

### ***Mīļie studenti***

Šī definīciju brošūra ir paredzēta Jums kā palīgglīdzeklis, kas Jums palīdzētu apgūt bioloģiskās kibernetikas pamatus. Taču es gribu uzsvērt, ka šis materiāls var tikai papildināt lekcijas, bet nekādā gadījumā nav domāts, lai patstāvīgi apgūtu šo priekšmetu. Kibernetika ir daudz vairāk nekā definīcijas, svarīga ir to interpretācija un piemērošana reāliem procesiem dabā. Mans mērķis bija nodrošināt Jums iespēju ātri atrast precīzas definīcijas un jēdzienu skaidrojums, kas kibernetikā ir strikti noteikti un parasti nepieļauj brīvu interpretāciju. Diemžēl jāatzīst, ka latviešu valodā vēl nav vispārpieņemtas kibernetiskās terminoloģijas. Tas var radīt zināmas terminoloģiskas atšķirības dažādu autoru darbos, kā arī straujas terminoloģijas izmaiņas laika gaitā.

Šīs priekšzināšanas Jums palīdzēs pareizi un loģiski formulēt zinātniskā darba fundamentālos un konkrētos mērķus, kā arī iemācīs saskatīt vadības un regulācijas mehānismu fascinējošo burvīgumu un varenību dzīvajā dabā.

*Esmu Jums ļoti pateicīgs par Jūsu labestīgo attieksmi un izrādīto interesi, kas mani iedvesmoja manā darbā.*

Ingvars Birznieks

## Kibernētikas priekšmets

Kibernētika ir zinātne par vadības un regulācijas vispārējām likumsakarībām.

Kibernētika ir patstāvīga zinātne, kas visus procesus apskata lietojot matemātiskās formalizēšanas un modelēšanas metodes.

Kibernētikas galvenie uzdevumi ir izziņāt:

- sarežģītu sistēmu organizācijas principus un to pašregulācijas likumsakarības;
- informācijas pārnesanas un apstrādes principus.

Viens no kibernetikas mērķiem ir izveidot tehniskas sistēmas, kuru vadības mehānismi pēc iespējas efektīvāk spētu piemēroties dažādu ārēju faktoru iedarbībai un pildīt sistēmas raksturīgo funkciju optimālā variantā.

Bioloģiskā kibernetika ir zinātne par dzīvībai raksturīgiem vispārējiem un konkrētiem mērķtiecīgās regulācijas mehānismiem un to aktīvu mijiedarbību ar apkārtējo vidi.

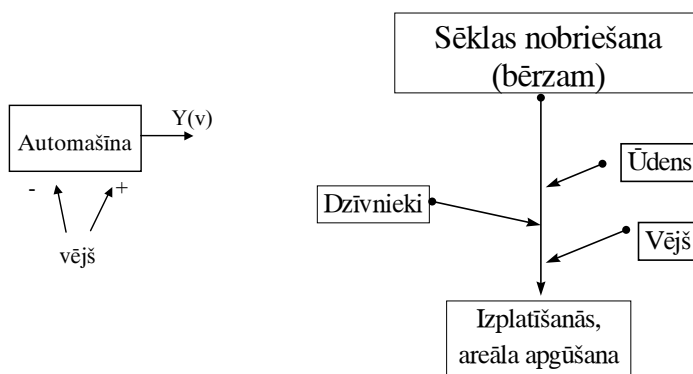
## Sistēmu teorija

Nav absolūti viennozīmīgas un vispārpieņemtas definīcijas, kas ir sistēma. Dažādi autori izmanto dažādas definīcijas un atšķirīgi tās interpretē.

- Vienkāršākā variantā *par sistēmu uzskata jebkuras materiālas dabas elementu kopumu, kuri mijiedarbojas viens ar otru noteiktā veidā.*
- *Vēlāk konkretizējot šo jēdzienu, par sistēmu uzskatīja elementu kopumu, kas **mērķtiecīgi** mijiedarbojoties realizē noteiktu funkciju, kuras veikšanai šī sistēma ir piemērota.*

Tātad pirmo skaidrojumu no otrā atšķir tas, ka, pirmkārt, sistēma veic kādu konkrētu funkciju un, otrkārt, tās elementu mijiedarbība no sistēmas funkcijas viedokļa ir mērķtiecīga.

