bitais žmogaus smegenyse priklausomai nuo amžiaus. Čia vaizduojamas vyrų ir moterų funkcinės entropijos vidurkis. Šiuo atveju gauta, kad entropija kiekvienais metais padidėja po 0.0013 bitų. B grafike pateikiama kiekvienais metais gaunamas entropijos kiekis skirtingoms lytims, t.y. vyrams ir

moterims. Čia pateikta žyma ties 50 metų riba, kur vyrų ir moterų entropijos kiekis persikryžiuoja ir vyrų tampa didesnis, o moterų mažesnis. C ir D grafikuose pateikiama atskirai vyrų ir moterų entropijos kiekio kitimas priklausomai nuo amžiaus. Vyrų turi mažesnę pradinę entropijos vertę, tačiau jos augimas yra greitesnis [6].

### ***Entropija, struktūra, informacija***

Gyvi organizmai ir tokios sistemos kaip korporacijos, šalys ir civilizacijos yra panašios disipacinės organizacijos. Jos gyvena, auga, vystosi ir miršta kaip atviros sistemos, entropijos kūrėjos, besistengiančios kuo toliau nutolti nuo maksimalios entropijos. Šios sistemos pereina nuo vienos stacionarios būsenos (su mažiausiu entropijos našumu „entropy production“) prie kitos (kitu mažiausiu entropijos našumu, ir dar prie kitos ir t.t. Taip ir žmogus augdamas, bręsdamas ir senatvėje pereina per kelis etapus, kuriuose kiekviena būsena yra stacionari ir nukrypimas nuo jos sukelia įvairius pakitimus ir organizmo atsakus į juos.

Gyvi organizmai, tokie kaip žmogus, su amžiumi artėja prie maksimalios entropijos. Tai priveda prie tokių veiksmų, kai pats gyvenimo būdas tampa vis lėtesnis ir lėtesnis. Žmogus lėtėja dėl savo vidinės struktūros irimo ir metabolinių funkcijų mažėjimo.

Esant entropijos kiekiui arti maksimumo, t.y. kai organizmas yra arti savalaikės mirties (jį gali įtakoti gyvenimo būdas, ligos ir pan.), organizmas turi mažai energijos ir informacijos, kad galėtų suvaldyti stresą ir suteiktų pilnavertišką, nuo nieko nepriklausomą gyvenimą. Paprastas peršalimas gali tapti mirtinu stresu, silpnas sutrenkimas gali tapti lūžusiu klubu, o tai gali privesti prie inkstų nepakankamumo, tai dar gali paveikti širdies darbą ir t.t. Šiame etape žmogaus kūnas nebeturi pakankamai energijos ir informacijos, kad galėtų sugrįžti į stabilią būseną. Todėl šioje stadijoje menkiausiai sunegalavimas gali tapti mirties priežastimi.

### ***Ilgamžiškumas ir entropija***

Kai kurie gyvybės mokslų tyrėjai apibrėžia organizacinę entropiją taip [12]:

$$S_{org} = R \left( \ln \frac{u}{\rho} \right) + constant, \quad (11)$$

čia

- $S_{org}$  = organizacinė entropija;
- $R$  = dujų konstanta;



- $\rho$  = organizmo galutinės vystymosi stadijos subrendimo laipsnis;
- $u$  = vidutinė metabolinė vertė tai pačiai stadijai;
- $u/\rho$  = organizmo perėjimo iš vienos vystymosi stadijos į kitą suvartojamos energijos matas.

Mažas entropijos našumas leidžia organizmui ilgiau gyventi ir atlikti daugiau metabolinio darbo. Augimo ir brendimo laipsnis yra susijęs su visos sistemos entropijos našumu: augimas nėra susijęs tik su tuo, kiek metabolinio darbo yra padaroma, bet ir su tuo, kaip tas darbas yra padaromas.

## 2.2. Informacija ir entropija

Yra tiesioginis ryšys tarp informacijos ir entropijos. Toks ryšys yra galimas todėl, kad tai leidžia atlikti klasikinio termodinamikos dėsnio analizę, kur galima tiesiogiai įvertinti darbą atliktą energijos tekėjimo per sistemą[7]. Informacijos sąvoka gali apimti tokius dydžius kaip skaitmenys skaičiuose, raidės sakiniuose, amino rūgštys polipeptiduose ar proteine, priklausomai nuo kiekvienos sistemos, kur reikia išreikšti mažiausią dydį, iš kurio sudaroma sistema. Reikia daugybės instrukcijų, kuriomis būtų galima paaiškinti kompleksinę, informaciją nešančią struktūrą, tokią kaip DNR.

Brillouin, Schrodinger ir kiti rado tiek kiekybinį, tiek kokybinį ryšį tarp informacijos ir entropijos. Brillouin teigia, kad sistemos entropija gali būti apskaičiuojama pagal statistikinės fizikos antrąjį termodinamikos dėsnį aprašančią Boltzmann'o formulę [7]:

$$S = k \ln \Omega \quad (12)$$

čia  $S$  yra sistemos entropija,  $k$  – Boltzmann'o konstanta, o  $\Omega$  - parodo skaičių kelių (atvejų, būdų), kuriais sistemos energija ir masė gali būti pasiekta, dar gali būti vadinama termodinamine tikimybe. Mikrobūsenų skaičius, atitinkantis tam tikrą makrobūseną, vadinamas duotos būsenos statistikiniu svoriu arba kitaip termodinamine tikimybe. Termodinaminė tikimybė rodo, keliais atvejais gali būti pasiekta duotoji makrobūseną. Izoliuotoje sistemoje procesas savaimingai artėja prie labiausiai tikėtinos netvarkingos būsenos su didžiausia entropija [5].

Siekiant aprašyti terminę ir konfigūracinę entropijas bus naudojama:

- $S_{th}$  - terminė entropija –susijusi su energijos pasiskirstymu sistemoje;
- $S_c$  – konfigūracinė entropija – susijusi tik su masės pasiskirstymu organizme;
- $\Omega_{th}$  – kelių, kuriais gali būti pasiektas energijos pasiskirstymas sistemoje, skaičius;
- $\Omega_c$  – kelių, kuriais gali būti pasiektas masės pasiskirstymas sistemoje, skaičius.

Turint šiuos dydžius, statistikinės fizikos antrąjį termodinamikos dėsnį galima perrašyti taip [5]:

$$S = k \ln (\Omega_{th} + \Omega_c) = k \ln (\Omega_{th}) + k \ln (\Omega_c) = S_{th} + S_c, \quad (13)$$

čia

$$S_{th} = k \ln (\Omega_{th}) \quad (14)$$

ir

$$S_c = k \ln (\Omega_c) \quad (15)$$

### ***Informacijos nustatymas: nuo atsitiktinio polimero iki informuoto polimero***

Jei norime neinformuotą polimerą paversti informuota molekule galima nustatyti informacijos padidėjimą, kuris bus gautas atliekant šį veiksmą. Tai galima padaryti randant skirtumą tarp atsitiktinio neinformuoto polimero entropijos ir informuoto polimero entropijos [5]. Tai galima aprašyti formulėmis:

$$I = -(S_{cm} - S_{cr}) \quad (16)$$

$$I = S_{cr} - S_{cm} \quad (17)$$

$$I = k \ln \Omega_{cr} - k \ln \Omega_{cm} \quad (18)$$

Formulėse (16), (17), (18) I yra informacijos kiekis, kurį turi informuotas polimeras, kai jis įgauna tam tikrą organizuotą struktūrą, būdingą organinei medžiagai (t.y. kai jis yra informuojamas).  $S_{cm}$  - konfigūracinė (kodavimo) entropija, kurią turi informuotas organinis polimeras.  $S_{cr}$  - konfigūracinė, to paties polimero, kai jis dar nėra informuotas, entropija.

Informacija polimere yra maksimizuota tik tuomet, kai molekulės masė gali būti pasiekta daugybe kelių (būdų), ir tik vienas iš daugybės sąveikauja su tam skirta informacija. Tai reiškia, kad kuo didesnė molekulės masė, tuo daugiau yra būdų tą masę pasiekti, įgyti ir pan. Dėl to tam tikra informacija – žinutė – kuria polimeras yra informuojamas, yra tik vienas būdas iš begalės kitų. Kita vertus informacija, kurią turi kristalas, yra labai maža, nes jo  $S_c$  yra maža. Paprasčiausiai jo masė gali būti sudaroma tik keletu būdų, o tai nereikalauja daug informacijos.

Formulės (15) ir (18) leidžia daryti išvadą, kad gyvų sistemų molekulės neša didžiulius informacijos kiekius, o didėjant entropijai, informacijos kiekis mažėja.

### *Entropijos matavimo metodai*

Entropijos sąvoka yra susijusi su duoto efekto tikimybe įvykti. Sakykime, kad įvykis turi  $M$  galimybių, ir  $i^{\text{th}}$  galimybė įvyksta su tikimybe  $p_i$ . Tada informacija susijusi su įvykio  $i^{\text{th}}$  galimybe:

$$I_i = -\log p_i \quad (19)$$

Tikėtina informacijos vertė yra entropija[8]:

$$E_n = -\sum_{i=1}^M p_i \log p_i \quad (20)$$

Entropija yra neapibrėžtumo, susijusio su įvykio rezultatais, matas. Kuo didesnė entropija, tuo didesnis neapibrėžtumas įvykiui įvykti. Didesnė entropijos vertė yra stebima, kai visos įvykio galimybės yra apytiksliai vienodos.

Praktikoje, atlikus eilę bandymų, entropija yra apskaičiuojama iš amplitudės išplitimo. Neapdoroto signalo amplitudės intervalas  $A$  yra dalinamas į  $K$  išskirstytų intervalų  $I_i$ , kur  $i=1, \dots, K$ . Išplitimo tikimybė gali būti apskaičiuojama iš bandinių  $N_i$  dažnio santykio tenkančių kiekvienam intervalui ir bendro bandinių skaičiaus  $N$  [8]:

$$p_i = \frac{N_i}{N} \quad (21)$$

Bandinių signalų amplitudės išplitimas  $\{p_i\}$  yra naudojamas entropijai apskaičiuoti pagal aukščiau pateiktą formulę.