Lai izprastu *mērķtiecīgas* mijiedarbības jēdzienu sistēmā aplūkosim divus piemērus: “automašīna”, kuras funkcija ir pārvietoties ar kādu noteiktu ātrumu, un sistēma, kuru varētu nosaukt “berza izplatīšanās” un kuras funkcija ir nodrošināt sēklu izplatīšanos un jaunu areālu apgūšanu.



Pirmajā sistēmā vēja iedarbības rezultātā automašīnas pārvietošanās ātrums var palielināties vai samazināties, tomēr vējš ir tikai viens no ārējiem faktoriem, kas iedarbojas uz sistēmu, bet nav šīs sistēmas elements, jo nav *mērķtiecīgas* iedarbības pazīmju: vējš neveic sistēmas regulatoro funkciju. Turpretī vējš otrajā sistēmā ir viens no būtiskākajiem elementiem, kas realizē sistēmas

funkcijas izpildi (bērza sēklu izplatīšanu) un tātad tā iedarbība ir mērķtiecīga no sistēmas funkcijas viedokļa.

Ievērojot augstāk minētos principus, varam formulēt definīciju, kas visprecīzāk atbilst bioloģiskās kibernetikas uzdevumiem.

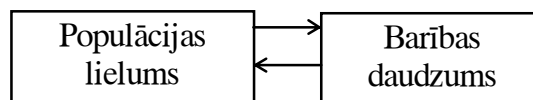
**D. Sistēma ir relatīvi elementāru mijiedarbojošos struktūru vai procesu kopums, kas ir piemērots kādas noteiktas kopīgas funkcijas veikšanai.**

Sistēmas īpašības:

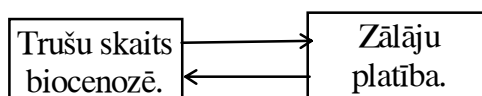
1. ***Tā mijiedarbojas ar ārējo vidi un citām sistēmām kā viens vesels.*** Faktoru iedarbība nav mērķtiecīga, jebkura iedarbība vai nu maina sistēmas integritāti (grauj to) vai arī caur ieejas parametriem sistēmā maina tās izejas parametrus. Ja ārējās vides iedarbība ir vērsta it kā tikai uz vienu no sistēmas elementiem, visas sistēmas izejas parametri tik un tā mainīsies. Citā gadījumā ārējās vides iedarbību uz vienu elementu var kompensēt elementi, kuru funkcija ir kompensēt ārējās vides ietekmes. Piem: Elektromehānisko sensoru īpašības dažādās temperatūrās var būtiski mainīties. Tad, lai sistēma iegūtu precīzu informāciju no sensora jebkuros apstākļos un nodrošinātu izejas funkcijas nemainību, ir nepieciešama tāda pārrēķina funkcija, kas sevī ietver arī temperatūru (kompensē temperatūras ietekmi). Temperatūras izmērīšanu un attiecīgo korekciju nodrošina citi sistēmas elementi.  
*Tātad tieši vai pastarpināti jebkura ārēja iedarbība mijiedarbojas ar sistēmas izejas parametru kontroles mehānismiem, kas praktiski nozīmē iedarbību uz sistēmas veicamo funkciju - tātad visu sistēmu, jo katras sistēmas būtība slēpjas izejas parametru kontrolē.*
2. ***Sistēmas funkcija ir kvalitatīvi atšķirīga un nav reducējama uz tās atsevišķo komponentu funkcijām.***
3. ***Tā sastāv no zemāku līmeņu sistēmu hierarhijas.***
4. ***Tā ir augstāku līmeņu sistēmu apakšvienība.***
5. ***Saglabā vispārējo elementu mijiedarbības struktūru, ja sistēma maina stāvokli.***

Sistēmas integritāte izpaužas tikai noteiktos apstākļos atbilstoši mūsu izvirzītiem izziņas mērķiem.

Piemēram sistēma, kas raksturo vienu no populācijas lieluma regulācijas principiem *vispārīgā veidā*.



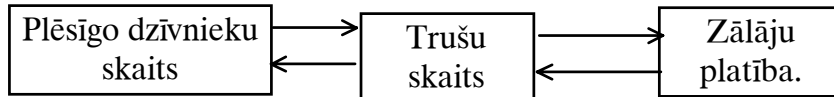
Tomēr dzīvā dabā jebkuras populācijas lielums ir atkarīgs no garas barības ķēdes un vides apstākļiem. Tātad augstāk minētā sistēma ir pareiza, bet tikai noteiktos apstākļos un atkarībā no mūsu izziņas mērķiem – no tā, ko mēs ar šo sistēmu vēlamies raksturot. Nav pareizi sistēmu sarežģīt, iekļaujot tajā daudz tādus elementus, kuru iedarbība ir ārpus mūsu izziņas mērķiem vai ir maznozīmīga konkrētos apstākļos.



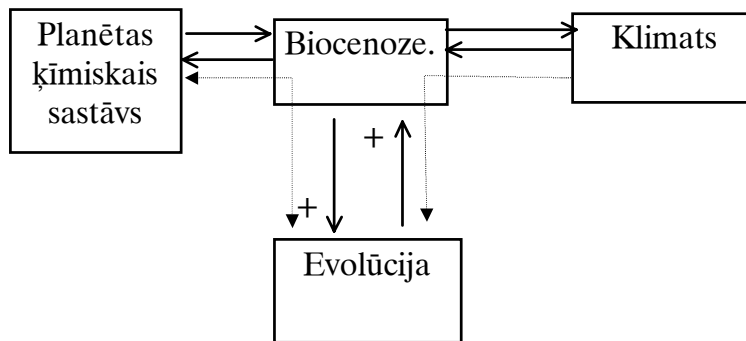
Piemēram sistēma, kas raksturo trušu skaita regulācijas principus biocenozē. Ja šis modelis ir attiecināms uz kādu konkrētu apgabalu piemēram Austrālijā, kur trušiem nav dabīgo ienaidnieku, tad var teikt, ka sistēma ir sastādīta adekvāti. Konkrētā gadījumā kāds krokodils vai čūska darbojas tikai kā viens no faktoriem, kas nonāk saskarē ar šo sistēmu, bet nav elements,

kas piedalās tās regulācijā, jo tā ietekme ir nebūtiska. Citā piemērā *ekstremāli laika apstākļi* var būtiski *iedarboties* uz šo sistēmu, piespiest sistēmai mainīt savu stāvokli, bet, neskatoties uz šī faktora būtisko ietekmi uz sistēmu, tie var nebūt sistēmas elements, jo tie nemaina sistēmas būtību un *elementu mijiedarbības struktūru*. Turpretim, ja mēs konkrēti pētām īpatņu skaita izmaiņas populācijā, tad *laika apstākļi* ir iekļaujami sistēmā kā tās būtisks elements.

Citos apstākļos, kur trušu skaitu būtiski regulē augstāks barības ķēdes posms – plēsīgie dzīvnieki, sistēmai būtu jāizskatās sekojoši:



Visu šo sistēmu var iekļaut augstāka līmeņa sistēmā kā vienu no elementiem “biocenoze”:



*Piezīme:* Viens no sistēmas elements ir materiālas dabas – “klimats”, bet cits – “evolūcija” ir process. Definīcija to pieļauj, ka sistēma ir gan struktūru, gan procesu kopums.

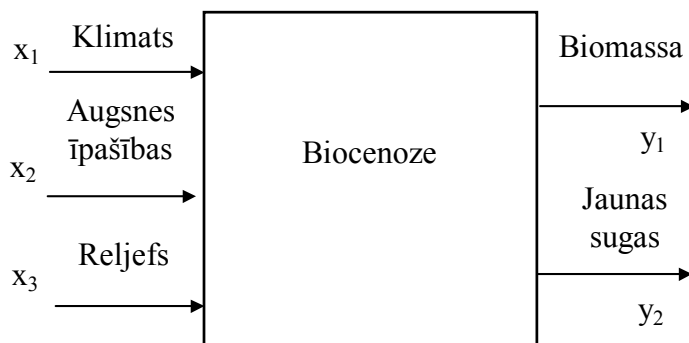
*Biocenozes* attiecības veicina *evolūciju*, jo izdzīvo tikai tas īpatnis, kas labāk par citiem piemērots barības iegūšanai un vislabāk adaptējas videi. Un otrādi - *evolūcijas* rezultātā pieaug sugu pielāgošanās kvalitāte kā arī pieaug līdzās pastāvošo sugu skaits, jo pakāpeniski tiek papildītas visas nišas un *biocenozes* attiecības kļūst arvien sarežģītākas.