### 3. Problemos formulavimas, darbo tikslas ir uždaviniai

**Darbo tikslas:** analizuoti ir nustatyti entropijos ir informacijos kitimo gyvuose organizmuose dėsningumus.

Darbo tikslui pasiekti išskelti šie uždaviniai:

1. Entropijos ir informacijos gyvuose organizmuose dėsningumų analizė.
2. Panaudoti PhysioNet tarptautinių duomenų bazę, siekiant gauti duomenis.
3. Nustatyti gyvybinių funkcijų kitimą kuris gali įtakoti organizmo entropijos svyravimus.
4. Išanalizuoti žmogaus homeostazės kitimų dėsningumus panaudojant Prigožino teoremą ir nustatyti galimą veiksnių įtaką į žmogaus organizmo entropijos kitimą.
5. Sudaryti modelį ir formuluoti hipotezę.

## 4. Tiriamoji dalis

### 4.1 Žmogaus homeostazės kitimo analizė

Gyvas organizmas yra energetiškai atvira sistema, kuri keičiantis aplinkos sąlygoms stengiasi išlaikyti pastovią organizmo būseną. Organizmo gebėjimas palaikyti pastovią vidinę terpę, nuo kurios priklauso visą organizmą sudarančių organų ir organų sistemų veikla, yra vadinama homeostaze [11].

Kiekvienas sveikas organizmas yra homeostazės būsenoje iki tol, kol atsiranda šalutiniai poveikiai, kurie išveda organizmą iš pusiausvyros būsenos. Sistema stengiasi atkurti organizmo homeostazę sukurdamą pasipriešinimą. Fiziologija stengiasi atkurti ir kompensuoti organizmui padarytą žalą [11].

Homeostazės kitimo vertinimui galima panaudoti entropijos sąvoką, kadangi kintant organizmo būsenai (pvz. susergant), entropija taip pat gali pasikeisti.

Kai organizmas išvedamas iš pusiausvyros būsenos, entropija sumažėja arba padidėja. Tuomet organizme pradeda veikti vidiniai procesai, kurie stengiasi jį sugrąžinti į pusiausvyrą būseną.

Žmogaus homeostazės kitimo analizei bus panaudojama Prigožino teorema, kuri įgalina suprasti/prognozuoti, kaip kis ar kokia kryptimi vyks reakcija į destabilizuojantį faktorių.

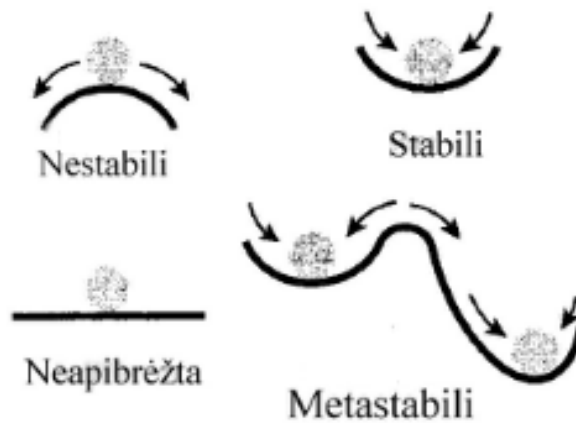
Tiesinių negrįžtamųjų procesų termodinamika paaiškina ne tik atvirų sistemų susietus srautus, bet ir stacionarią sistemos būseną.

Atviros sistemos stacionarią būseną aprašo Prigožino teorema: stacionarios būsenos aplinkoje vidinės entropijos kitimo greitis mažėja artėdamas prie minimumo [5]:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{d_i S}{dt} \right) \leq 0 \quad (22)$$

Iš Prigožino teoremos seka, kad sistemos vidinės entropijos kitimo greitis mažėja, o kitimo greičio išvestinė (pagreitis) yra neigiama. Lygybės ženklas lygtyje (22) reiškia, kad sistema yra stacionarioje būsenoje, t.y. vidinės entropijos kitimo greitis yra pastovus dydis, o pastovaus dydžio išvestinė lygi nuliui.

Prigožino teorema nusako ir stacionarios būsenos stabilumą. Galimos kelios sistemos stabilumo būsenos: nestabili, stabili, neapibrėžta ir metastabili. Jos pavaizduotos sekančiame paveiksle.



4.1 pav. Įvairios sistemų stabilumo būsenos.

Iš tiesų, jei sistema randasi stacionarioje būsenoje, tai ji negali iš šios būsenos išeiti savaime, veikiant vidiniams negrįžtamiesiems procesams. Tačiau, jeigu dėka fliuktuacijų sistema nežymiai nutoltų nuo stacionarios būsenos, tai sistemoje turėtų prasidėti tokie vidiniai procesai, kurie vėl sugrąžintų ją į pradinę stacionarią būseną. Toks stacionarios būsenos stabilumo nustatymas analogiškas Le Šatelje ir Brauno principui, nusakančiam sistemos pusiausvyrinės būsenos stabilumą. Šis principas teigia, kad termodinaminėje pusiausvyroje esanti sistema į išorės sąlygų (temperatūros, slėgio) kitimą reaguoja taip, kad sumažėtų išorės poveikis. Pasikeitus išorės sąlygoms, sistemoje prasideda procesai, kurių tikslas – grąžinti ją į pusiausvyrinę būseną. Sistema atsako į išorės poveikį procesu, kuris koku nors būdu neutralizuoja tą poveikį.

Entropijos našumas fizikinėse – cheminėse sistemose yra aprašomas formule:

$$\frac{d_i S}{dt} = \frac{1}{T} \frac{dW_{diss}}{dt} + \frac{1}{T} \sum_{\rho} A_{\rho} \frac{d\varepsilon_{\rho}}{dt} \quad (23)$$

kur  $W_{diss}$  yra darbas, susijęs su disipacijos efektais,  $A_{\rho}$  – artimumas, bendrumas,  $d\varepsilon_{\rho}/dt$  - cheminės reakcijos  $\rho$  vyksmo greitis.

Disipacijos funkcija yra aprašoma [4]:

$$\psi = T \frac{d_i S}{dt} = \frac{dW_{diss}}{dt} + \sum_{\rho} A_{\rho} \frac{d\varepsilon_{\rho}}{dt} \quad (24)$$

Entropijos našumas ir disipacijos funkcija yra sistemos fizikinių ir cheminių procesų jėgos integraliniai indikatoriai.

Atvira (biologinė) sistema savo kitimų (vystymosi) proceso metu randasi nepusiausvyrinėse būsenose, kurias palaiko atitinkami medžiagos ir energijos srautai. Dažniausiai srautu vadinamas

medžiagos masės ar energijos pernešimas per laiko vienetą. Apibendrintosios jėgos stumia sistemą termodinaminės pusiausvyros link. Sistemai esant pusiausvyroje jėgos ir srautai išnyksta.

L. Onzageris suformulavo biologinės termodinamikos pagrindus, aprašančius kelis tarpusavyje susietus srautus, vykstančius vienu metu atviroje sistemoje stacionarios būsenos aplinkoje. Jo sukurta fenomenologinė teorija įgalina paaiškinti svarbius reiškinius, vykstančius biologinėse sistemose.

Jeigu turime atvirą sistemą, kurioje teka du srautai – šilumos srautas ( $J_1$ ) ir difuzinis medžiagos srautas ( $J_2$ ), o šiuos srautus veikia dvi apibendrintosios jėgos, atitinkamai – temperatūrų skirtumas ( $X_1$ ) ir koncentracijų skirtumas ( $X_2$ ). L. Onzageris įrodė, kad arti pusiausvyros egzistuoja tiesinė priklausomybė tarp srautų ir jėgų, be to kiekvienas srautas priklauso nuo visų apibendrintųjų jėgų [5]:

$$J_1 = L_{11}X_1 + L_{12}X_2 \quad (25)$$

$$J_2 = L_{21}X_1 + L_{22}X_2 \quad (26)$$

čia  $L_{12}$  ir kt. – tiesiniai proporcingumo koeficientai tarp srauto 1 ir jėgos 2 ir t.t.

Lygtys (25, 26) vadinamos fenomenologinėmis Onzagerio lygtimis. Jos parodo, kad srautas priklauso ne tik nuo su juo susietos jėgos, bet ir nuo jėgos, kuri nesusieta su srautu. Onzageris įrodė, kad atviroje sistemoje arti pusiausvyros jėgos  $X_2$  įtaka nesusietam su ja srautui  $J_1$  lygi jėgos  $X_1$  įtakai nesusietam su ja srautui  $J_2$ , t.y.

$$L_{12} = L_{21} \quad (27)$$

Srautų susiejimas reiškia, kad atskirai paėmus šie srautai negali tekėti, tačiau veikiant kitoms jėgoms jie sistemoje tampa galimi. Esant susietiems srautams, srautas  $J_1$  gali tekėti dėka srauto  $J_2$ , bet tam būtina sąlyga, kad [5]:

$$\varphi = \sum_{i=1}^n J_i X_i > 0 \quad (28)$$

čia  $\varphi$  - vadinama disipacijos funkcija;  $n$  – apibendrintųjų jėgų ir srautų skaičius atviroje sistemoje.

Disipacijos funkcija gali būti išreiškiama per sistemos vidinę entropiją[5]:

$$\varphi = \frac{T}{V} \frac{d_i S}{dt} \quad (29)$$

čia  $T$  – absoliutinė temperatūra;  $V$  – sistemos tūris.

Iš (28) lygties seka, kad disipacijos funkcija – tai vidinės entropijos kitimo greitis tūrio vienetu.

Matyti, kad svarbus veiksnys, lemiantis biologinės sistemos būseną, yra procesų greitis. Klasikinė termodinamika nagrinėja tik energijos virsmus, tačiau kinetikos klausimų neliečia, todėl savo esme yra termostatika.

Biologinių sistemų termodinamikos pagrindus, įvertinant procesų greitį, sukūrė T. De Donde (T. De Donder), vėliau išvystė L. Onzageris (L. Onsager) ir I. Prigožinas (I. Prigogine) bei jų pasekėjai.

Antrasis termodinamikos dėsnis, aprašantis entropijos pokytį biologinėms sistemoms užrašomas Prigožino lygtimi:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{d_i S}{dt} + \frac{d_e S}{dt} \quad (30)$$

Lygtis (29) parodo, kad atviroje sistemoje bendras entropijos kitimo greitis lygus vidinės entropijos bei išorinės entropijos, atsirandančios dėl sąveikos su aplinka, kitimų greičių sumai.