*Klimats:* augu valsts attīstība *biocenoze* veido mitruma režīmu; ietekmē pārpurvošanās, erozijas utl. procesus. *Klimats* vistiešākā veidā ietekmē *biocenozes* attiecības un paralēli (bet ne pa to pašu ceļu) caur *biocenozi* būtiski ietekmē *evolūciju*, piespiežot meklēt jaunu pielāgošanās risinājumus.

*Planētas ķīmiskais sastāvs:* būtiska ir mikroorganismu evolūciju, kā rezultātā atmosfērā izveidojās skābeklis un ļāva būtiski paaugstināt dzīvnieku vielmaiņas efektivitāti, kas bija nepieciešama sarežģītu fizioloģisko pielāgošanās mehānismu darbībai un daudzšūnu dzīvnieku tālākai attīstībai.

*Piezīme:* Studentu ievēribai vēlos piebilst, ka šāda sistēma var noderēt radošās domas attīstībai, bet zinātniskiem mērķiem ir pārāk sarežģīta, plaša un nenoteikta. Tāpēc iesaku izvairīties no šādu sistēmu veidošanas un konkrētizēt sistēmas uzdevumus.

Sistēmas kvantitatīvai analīzei var lietot arī citu blokshēmu veidu ar ieejas un izejas parametriem.



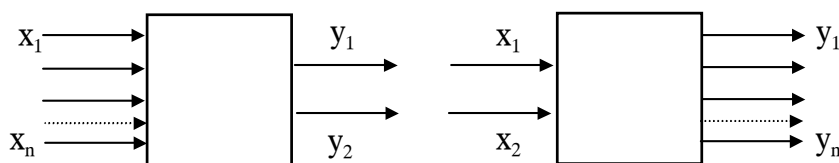
$x_i$   $y_i$  – attiecīgi ieejas un izejas mainīgie

Sistēmas uzvedību var ilustrēt dažādos veidos:

- ar blokshēmām, kas ilustrē elementu mijiedarbību
- ar kvantitatīvo attiecību blokshēmām, kas operē ar ieejas un izejas mainīgajiem
- ar grafikiem jeb līknēm

#### D. Sistēmas brīvības pakāpju skaitu nosaka neatkarīgo mainīgo skaits.

Brīvības pakāpju jēdziens bioloģiskās sistēmās ir vairāk ir abstrakts nekā precīzs matemātisks jēdziens. Pirmkārt, dzīvā dabā viss ar visu ir saistīts caur daudz un dažādām atgriezeniskām saitēm, tāpēc mainīgos var uzskatīt par neatkarīgiem tikai nosacīti. ir ieejas un izejas mainīgie, kuru skaits ieejā un izejā ir dažāds.



*Piezīme:* varbūtības teorijā jēdziens “brīvības pakāpes” apzīmē kopējo sistēmas iespējamo stāvokļu skaitu. Šāds jēdziena skaidrojums bioloģiskām sistēmām parasti nav piemērojams, jo sistēmām var būt praktiski bezgalīgs iespējamo stāvokļu skaits.

Sistēmas raksturo:

1. Pēc to organizētības pakāpes - to nosaka elementu skaits un mijiedarbības daudzveidība;
  - vienkāršas dinamiskas sistēmas;
  - sarežģītas sistēmas, kuras var aprakstīt;
  - ļoti sarežģītas - nevar aprakstīt visus atsevišķo elementu līmenī.
2. Pēc determinācijas jeb noteiktības pakāpes;
  - determinētu sistēmu uzvedību var precīzi prognozēt, zinot ieejas parametrus; Piem. metot akmeni, var precīzi aprakstīt tā ātrumu noteiktā laika momentā.
  - varbūtīgas sistēmas - ārējo ietekmju un visu sistēmas elementu mijiedarbība ir tik sarežģīta, ka šīs attiecības ir nereāli formulēt un līdz ar to rezultātu ir grūti paredzēt.