Atviroje sistemoje visada galioje nelygybė  $\frac{d_i S}{dt} > 0$ . Tuo tarpu  $\frac{d_e S}{dt}$  kitimo ženklas gali keistis priklausomai nuo biologinės sistemos būsenos. Todėl bendrą biologinės sistemos entropijos kitimo greičio ženklą charakterizuoja 3 atvejai:

$$1. \frac{dS}{dt} > 0, \text{ jei } \frac{d_e S}{dt} > 0 \text{ arba } \left| \frac{d_e S}{dt} \right| < \frac{d_i S}{dt} \quad (31)$$

Šis atvejis atitinka žmogaus organizmo senėjimo stadiją, kai artėjama prie mirties (entropija didėja ir galiausiai pasiekia  $S = S_{\max}$ , t.y. termodinaminę pusiausvyrą).

$$2. \frac{dS}{dt} < 0, \text{ jei } \frac{d_e S}{dt} < 0 \text{ arba } \left| \frac{d_e S}{dt} \right| > \frac{d_i S}{dt} \quad (32)$$

Šis atvejis būdingas visiems gyviems organizmams jų augimo bei vystymosi stadijose. Sistemos bendra entropija mažėja, nes į sistemą iš aplinkos patenka neigiamos entropijos srautas.

$$3. \frac{dS}{dt} = 0, \text{ jei } \frac{d_e S}{dt} < 0 \text{ arba } \left| \frac{d_e S}{dt} \right| = \frac{d_i S}{dt} \quad (33)$$



Šis atvejis būdingas subrendusiam žmogaus organizmui, kai atviros sistemos entropija laukui bėgant nekinta ( $S = \text{const}$  – stacionari būseną). Taigi, norint palaikyti atvirą sistemą stacionarioje būsenoje, būtina pastoviai nukreipti iš aplinkos į sistemą neigiamos entropijos srautą, lygų vidinės entropijos srautui.

Paprastai biologiniai procesai vyksta ar kinta eksponentiniu arba Gauso dėsniais. Matavimuose eksponentinis dėsnis atspindi procesą, kurio absoliutinė vertė yra proporcinga to proceso pokyčiui laiko momentu.

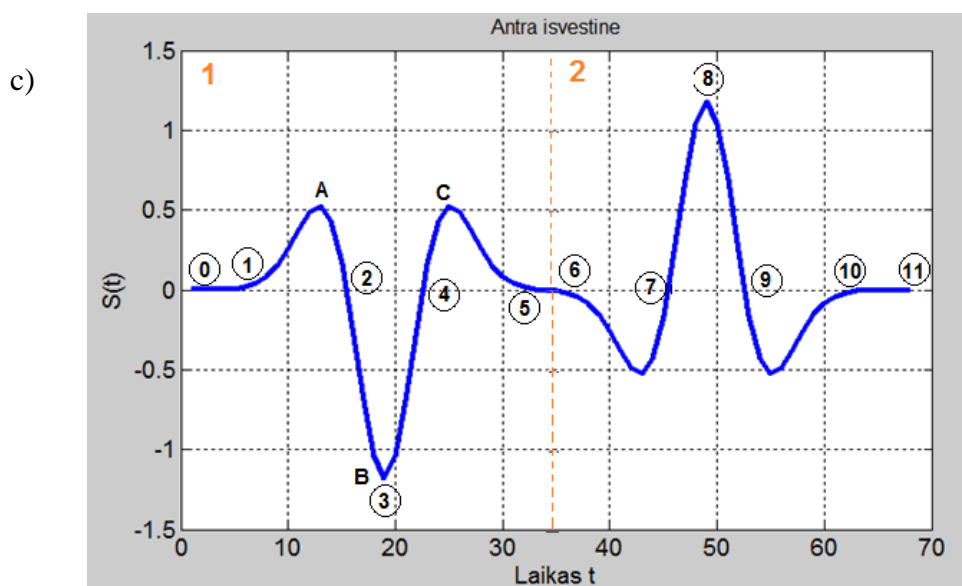
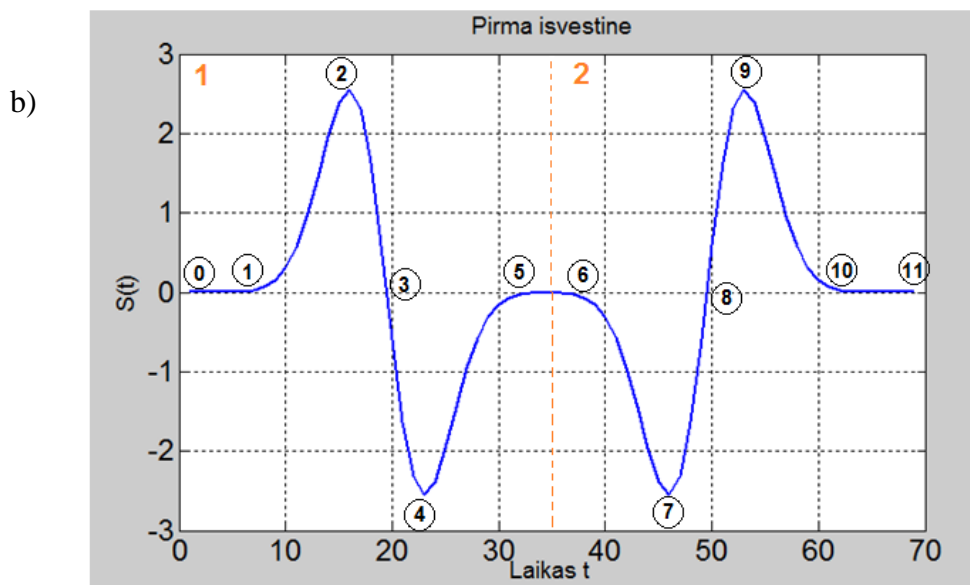
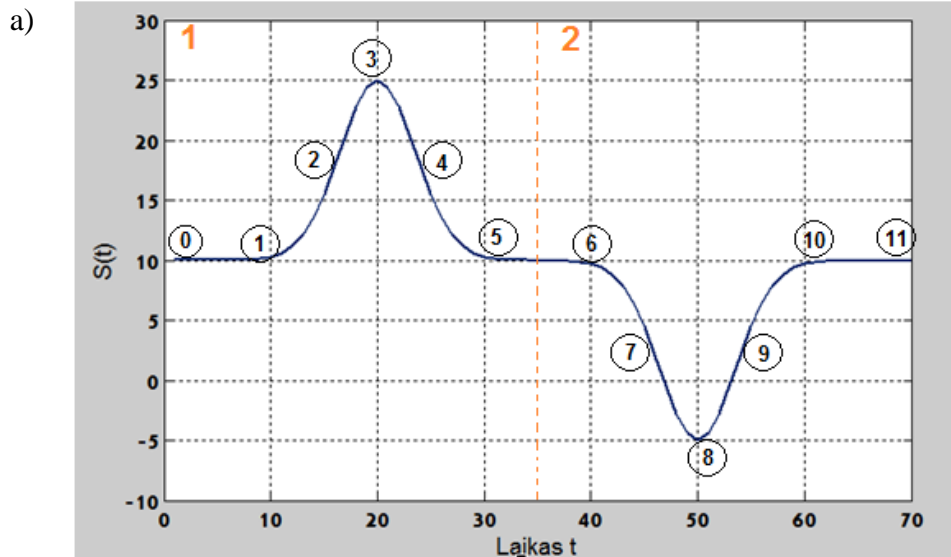
Jeigu turime stacionarią sistemą, kuri tam tikrais laiko momentais yra išvedama iš pusiausvyros būsenos, pvz. žmogus suserga, jam pakyla temperatūra, padažnėja širdies ritmas, tokiu atveju kinta ir entropija. Entropijos pokytis laike bus žymimas  $S(t)$ .

Priimkime, kad entropijos kitimas laike aprašomas funkcija  $S(t)$ :

$$S(t) = s_0 + \Delta s \left( e^{-\frac{(t-T_1)^2}{\Delta^2}} - e^{-\frac{(t-T_2)^2}{\Delta^2}} \right) \quad (34)$$

kur  $S(t)$  – entropijos kitimas laike;  $s_0$  – stacionarios sistemos būseną;  $\Delta s$  – sistemos išvedimas iš pusiausvyros artimoje aplinkoje;  $t$  – laikas,  $T_1$  ir  $T_2$  – laiko momentai.

4.2 pav.  $s_0 = 1$ ,  $T_m = 100$ ;  $A_1 = 1.3502$ ;  $A_2 = 0.849$ ,  $t$  kinta nuo 1 iki 100.



4.2 a) Entropijos kitimas laike dviem skirtingais atvejais. 1 – entropija didėja. 2 – entropija mažėja; b) Funkcijos  $S(t)$  pirmoji išvestinė; c) Funkcijos  $S(t)$  antroji išvestinė

4.2 pav. (a) pateiktame grafike vaizduojama stacionari sistema, kuri skirtingais laiko momentais išvedama iš pusiausvyros padėties. Pirmu atveju, tai laiko intervalai nuo 1 iki 5, antru atveju – nuo 6 iki 10. Laiko intervalais 0-1, 5-6 ir 10-11 sistema yra stacionarioje būsenose, entropija nesikeičia. Jei priimsime, kad laiko momentu 1 organizmas suserga, pavyzdžiui jam pakyla temperatūra, tai šiuo momentu entropija pradeda didėti. Lygiai taip pat ir laiko momentu 6, entropija pradeda mažėti dėl tam tikrų priežasčių. Tiek 1, tiek 6 laiko momentais sistema yra išvedama iš pusiausvyros būsenos. Pirmu atveju sistemos entropija didėja tol, kol pasiekia maksimumą laiko momentu 3. Antru atveju entropija mažėja iki kol pasiekia minimumą laiko momentu 8. Maksimumo ir minimumo pasiekimą įtakoje sergančiame organizme atsirandančios jėgos, kurios priešinasi ligos poveikiui ir stengiasi grąžinti organizmą į stacionarią būseną. Tai galima paaiškinti tokiu pavyzdžiu: kai žmogui pakyla temperatūra, atsiranda didesnis prakaitavimas, kuriuo stengiamasi sumažinti organizmo temperatūrą. Nuo laiko momentų 3 ir 8, galima priimti, kad organizmas sveiksta ir po truputį grįžta į pradinę stacionarią būseną. Laiko momentais 5 ir 10 organizmą į stacionarią būseną grąžinančios jėgos nustoja veikti ir ligos simptomai išnyksta.