Īstenībā arī dabā visi procesi ir cēloņsakarīgi un teorētiski visas sistēmas ir iespējams aprakstīt kā determinētas, ja ir izzināta visu faktoru mijiedarbība. Varbūtīgās sistēmās kauzalitāte ir spēkā tādā pat mērā kā determinētās.

### 3. Pēc vadības un kontroles mehānismu hierarhijas organizācijas

*Piezīme:* tagad runa ir par vadības hierarhiju vienas sistēmas robežās, nevis par sistēmu hierarhiju.

#### Vadības principi dzīvās sistēmās

Galvenā vadības pazīme ir *mērķtiecīgums*. Ir nebeidzamas diskusijas par to, vai vadība un mērķtiecīgums var eksistēt bez dzīvības. Mērķtiecīgums ir arī tehniskajās sistēmās, bet jāatceras, ka visas tehniskās sistēmas ir dzīvo organismu darbības rezultāts. Mērķtiecīgumu var saskatīt arī tādu “nedzīvu” sistēmas elementu darbībā kā “*vējš*” (atcerēsimies nodaļas “Sistēmu teorija” sistēmu “bērza izplatīšanās”). Tomēr atkal var iebilst, ka nedzīvās dabas elementus sistēmās apvienojam mēs paši atbilstoši mūsu pasaules izpratnei un izvirzītiem izziņas mērķiem.

Tāpat būtisks kļūst pats dzīvības jēdziens. Lai arī dzīvība kā matērijas īpašība izraisa globālas diskusijas, tomēr formāli dzīvības pazīmes ir formulētas diezgan skaidri un nepārprotami. Tās ir:

- aktīva pašsaglabāšanās;
- ekspansija un vairošanās.

*Vadība* un *iedarbība* nav sinonīmi. Vadības jēdziens ir saistīts ar informatīvu iedarbību, tas ir tādu iedarbību, kuras efekts nav reducējams uz iedarbības enerģētisko vērtību. Vadība ir arī aktīva regulācijas mehānismu izvēle un saslēgšana, lai sasniegtu noteiktu rezultātu.

Vadības mehānismam jāņem vērā:

- vadības objekta īpašības;
- atgriezeniskās saites;
- sistēmas dinamiskie parametri (regulācijas laika konstante).

D. Dinamiskas sistēmas maina savu funkcionālo stāvokli izejot virkni starpstāvokļu.

D. Atgriezeniskā saite ir sistēmas izejas signāla iedarbība uz sistēmas darba parametriem.

Atgriezeniskās saites var būt gan pozitīvas, gan negatīvas, atkarībā no tā vai izejas signāls pastiprina vai pavājina procesu intensitāti.

#### Regulācijas mehānismu piemēri sistēmās

1. *Statiska līdzsvara sistēma* - atvērta, bez specifiskiem regulatoriem mehānismiem; sistēmas parametrs ir līdzsvarots ar vides atbilstošo parametru un ir konstants tikmēr kamēr vide nemainās.

Piemēram: sila ķirzakas temperatūra ir gandrīz vienāda ar gaisa temperatūru.

2. *Dinamiska līdzsvara sistēma bez atgriezeniskās saites* - atvērta sistēma, bez specifiskiem regulatoriem mehānismiem. Kāda parametra nemainīgumu nodrošina dinamisks līdzsvars starp procesiem, kuri pretēji ietekmē doto parametru.

Piem: kādas vielas (metabolīta) koncentrācija organisma iekšējos šķidrumsos nosaka eliminācijas ātrumu; tāpat šīs vielas X koncentrācija organismā  $C_x(t)$  ir atkarīga no vielas izveidošanās ātruma  $\left(\frac{dC}{dt}\right)_{in}$  un tā, kādā mērā  $C_x(t)$  ietekmē ekskreciju  $\left(\frac{dC}{dt}\right)_{ex}$ . Stacionārs

stāvoklis būs tad, ja  $\left(\frac{dC}{dt}\right)_{in} = \left(\frac{dC}{dt}\right)_{ex}$

Piem: vanna, kurā izurbts caurums: jo vairāk ūdeni pielej, jo ātrāk ūdens tecēs laukā; atkarībā no tā cik daudz ūdens nāk klāt laika vienībā, tāds būs pastāvīgais līmenis vannā, jo ārā tecēšanas ātrums ir proporcionāls ūdens staba augstumam virs cauruma.