Pirmoji funkcijos  $S(t)$  išvestinė nusako jos kitimo greitį. Panaudojus (34) išraišką entropijos išvestinė įgauna pavidalą:

$$\frac{dS(t)}{dt} = 2 \cdot \Delta s \cdot \frac{1}{\Delta^2} \cdot \left( e^{-\frac{(t-T_2)^2}{\Delta^2}} \cdot (t - T_2) - e^{-\frac{(t-T_1)^2}{\Delta^2}} \cdot (t - T_1) \right) \quad (35)$$

Iš 4.2 pav. (b) pateikto grafiko matyti, kad entropijos kitimo greitis mažėja intervale nuo 2 iki 3. Kai entropijos kitimo didėjimo greitis mažėja, organizmas tolsta nuo mirties. Tai reiškia, kad veiksniai, priartinantys organizmą prie mirties, kaip pvz. temperatūros didėjimas, greitas širdies plakimas, padidėjęs kraujospūdis ar kiti susiję faktoriai, nustoja didėti ir pradeda grįžti į normalią būseną. Lygiai tas pats vyksta ir intervale 7-8. Nuo laiko momentų 4 ir 9 atsiranda jėgos ir pradeda vyksti fiziologiniai veiksniai, kurie pagreitina gijimo procesą.

Dėl mažėjančio entropijos kitimo greičio, žmogaus organizmas grįžta į stacionarią, prieš susirgimą egzistavusią būseną. Dažnu atveju liga gali palikti tam tikrų pėdsakų žmogaus organizme. Dėl šių priežasčių organizmas susikuria naują stacionarią būseną ir stengiasi gyvybines funkcijas išlaikyti kaip įmanoma pastoviasnes.

Antroji funkcijos išvestinė parodo jos kitimo pagreitį. Antroji entropijos funkcijos  $S(t)$  išvestinė gaunama iš išraiškos (34) ir įgauna tokį pavidalą:

$$\frac{dS^2(t)}{dt^2} = 4 \cdot \Delta s \cdot \frac{1}{\Delta^2} \cdot \left( e^{-\frac{(t-T_1)^2}{\Delta^2}} \cdot (t - T_1) - e^{-\frac{(t-T_2)^2}{\Delta^2}} \cdot (t - T_2) \right) \quad (36)$$

Iš antros išvestinės, pateiktos 4.2 pav. (c) matyti, koku pagreičiu kinta entropija. Tiek pirmu, tiek antru atvejais kitimas vyksta analogiškai tik į priešingas puses. Todėl abiejų atvejų nagrinėjimas nėra būtinas. Užtenka išnagrinėti pirmąjį, ir lygiai taip pat vyks ir antrasis. Taigi pradžioje entropijos kitimo pagreitis pradeda didėti iki tam tikros vertės (A). Pasiekus šią ribą, pagreitis pasiekia maksimumą ir pradeda staigiai mažėti. Organizme tai galima paaiškinti tokiais pavyzdžiais: pvz. tik pradėjus veikti virusams, organizmo temperatūra vienu momentu šokteli, tačiau po to jos kilimas yra su mažėjančiu pagreičiu. Tai reiškia, kad iki maksimalios temperatūros organizmas prieina su vis mažėjančiu kitimu. Kai entropijos kitimo pagreitis pasiekia tašką B, entropijos kilimas nustoja ir stebimas šeštame paveikslėlyje (4.2 pav.a) pateiktas 3 laiko momentas, kai organizmas pasiekia ligos ir jį veikiančių simptomų stipriausią poveikį. Nuo šio B taško (4.2 pav.c) entropijos kitimo pagreitis vėl pradeda didėti ir organizmas yra skatinamas vykdyti gijimo procesą. Šiuo laiko intervalu, t.y. nuo B iki C, entropijos kitimo pagreitis vėl pasiekia maksimumą. Lyginant su 4.2 pav. a, tai būtų laiko momentas 4. Šioje dalyje dar tebevyrauja užsilikę ligos simptomai, tačiau organizmas jau gali priešintis ligos poveikiui. Nuo C momento entropijos kitimo pagreitis artėja prie minimumo, kol galiausiai tampa lygus nuliui ir visai išnyksta. Tai reiškia, kad organizmas yra visiškai pasveikęs ir nebelieka faktorių, keičiančių organizmo entropiją.

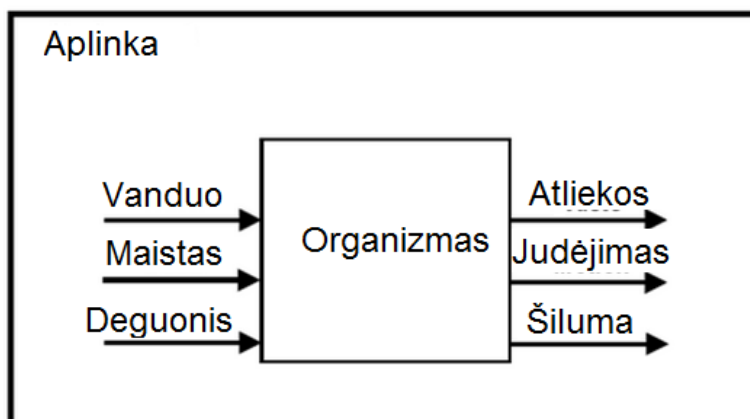
## 4.2 Entropijos kitimas žmogui senėjant

Žmogaus organizmas yra unikali sistema, kurioje vykstantys procesai įtakoja vieni kitus. Pavyzdžiui intensyvesnis fizinis darbas, pagreitina širdies susitraukimų dažnį, nes daugiau dirba raumenys ir jiems reikia energijos ir maistinių medžiagų. O širdis savo ruožtu išpumpuoja deguonies prisotintą kraują. Kadangi visi procesai vienaip ar kitaip susiję, tai ir žmogaus organizmo entropija yra susijusi ir priklauso nuo tų procesų.

Bėgant laikui žmogaus organizmas pradžioje auga, po to bręsta ir tada pradeda senti. Šiose amžiaus stadijose ir organizmas veikia skirtingai. Pvz., širdies darbas su laiku vis lėtėja, raumenys pradeda silpnėti, atsiranda didesnė tikimybė susirgti įvairiomis ligomis. Šiame skyrelyje bus apžvelgti įvairūs organizme vykstantys procesai ir galima jų įtaka entropijos kitimui.

## Gyvenimas ir entropija

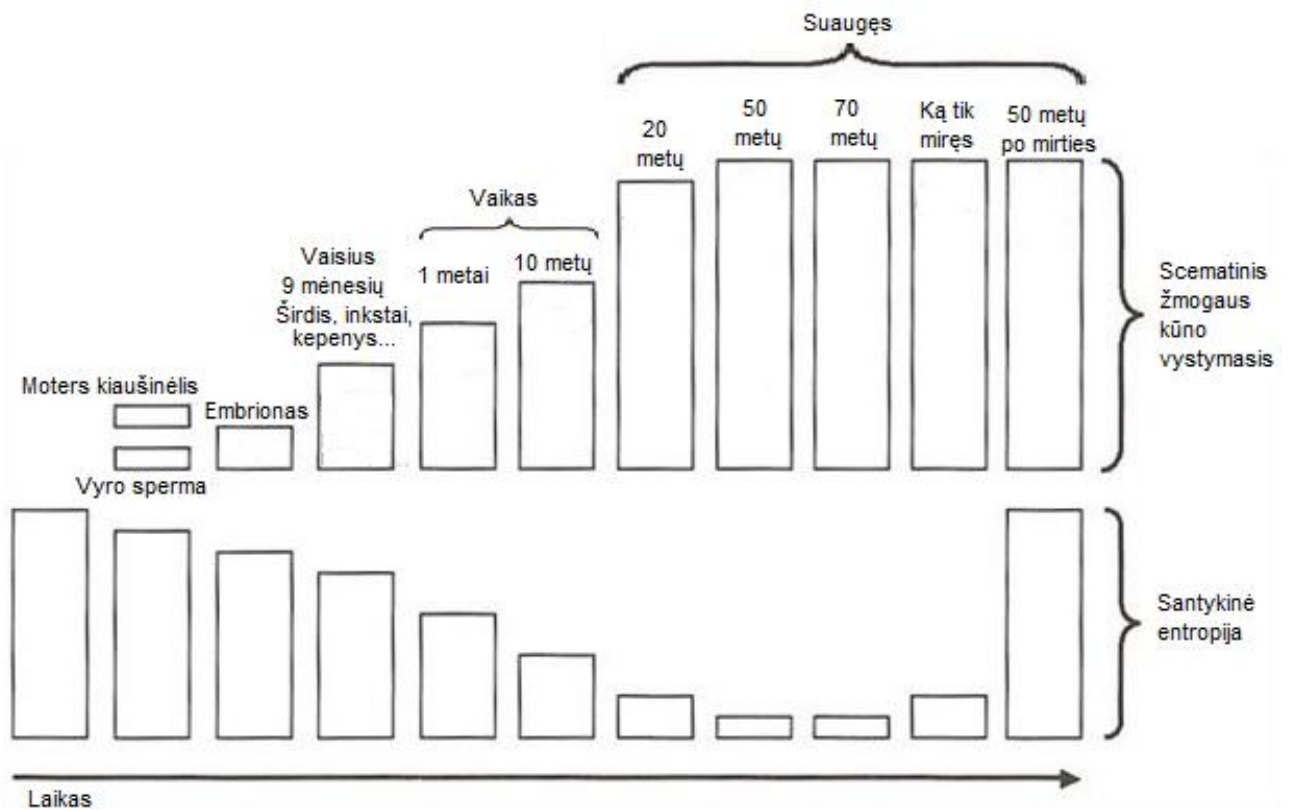
Izoliuotos sistemos, jei joms niekas nedaro įtakos, laikui bėgnat artės prie maksimalios entropijos, dėl pastoviai bus stebimas didėjantis entropijos kiekis, o to pasekoje didėja netvarka. Organizmas yra labai struktūrizuota sistema. Jį sudarančios ląstelės, kuriose vyksta aukšto lygio cheminės reakcijos ir difuzijos procesai (taip pat vadinama metabolizmu), padeda organizmui išlaikyti jo struktūrą, nustatytą DNR koduose. Pereinant nuo mažiausių ląstelių, prie organų, tada viso žmogaus kūno, entropijos kiekis išlieka labai mažas lyginat su kitomis sistemomis. Žmogaus organizmas yra sudėtinga cheminė mašina, kuri leidžia išlaikyti mažą entropijos lygį.