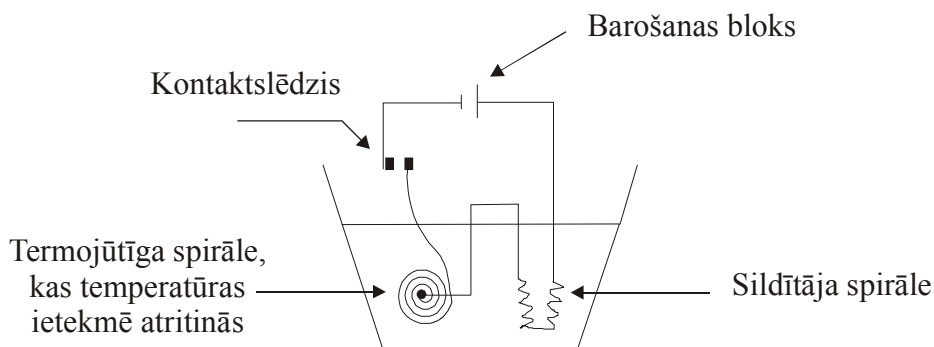
3. *Dinamiska līdzsvara sistēma ar atgriezenisko saiti*- slēgta sistēma ar negatīvu atgriezenisko saiti, kas dinamiski var mainīt līdzsvara stāvokli atkarībā no situācijas. Piemēram jau iepriekš minētā sistēma, kas raksturo īpatņu skaitu populācijā un barības bāzes lielumu. Ja sistēma darbojas konstantu ārējo apstākļu situācijā, tad iestājas kāds noteikts līdzsvara stāvoklis. Mainoties ārējo faktoru iedarbībai (laika apstākļiem, slimību uzbrukumiem) sistēmā sākas fluktuācijas, kuras gala rezultātā, pateicoties atgriezeniskām saitēm, noved pie jauna līdzsvara stāvokļa iestāšanās.
4. *Homeostazējoša sistēma ar atgriezeniskās saites regulācijas mehānismiem* - slēgta sistēma, kuras uzdevums ir nodrošināt kāda kontrolējamā parametra nemainību vai atbilstību konkrētai ieprogrammētai vērtībai.

Šādai regulācijai nepieciešamie elementi ir

- sensors,
- salīdzinātājs - novērtē parametra reālo vērtību un salīdzina to ar attiecīgo iekšējā šablona vērtību,
- efektors - realizē kompensatorisko darbību.

- a) Vienkāršākā variantā tas ir “on-off” tipa regulators.

Piemēram termostats (ledusskapis, ūdens sildītājs), kas ieslēdzas brīdī, kad kontrolējamā parametra vērtība ir sasniegusi kādu noteiktu novirzes lielumu. Šī tipa regulatoru priekšrocība ir vienkāršība: nav nepieciešami precīzi sensori, sarežģīti kontroles algoritmi kā arī kompleksas uzbūves efektori.



Efektora darbības intensitāte “on-off” tipa regulatoram ir nemainīga. Tas nozīmē, ka gadījumā, ja ārējā iedarbība ir stiprāka par efekta pret darbības intensitāti, tad regulējamais parametrs arvien vairāk sāk attālināties no optimālās vērtības un vairs nepadodas kontrolei. Efektora jaudu pārlieku palielināt nav lietderīgi tāpat kā šaut zvirbuļus ar lielgabalu. Nākošie šīs sistēmas trūkumi ir lēna darbība un zema precizitāte. Teorētiski šāda tipa regulators kontrolējamo parametru varētu uzturēt diezgan precīzi, ja efektors ieslēgtos jau pie niecīgām kontrolējamā parametra novirzes. Reāli novirzes lielumam jābūt samērojamam ar efekta darbības inerci. Iedomāsimies podiņu krāsni un mājas apsildi: maz ticams, ka būtu iespējams precīzi uzturēt vēlamo gaisa temperatūru telpā, sākot kurināt krāsni katru reizi, kad temperatūra noslīd par 1 grādu zem optimālās.