4.3 pav. Organizmas aplinkoje

Visų pirma gali atrodyti, kad organizmo sugebėjimas riboti entropijos kiekį prieštarauja antram termodinamikos dėsnui, kuris teigia, kad izoliuotos sistemos entropijos kiekis visą laiką didėja. Gyvi organizmai nėra nuo aplinkos izoliuotos sistemos. Organizmas su aplinka vykdo mainus, kurių metu keičiasi medžiaga ir energija.

Kaip pavaizduota 9 pav., gyvas organizmas yra įtrauktas į pastovų ir besitęsiantį procesą su jį supančia aplinka. Vykdamas šiuos mainus organizmas sugeba palaikyti mažą entropijos kiekį. Organizmas iš aplinkos paima mažą entropiją turintį maistą ir energiją, bet tuo pačiu į aplinką atiduoda didelę entropiją turinčią šilumą ir kitas atliekas. Jei priimsime, kad organizmas yra aplinkoje, kuri yra apribota (kaip pavaizduota 9 pav.) tai bendras tokios sistemos entropijos kiekis didės. O tai jau neprieštarauja antrajam termodinamikos dėsnui.



4.4 pav. Entropijos kitimas per žmogaus gyvenimą.

Žmogaus organizmas įpatingas tuo, kad gali reguliuoti savo entropijos lygį. Ir ne tik žmogus, bet visi gyvi organizmai sugeba tai daryti. Gyvi organizmai nuo negyvų medžiagų ir sistemų skiriasi tuo, kad gali palaikyti savo entropijos lygį mažą. Negyvos medžiagos – tokios kaip pavyzdžiui akmenys, yra nuolatinio irimo procese. Natūralūs procesai, tokie kaip vandens tekėjimas ar vėjas, pastoviai vis atskiria mažas daleles nuo akmens ir galiausiai jį paverčia smėliu. Dėl tos pačios priežasties po truputį nyksta kalnai, jie žemėja, tampa nebe tokių aštrių formų kaip ką tik susiformavus. Jei taip būtų ir su žmonėmis, tai vos tik gimę mes pradėtume irti, nevyktų augimo, vystymosi ir tobulėjimo procesai. Mes tiesiog suirtume.

Kai gyvas organizmas miršta, jis pradeda greitai irti. Jo struktūra išsisklaido ir tą organizmą sudarančios medžiagos laikui bėgant yra grąžinamos į aplinką paprastų molekulių, tokių kaip vanduo ir geležies oksidas, forma. Aišku, kad šio irimo proceso metu entropija tampa nebe kontroliuojama, ir pradeda augti tol, kol pasiekia maksimalios entropijos ribą.

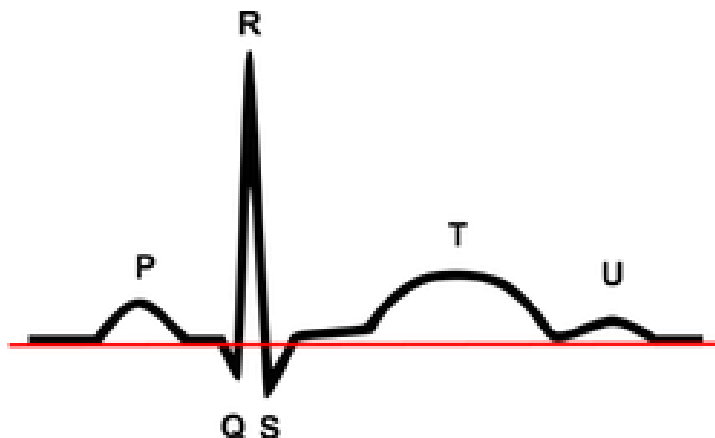
4.4 pav. matyti kaip entropija kinta įvairiose gyvenimo stadijose (prieš gimimą, augant, suaugusio žmogaus, prieš mirtį ir praėjus kuriam laikui po mirties). Paveikslėlio viršuje, kairėje, matyti iš kokių molekulių susiformuoja žmogus. Toliau matyti vaisiaus, vaiko kūno vystymosi etapai iki kol žmogaus organizmas tampa subrendęs. Nuo 20 gyvenimo metų iki mirties žmogaus kūnas beveik nebesivysto ir išlieka pastovios struktūros.

Šio paveikslėlio apačioje pateikiama, kaip keičiasi žmogaus entropija nuo jo susiformavimo stadijos iki mirties ir po jos. Prieš apvaisinimą, kai turime tik atomų ir molekulių rezervuarą, entropija yra santykinai didelė, nes tame rezervuare nėra jokios tvarkos ir struktūros. Visi atomai ir molekulės susimaišę atsitiktinai. Tačiau po apvaisinimo, kai pradeda vystytis žmogaus kūnas, entropija pradeda mažėti, nes molekulės pradeda sustoti į tam tikras pozicijas, suformuodamos tam tikrą griežtą struktūrą. Mažo entropijos lygio palaikymas organizme yra gyvybės ir mirties klausimas. Tačiau po gyvybės nutraukimo, t.y. kai žmogus miršta, entropija vėl pradeda didėti ir pasiekia savo pradinę vertę.

### *Elektrokardiogramos QT ir RR intervalų kitimas žmogui senstant*

Žmogaus organizmo variklis yra jo širdis. Jos pastovus darbas palaiko žmogų gyvą. Širdies darbas gali būti užrašomas fiksuojant jos atskirų dalių susitraukimo momentus ir intensyvumus. Gauta kreivė yra vadinama elektrokardiograma (EKG). Iš EKG aiškiai galima matyti širdies susitraukimų dažnį, intensyvumą, nustatyti ar širdis dirba tinkamu ritmu. Jei pastebimi kokie nors nukrypimai nuo bazinės, kiekvienam individui būdingos ribos, galima spręsti, jog kažkas įtakoja netinkamą širdies darbą. Tai gali būti padidėjęs fizinis krūvis, temperatūrų pokyčiai, liga, stresas, netinkama mityba ir daug kitų faktorių.

Elektrokardiogramoje QT intervalas yra matuojamas nuo QRS komplekso pradžios iki T bangos.



4.5 pav. Žmogaus širdies susitraukimo schematinė diagrama matoma elektrokardiogramoje (normalus sinusinis ritmas) [9]

QT intervalas parodo laiką kai depoliarizuojasi ir repoliarizuojasi skilveliai, ar kitaip susitraukia ir atsipalaiduoja.

QT intervalas būna ilgesnis, kai širdies ritmas yra lėtesnis ir trumpesnis, kai širdies ritmas greitas. Normalus QT intervalas varijuoja priklausomai nuo amžiaus ir lyties, bet dažniausiai trunka

nuo 0,36 iki 0,44 sekundžių. Ilgesnė trukmė už 0,44 s ar lygi 0,5 yra laikoma pavojinga gyvybei, nepriklausomai kokio amžiaus ar lyties yra žmogus [10].

Yra keletas faktorių, dėl kurių gali būti sunku pamatuoti QT intervalą. Pirmą – platus QRS kompleksas elektrokardiogramoje. Antra –T banga nėra aiškiai matoma ir/ar identifikuojama, o tai apsunkina QT intervalo nustatymą. Trečia – nepastovus širdies darbas, kintantis ritmas. Pavyzdžiui esant skilvelių virpėjimui labai sunku nustatyti T dantelį arba jo visai nesimato, o tai labai stipriai apsunkina matavimus.

4.1. lentelė: QT intervalų ribos priklausomai nuo žmogaus amžiaus [10].

	Amžius: nuo 1 iki 15 metų	Suaugęs vyras	Suaugusi moteris
Normalus	Mažiau nei 0.44 sekundės	Mažiau nei 0.43 sekundės	Mažiau nei 0.45 sekundės
Kraštinė riba	0.44 iki 0.46 sekundės	0.43 iki 0.45 sekundės	0.45 iki 0.47 sekundės
Užtęsta	Daugiau nei 0.46 sekundės	Daugiau nei 0.45 sekundės	Daugiau nei 0.47 sekundės

PhysioNet – unikali laisvai prieinama duomenų bazė, kurioje yra daugybė naujausiais tyrimais gautų kompleksinių biomedicininų ir fiziologinių signalų.

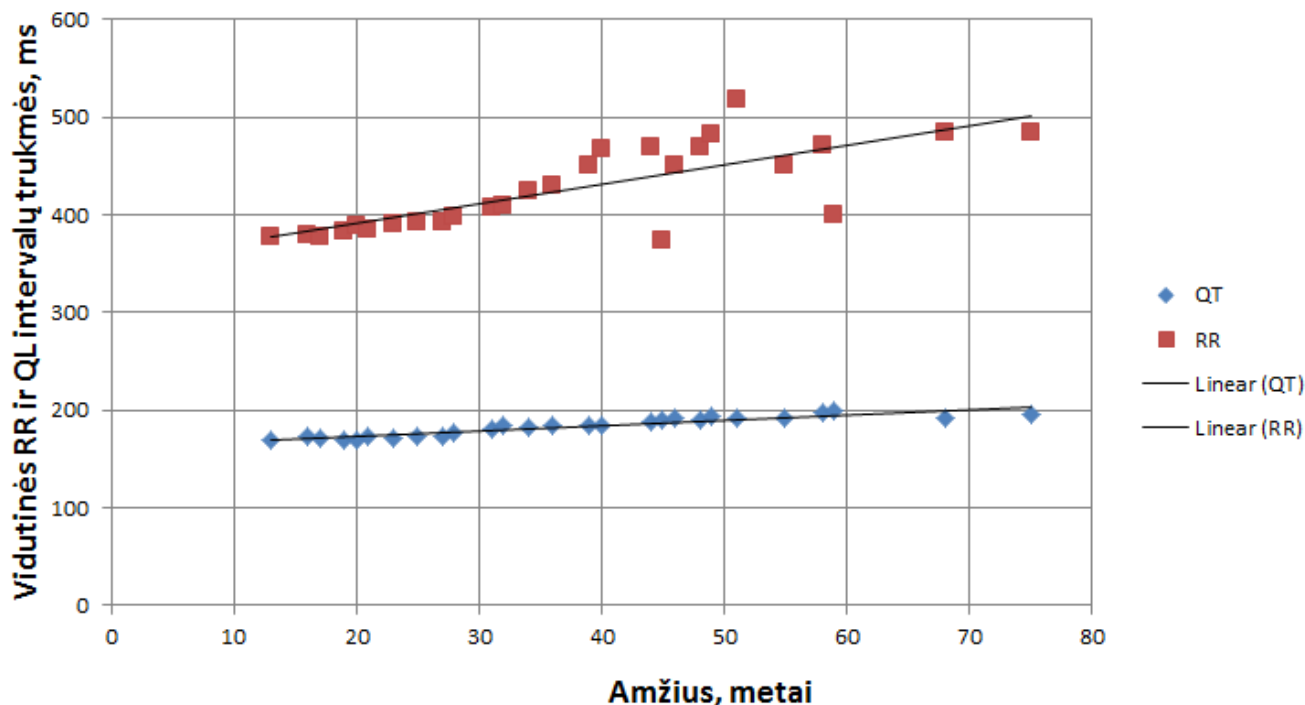
Iš PhysioNet duomenų bazės buvo paimta dvidešimt septynių sveikų įvairaus amžiaus žmonių (nuo 13 iki 75 metų) minutės trukmės elektrokardiogramos. Šios elektrokardiogramos apdorotos Matlab programine įranga. Signalai nufiltruoti panaudojant RIR tipo filtrus, kurių pagalba buvo pašalinti triukšmai. Kiekvienam tirtam EKG signalui buvo nustatyti QT ir RR intervalų vidurkiai, kurie pateikiami 4.2 lentelėje.



4.2. lentelė. QT ir RR intervalų vidurkiai esant tam tikram žmogaus amžiui.

Amžius, metai	QT intervalas, ms	RR intervalas, ms	Amžius, metai	QT intervalas, ms	RR intervalas, ms
13	170	377	39	185	450
16	173	380	40	184	467
17	172	378	44	189	470
19	169	383	45	190	373
20	169	389	46	191	450
21	173	385	48	190	470
23	172	390	49	194	483
25	173	392	51	192	519
27	174	393	55	192	450
28	177	398	58	197	472
31	180	408	59	200	400
32	185	410	68	192	485
34	183	425	75	196	485
36	185	430	-	-	-

Gauti rezultatai pateikiami 4.6 paveikslėlyje:



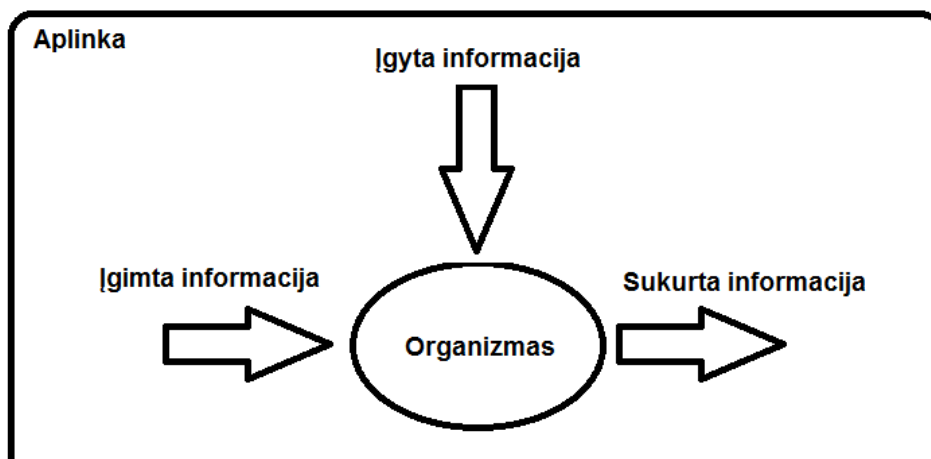
4.6 pav. RR ir QT intervalų kitimas su amžiumi.

Iš gautų rezultatų matyti, kad jaunesnio amžiaus žmonėms (nuo 13 iki 40 metų) QT ir RR intervalas yra trumpesnis nei vyresnio amžiaus. T.y. su amžiumi vienas žmogaus širdies susitraukimo ciklas užima ilgesnį laiko tarpą. Ilgėjantis vienas širdies susitraukimo ciklas gali sukelti padidėjusį spaudimą, gali išsivystyti įvairios širdies ligos, kurios veda žmogaus organizmą prie galutinio taško – mirties.

### 4.3 Informacijos gavimas ir jos kitimas žmogui senėjant

Informacija – tai žinutė, kuri turi atitinkamą reikšmę, prasmę ar indėlis priimant sprendimus ir atliekant veiksmus. Informacija gali būti:

- Įgimta – tokia informacija, kuri užkoduota mūsų DNR;
- Įgyta – informacija, kurią sukaupiame pažindami aplinką, vykstančius procesus, besimokydami;
- Sukurta – tai informacija, kuria žmogus panaudodamas įgimtą ir įgytą informaciją, gali atiduoti kitiems žmonėms, aplinkai, gamtai. Tokios informacijos pavyzdžiais gali būti įvairūs meno kūriniai (paveikslai, skulptūros, muzika, vaidyba ir t.t.)



4.7 pav. Įgimtos, įgytos ir sukurtos informacijos sąryšis su žmogaus organizmu

Iš 4.7 pav. matyti, kad žmogaus organizmas gauna informaciją dviem būdais: įgimtu ir įgytu. Įgimta informacija yra sukuriama vyro spermatoziodui apvaisinant moters kiaušialąstę. Tuo metu suformuojamos nauja, būtent tik tam žmogui būdinga DNR seka, kurioje užkoduojama visa reikalinga, tiek iš kiaušialąstės, tiek iš spermatoziodo paimta genetinė informacija, kurią perduoda tėvai. Šios informacijos žmogus pats pasirinkti negali. Jau augant motinos iščiose vaisius pradeda gauti informaciją iš jį supančios aplinkos. Jau pirmąją savaitę po apvaisinimo, keliaujant kiaušintakiais,

dalijasi vaisiaus ląstelės, kuriose slypi informacija: akių ir plaukų spalva, ūgis, lytis. Būdamas penkiolikos savaičių vaisius pradeda girdėti garsus (motinos širdies plakimą, jos balsą), aštuonioliktą savaitę iš motiną supančios aplinkos, o nuo dvidešimt ketvirtosios savaitės pradeda reaguoti į juos. Dvidešimt septintąją savaitę vaisius gali atsimerkti ir dairytis. O esant ryškiai šviesai iš aplinkos, suvokia, kad galima prisidengti ranka, ir taip apsaugoti nuo akis dirginančios šviesos. Visi šie požymiai rodo, kad dar būdamas išsčiose vaisius pradeda įgyti informacijos ir ją panaudoja.

Įgyta informacija priklauso nuo daugybės faktorių: žmogaus gyvenimo būdo, mitybos, aplinkos, kurioje jis gyvena ir t.t. Šią informaciją organizmas šiek tiek gali įtakoti, pavyzdžiui mokydamasis vienokių ar kitokių dalykų. Įgyti informacijos žmogaus organizmas gali tol, kol jo smegenys funkcionuoja, t.y. tol kol jis suvokia gaunamą informaciją. Tai reiškia, kad žmogus viso gyvenimo metu iki pat mirties gauna ar įgyja tam tikrą informaciją.

Žmogus ne tik priima informaciją iš jį supančios aplinkos, bet gali ją ir sukurti. Sukurti informaciją galima panaudojant tiek įgimtą, tiek įgytą informaciją. Tai gali būti įvairūs meno kūriniai: paveikslai, dainos, melodijos ir t.t. Sukurdamas informaciją, žmogus leidžia kitiems žmonėms įgyti tam tikros informacijos. Todėl vienų sukurta informacija, tampa įgyta informacija, o įgyta informacija gali nulemti tų žmonių palikuonių įgimtą informaciją.

### ***Informacijos kitimas per žmogaus gyvenimą***

Didelė dalis informacijos yra kaupiama žmogaus smegenyse. Informacija kaupiama, kaip mikroskopiniai cheminiai pakitimai neuronų jungimosi taškuose. Smegenys apytiksliai turi 100 milijardų neuronų, kurių kiekvienas jungiasi su daugiau kaip 10 tūkstančių kitų neuronų. Apytikriai apskaičiuavus gaunama daugiau kaip 100 trilijonų jungčių, kitaip vadinamų sinapsėmis. Kai informacija keliauja neuroniniais tinklais per smegenis, neuronų aktyvumas padaro jungtis, sinapses, stipresnes arba silpnesnes. Nuo to priklauso ar informacija bus trumpalaikė ar ilgalaikė.

Hipokampus – tai regionas smegenyse, kurio specializacija yra užkoduoti ir sustruktūrizuoti prisiminimus, ypač autobiografiją ir epizodinius prisiminimus (apie žmones, vietas ir įvykius). Iš šios smegenų dalies informacija keliauja į tam tikras smegenų sritis, kurios atsakingos už tam tikras funkcijas.

Žmogaus gyvenimas yra neatsiejamas nuo jį supančios aplinkos. Tačiau aplinka, kurioje gyvena žmogus, turi labai didelę įtaką smegenų ir neuronų ilgaamžiškumui. Įvairios ligos, alkoholis, traumos žudo neuronus, todėl smegenyse prarandama ir tam tikra dalis informacijos. Dažniausiai žūsta tie neuronai, kurie yra susijungę silpnomis sinapsėmis. Tai reiškia, kad prarandama dalis informacijos įrašytos trumpalaikėje atmintyje. Didelė žala smegenims gali padaryti tokia liga, kaip insultas.