- b) Precīzāku parametru regulāciju nodrošina proporcionālās darbības regulators.

Šinī gadījumā efekta kompensatorās darbības intensitāte ir proporcionāla novirzes lielumam.

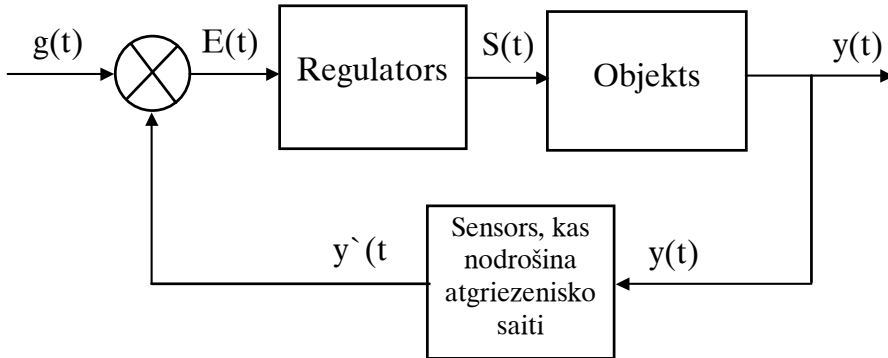
Būtiska ir tā saucamā proporcionalitātes funkcija (“transfer funkcion”).

- tā ir sakarība, ar kuru signāls par novirzi tiek pārveidots signālā, kurš izraisa izmaiņas kompensācijas sistēmas darbībā. Šī funkcija var būt arī nelineāra. Cilvēka termoregulācijas sistēmas funkcija ir  $y = -32 * \Delta t$  “-” zīme nozīmē, ka efekts darbojas pretējā virzienā kļūdai.

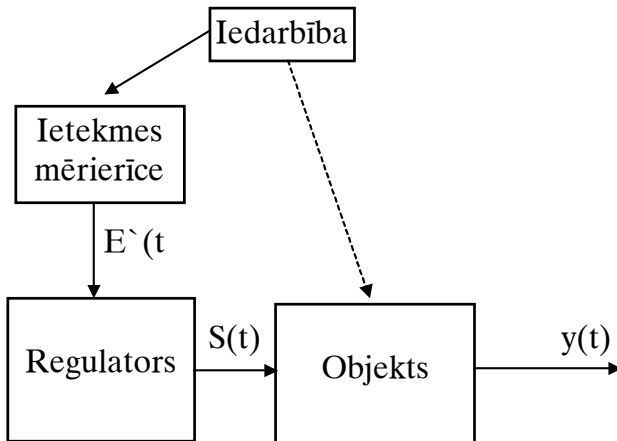
## Automātiskās regulācijas princips

**D.** Automātiskās regulācijas “zelta likums”: Pati sistēmas novirze no galējā pielāgošanās efekta ir kā stimuls sistēmai atgriezties pie šī efekta.

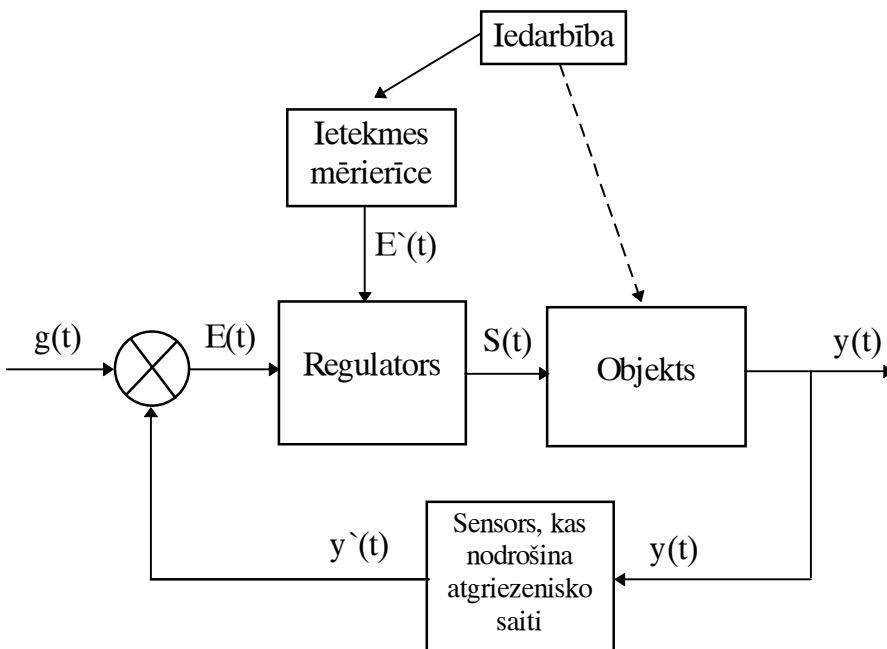
- *Automātiskās regulācijas sistēmas pēc novirzes.*