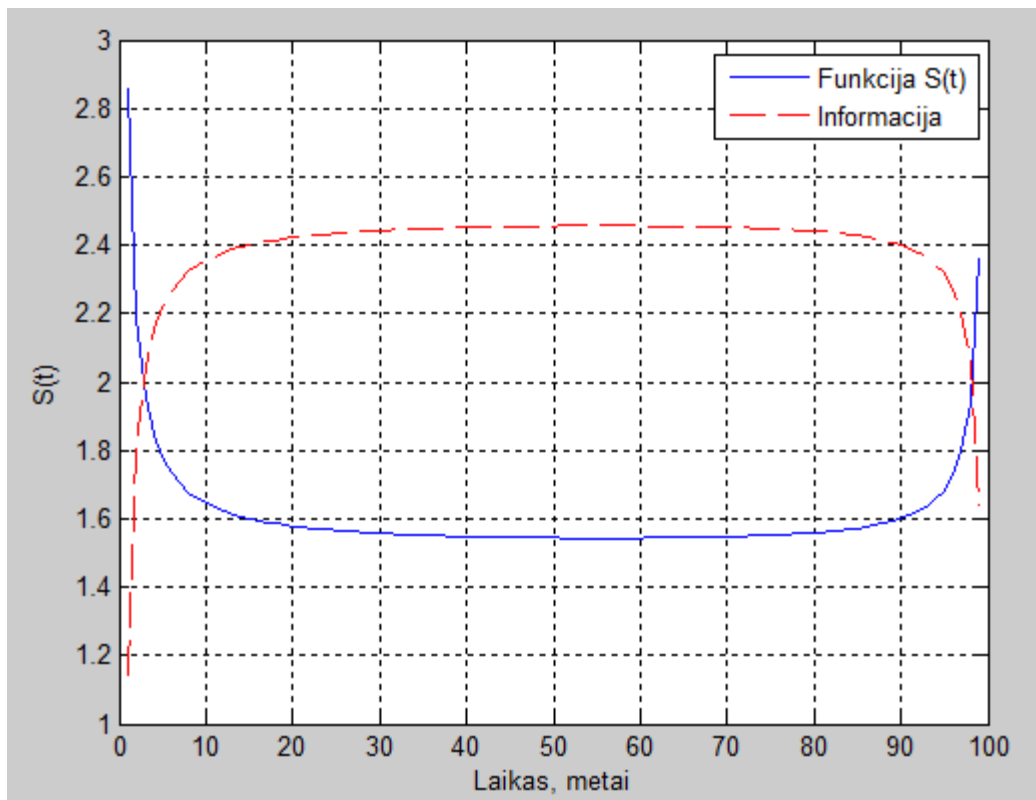
Užsikimšus kraujagyslei, tam tikrai smegenų daliai sustabdomas kraujo padavimas su reikiamu deguonimi. Per kelias valandas gali mirti begalės neuronų, kuriuose užkoduota ir sukaupta labai svarbi informacija. Tas pats vyksta ir išsiliejus kraujui į smegenis, kai taip pat padaroma didžiulė žala. Ištikus insultui apmiršta dalis smegenų, o taip yra prarandama ir didelė dalis informacijos. Jei žmogus po insulto lieka gyvas, dažnu atveju jam tenka iš naujo mokytis vaikščioti, kalbėti, rašyti ir t.t. Tačiau kita vertus, yra tokių atvejų, kai pašalinus 50 % smegenų masės, žmogus gyvena niekuo neišsiskiriantį gyvenimą. Jis ir vaikšto, ir kalba atlieka visas žmogaus organizmui išgyventi reikalingas funkcijas ir ne tik. Tai reiškia, kad net ir turint visas, nepažeistas smegenis, jis panaudoja tik tam tikrą jų dalį. O sumažėjus smegenų masei, kitos smegenų dalys išmoksta ir sukaupia reikiamą informaciją toms funkcijoms atlikti.

Daugybės mokslininkų tyrimai rodo, kad žmogaus smegenyse esantys neuronai žūsta kiekvieną dieną. Tačiau, kadangi jų yra begalo daug, tai turi tik labai nedidelę įtaką informacijos praradimui.

#### **4.4 Prognozuojama entropijos kitimo priklausomybė nuo laiko gyviems organizmams**

Atlikus literatūros analizę ir apibendrinus informaciją galima bandyti prognozuoti, kaip kinta entropija žmogaus organizme, keičiantis jo amžiui (su amžiumi). Žmogaus gyvenimą galima suskirstyti į keletą laikotarpių.

- 1) Vaikystė: nuo 1 d. Iki 12 metų;
- 2) Vyresnysis mokyklinis amžius (paauglystė): 13 - 16 metų;
- 3) Jaunuolio amžius (stabilizuojasilytinė branda): 17 – 20 metų;
- 4) Suaugusio žmogaus amžius: 21 – 50 metų;
- 5) Pagyvenusio žmogaus amžius: 51 – 70-75 metų;
- 6) Senatvė: 70-75 – 90 metų;
- 7) Ilgaamžių tarpsnis: virš 90 metų.



4.8 pav. Entropijos ir informacijos kitimų priklausomybės žmogui.

Funkcija  $S(t)$  aprašoma lygtimi:

$$S(t) = s_0 + (A1 \cdot t^{-1}) + (A2 \cdot (T_m - t)^{-1}) \quad (37)$$

Informacija  $I$  aprašoma lygtimi:

$$I(t) = s_0 + (A1 \cdot t^{-2}) + (A2 \cdot (T_m - t)^{-2}) \quad (38)$$

Kaip matyti iš pateiktos priklausomybės (4.8 pav.), pradžioje, kai žmogus gimsta ir jam augant, entropijos kiekis organizme turėtų mažėti iki tam tikros ribos. Kai organizmas nustoja augti, subręsta, entropija po truputį nusistovi ir daugiau nebemažėja. Toks minimaliai kintantis entropijos kiekis organizme išlieka iki tada, kai žmogus pradeda senti. Senstant žmogaus organizmui entropijos kiekis pradeda didėti ir iki gyvenimo pabaigos didėja. Kai entropija pasiekia maksimumą, žmogus miršta. Tai patvirtina ir Prigožino teorema.

Panašiai galima susieti ir su informacija. Tik čia informacija vertinama jau nebe įgimta, o įgyta. Įgimtą informaciją prilyginame vienetui ir tai bus visa genetinė informacija, kuri perduodama iš tėvų. Čia vertinama tik įgyta informacija, kuri ir gali turėti ryšį su organizmo entropija. Kadangi yra manoma, kad egzistuoja tiesioginis ryšys tarp entropijos ir informacijos, tai informacijos kitimo priklausomybė su amžiumi turėtų būti priešinga. T.y. gyvenimo pradžioje žmogus pradeda pažinti

aplinką, išmoksta naujų dalykų, kaupia informaciją. Šiuo laikotarpiu informacijos kreivė turėtų kilti į viršų (priešingai nei entropijos, kuri krenta žemyn). Pasiiekus tam tikrą tašką naujos informacijos jau būna nebe tiek daug (vaikystės ir paauglystės laikotarpiu žmogus jau būna daug ką išmokęs ir pabandęs, kas davė tam tikros patirties ir informacijos), naudojamas jau sukaupta informacija, dėl to kreivė tam tikrą laiko tarpą išlieka pastovi, t.y. nebekyla. Žmogui senstant, atsiranda įvairių veiksmų, pvz.: ligos, pailgėjęs širdies susitraukimo ciklas ir t.t., iš to seka lėtesnė kraujo apytaka, o dėl to ir silpnėsnis smegenų darbas, nes ląstelės nebegauna pakankamai maistinių medžiagų, kad galėtų palaikyti savo darbiningumą, kas skatina informacijos praradimą. Kitaip tariant, žmogus pradeda užmiršti tam tikrus dalykus, suprastėja jo atmintis ir tuomet prasideda informacijos kreivės kritimas.

#### **4.4 Ryšys tarp informacijos ir entropijos**

Didėjant informacijos ir energijos kiekiui organizme iš aplinkos, gaunamas organizmo bendros entropijos mažėjimas[2]. Informacija yra energinio pobūdžio ir gyvose sistemose ji kompensuoja išsisklaidžiusią į aplinką šiluminę energiją. Informacijos kodavimas, atkodavimas ir perdavimas tarp skirtingų nervų sistemos dalių taip pat yra susijęs su energijų keitimosi lygio padidėjimu.

Visas gamtoje esančios informacijos kiekis išlieka toks pats – arba mažėja, kai entropija didėja [3].

##### ***Informacijos tekėjimas***

Žmonių organizacijos yra tiek pat informatyvios kaip ir energetinės sistemos, ir abiejų energijos ir informacijos kitimas yra vieni nuo kitų priklausomi. Informacijos keitimasis jau savaime energijos reikalaujantis procesas. Kadangi organizacija yra didelė atvira sistema, turinti savo struktūrą, augimą, plėtimąsi ir t.t., ją galima prilyginti ir žmogaus organizmui.

Pradžioje organizacijos būna mažos, augančios, besivystančios, lygiai taip pat kaip kūdikis. Kadangi nauja organizacija dar neturi sukaupusi pakankamai reikiamos informacijos, jos augimas vyksta darant tam tikrų klaidų, mokantis ir taip tobulėjant. Lygiai kaip ir vaikas. Jis ką tik gimęs be aplinkinių pagalbos neišgyventų, taip ir organizacijai reikia pagalbos iš tam tikrą informacijos kiekį sukaupusių žmonių.

Vaikui augant, jam vystantis, jis kaupia reikalingą informaciją, kurios panaudojimas jam leis tolimesniame gyvenime įsitvirtinti ir būti savarankišku. Kaip jau minėta anksčiau, informacijos keitimasis ir naudojimas savaime energijos reikalaujantis procesas. Kuo daugiau informacijos sukaupia

žmogaus smegenys, tuo sunkiau ją apdoroti. Dėl to dauguma dalykų yra tiesiog pamirštami po tam tikro laiko. Nepaisant to, lieka vis tiek didžiulis kiekis informacijos.

Kiekvieną kartą žmogui galvojant, ir panaudojant turimą informaciją, dirbą jo smegenys, o tai sunaudoja daug energijos. Iš to seka, kad didėjant apdorojamos informacijos kiekiui, žmogus išnaudoja vis daugiau energijos ir kitų fiziologinių išteklių.

#### **4.5 Hipotezė**

Atlikus įvairius fiziologinių žmogaus organizmo funkcijų kitimų tyrimus, tokius kaip EKG kitimas su žmogaus amžiumi, homeostazės vyksmo krypties įvertinimas ir analizė, ir remiantis jais ir literatūros analize, galima formuluoti tokią hipotezę:

- Gyvuose organizmuose galimas tiesioginis ryšys tarp entropijos ir informacijos.

## 5. Išvados

1. Atlikus literatūros analizę nustatyta, kad egzistuoja ir yra galimas ryšys tarp žmogaus organizmo entropijos ir jo sukauptos informacijos. Kai kuriuose šaltiniuose teigiama, kad egzistuoja tiesioginis ryšys tarp entropijos ir informacijos. Tik įvykus apvaisinimui entropijos lygis būna aukštas, tačiau organizmui vystantis, jo struktūra darosi vis labiau organizuotesnė ir entropijos kiekis sumažėja. Entropijos lygio mažėjimas vyksta iki tol, kol organizmas subręsta. Tuomet entropijos mažėjimas nebevyksta ir išlieka tam tikrą laiką pastovus bet mažas. Artėjant prie mirties entropijos kiekis pradeda didėti. Didėjimas vyksta ir po mirties, kol pasiekiami pradinė vertė..

Žmogaus organizmo vystymosi metu yra kaupiamas didelis kiekis informacijos. Su laiku informacijos kiekis vis didėja iki tol, kol pasiekiamas riba, kai informacijos kiekis organizme tampa pastovus ir nusistovi. Tačiau bėgant laikui ir organizmui pradėjus senti, dalis informacijos yra pamirštama. Informacijos panaudojimas organizme reikalauja tam tikros energijos, o didesnis energijos sunaudojimas pagal antrąjį termodinamikos dėsnį mažina entropijos kiekį.

Iš gautų sąryšių galima teigti, kad didėjant informacijos kiekiui organizme, entropijos kiekis mažėja. Ir atvirkščiai, didėjant entropijos kiekiui gyvuose organizmuose, mažėja informacijos kiekis ir jo panaudojimas.

2. Buvo panaudota PhysioNet duomenų bazė, iš kurios paimta įvairaus amžiaus sveikų žmonių elektrokardiogramos.

3. Atlikus 27 įvairaus amžiaus ( nuo 13 metų iki 75 metų) žmonių minutės trukmės elektrokardiogramas, nustatyta, kad su amžiumi tiek intervalas tarp prieširdžių susitraukimų (RR), tiek intervalas tarp vieno širdies ciklo QT dantelių, su laiku didėja. Tai įtakoja įvairių gyvybinių funkcijų veiklą, todėl turi įtakos bendram viso organizmo entropijos kitimui.

4. Panaudojus Prigožino teoremą ir išanalizavus žmogaus homeostazės kitimų dėsningumus, nustatyta, kad bet kokie veiksniai išvedantys žmogaus organizmą iš pusiausvyros būsenos, t.y. susirgimas, trauma, stiprus aplinkos sąlygų pasikeitimas, veikia žmogaus fiziologinius procesus, širdis pradeda intensyviau arba lėčiau dirbti. Tai iš dalies prisideda prie entropijos kitimo žmogaus organizme.

5. Sudarytas žmogaus organizmo entropijos ir informacijos kitimų bėgant laikui modelis, bei suformuluota hipotezė, kuri teigia, kad yra galimas tiesioginis ryšys tarp entropijos ir informacijos.



## 6. Literatūros sąrašas

- [1] - KTU Tarptautinių žodžių žodynas <http://www.ukc.ktu.lt/zodynas/word.php?zodis=entropija> (žiūrėta 2014m. vasario 23d.);
- [2] - *Behavioral and Morphological Asymmetries in Vertebrates*, edited by Yegor B. Malashichev and A. Wallace Deckel. Chapter 10, Marina P. Chernisheva, *Asymmetry Function and Brain Energy Homeostasis*. 2006 Landes Bioscience.;
- [3] - *The Retroactive Universe: Quantum Kabbalistic Cosmology & the Meaning and Purpose of Life (Mind, Free Will & the Garden of Eden) Chapter13*. Avi Rabinowitz, 1993.  
<https://files.nyu.edu/air1/public/RetroactiveUniverse.htm>;
- [4] - *Entropy Principle for the Development of Complex Biotic Systems. Organisms, Ecosystems, the Earth*. Ichiro Aoki, 2012.;
- [5] - *Biofizika*. A. Kopustinskas, G. Kopustinskienė, Kaunas, 2009.
- [6] - *The Increase of the Functional Entropy of the Human Brain with Age*. Y.Yao, W.L. Lu, B.Xu, C.B.Li, C.P.Lin, D.Waxman & J.F.Feng. Published: 9 October 2013, Computational Biology and Bioinformatics.;
- [7] - *The Mystery of Life's Origin: Reassessing Current Theories*. Charles B. Thaxton, Walter L. Bradley, Roger L. Olsen. 131 – 140 psl.;
- [8] - *Practical Biomedical Signal Analysis Using Matlab*. Katarzyna J. Blinowska and Jaroslaw Zygierewicz, University of Warsaw, Poland 2012.;
- [9] - <http://www.premiummedical.lv/pieaugu%C5%A1ajiem/izmekl%C4%93jumi-ultrasonogr%C4%81fija-anal%C4%ABzes-rentgens/ekg> (žiūrėta 2015-04-14);
- [10] - *The QT interval: How long is too long?* Natalie K. Cox, RN. McLeod Regional Medical Center, Florence, S.C. 2011 Lippincott Williams & Wilkins.;
- [11] - *On the Dynamic Equilibrium in Homeostasis*. G.Hegyí, G. Vincze, A. Szasz. *Open Journal of Biophysics*, 2012,2,64-71.;
- [12] - *The Social Psychology of organizations*. Daniel Katz & Robert L. Kahn.;
- [13] - <http://news.harvard.edu/gazette/1996/10.03/AgingBrainsLose.html> (žiūrėta 2015m. balandžio 26d.);
- [14] - *Neocortical neuron number in humans: effect of sex and age*. H.J.G.Gundersen, Neurological Research Laboratory, Martholin Instituttet, Denmark, *The Journal of Comparative Neurology* 08/1997; 384(2):312-20.

## 7. Priedai

- Funkcijos  $S(t)$ , aptartos 4.2 skyrelyje Matlab programos kodas:

```
clear all; close all; clc;

s0=1;
Tm=100;
A1=1.3502;
A2=0.849;
t=1:100;

S(t)= s0+(A1*t.^(-1))+(A2*((Tm-t).^(-1)));
S2(t)= s0+(A1*(t.^(-1).^2))+(A2*((Tm-t).^(-1).^2));
Z=S(t)*(-1)+3;

%S(t)=(A1/t)+(A2/(Tm-t));

%figure
%plot(S2(t));
figure
plot(S(t));
figure
plot(Z);

figure
plot(S(t), 'color', 'b')
hold on
plot(Z, '--r')
hold off
grid on
box on
legend ('Funkcija S(t)', 'Informacija');
xlabel('Laikas, metai')
ylabel('S(t)')
xlim([0 100])
ylim([0.5 2.5])
```

- Modelio sudarymas, užrašytas Matlab programoje:

```
clear all; close all; clc;

s0=1.5;
Tm=100;
A1=1.3502;
A2=0.849;
t=1:100;

S(t)= s0+(A1*t.^(-1))+(A2*((Tm-t).^(-1)));
S2(t)= s0+(A1*(t.^(-1).^2))+(A2*((Tm-t).^(-1).^2));
Z=S(t)*(-1)+4;

%S(t)=(A1/t)+(A2/(Tm-t));

%figure
%plot(S2(t));
figure
```

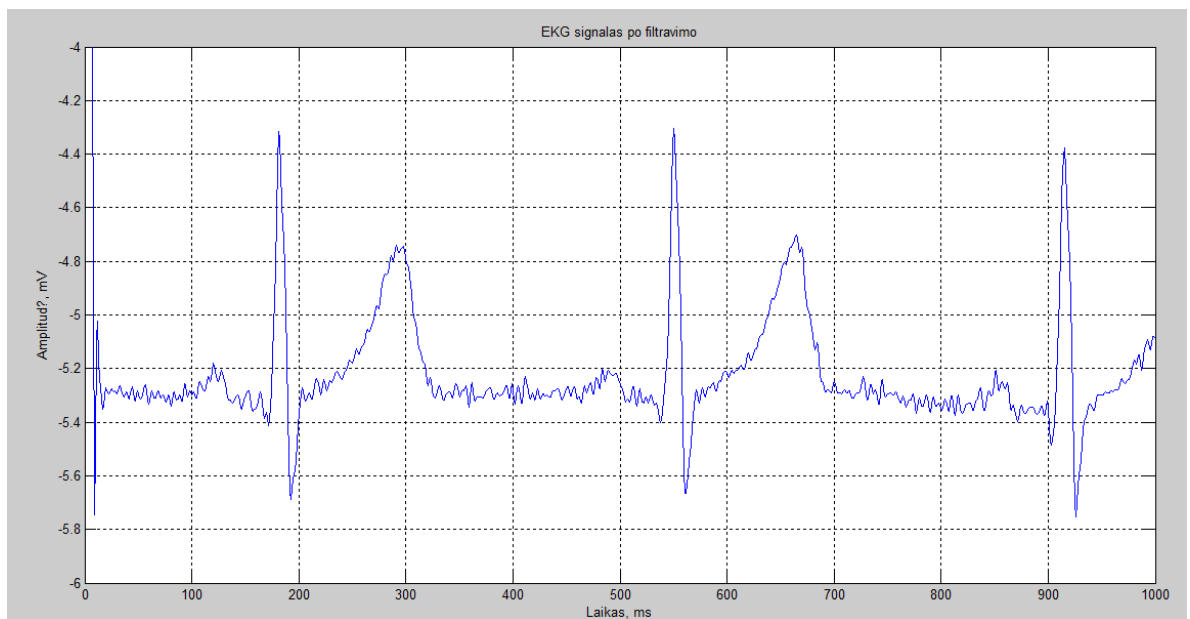
```

plot(S(t));
figure
plot(Z);

figure
plot(S(t), 'color', 'b')
hold on
plot(Z, '--r')
hold off
grid on
box on
legend ('Funkcija S(t)', 'Informacija');
xlabel('Laikas, metai')
ylabel('S(t)')
xlim([0 100])
ylim([0.5 2.5])

```

- Sutrumpinta elektrokardiograma, kuri gauta iš PhysioNet duomenų bazės ir apdorotas Matlab programoje. Pateikiamas vienas pavyzdys. Iš viso pnaudoti 27 skirtingų pacientų minutės trukmės EKG signalai.



7.1 pav. 13 metų sveiko žmogaus elektrokardiograma.