- *Apsteidzošās automātiskās regulācijas sistēmas.*



- Taču parasti apsteidzošās automātiskās regulācijas sistēmas nav spējīgas nodrošināt precīzu kontroli un tāpēc abi mehānismi tiek kombinēti.



Dzīvās dabas pašregulācijas līmeņi:



1. *Pašatjaunošanās*. Nolietoto struktūru atjaunošana, kompensējot entropisko faktoru iedarbību.
2. *Stabilizācija*. Sistēmas parametru uzturēšana īslaicīgu vāju entropisku jeb destruktīvu faktoru iedarbības rezultātā.
3. *Adaptācija*. Sistēmas funkciju iekšējo struktūru pārbūve pastāvīgas vai ilgstošas entropisko faktoru iedarbības rezultātā.
4. *Vairošanās*. Sugas saglabāšana.
5. *Attīstība un evolūcija*.

Īpaša dzīvai dabai piemītoša īpašība ir spontānā aktivitāte, kas ir attīstības procesu pamatā.

D. Spontānā aktivitāte ir no ārējās iedarbības neatkarīga iekšēju faktoru determinēta un iekšējo attīstības procesu virzīta sistēmas funkcionāla stāvokļa maiņa.

### Dažu vadības vispārējo principu piemēri dzīvajā dabā.

1. *Sinerģijas*. Blokveida vadības princips. Vairāku sistēmas parametru sasaistīšana grupās, kā rezultātā samazinās neatkarīgo parametru skaits un līdz ar to samazinās brīvības pakāpju skaits.  
Izplatītākais sinerģiju veids ir motorās sinerģijas, kas veidojas tikai uz konkrētā uzdevuma risināšanas laiku. Tāpat var būt arī pastāvīgās sinerģijas.
2. *Sarežģītu sistēmu lokālās vadības princips*. Mazākās mijiedarbības princips. Saskaņā ar šo likumu katra lokālā apakšsistēma funkcionē tā, lai tās iedarbība ar apkārtējo vidi un citiem sistēmas elementiem būtu vismazākā. Šis ir lokālo apakšsistēmu uzvedības likums.
3. *Noskaņošanās*. Tā ir spēja prognozēt situāciju pēc kādām noteiktām pazīmēm, kas noved sistēmu gaidīšanas režīmā. Šis princips ir svarīgs apstākļos kad laiks problēmas risināšanai un sistēmas piemērošanai noteiktai situācijai ir ļoti īss.
4. *Apmācīšanās spēja*.
5. *Daudzpakāpju organizācija (hierarhija)*.

Ikviena bioloģiska regulatora sistēma pati par sevi ir vienots vesels, taču ārkārtīgi sarežģīts polifunkcionālu elementu kopums, līdz ar to arī regulācija ir vairākstāvu.

Vienkāršākais divu līmeņu regulācijas modelis sistēmā sastāv no *pakļautā elementa* un *vadošā elementa*.

1. *līmenis*. Pakļautajā elementā dominē *paškontrolē* un *pašregulācija*. Lai nodrošinātu pašregulāciju parasti nepieciešamas vairākas struktūras:
  - sensori - uztver informāciju no ārējās vides un paša struktūrām;
  - informācijas apstrādes un izvērtēšanas komponents;
  - iekšējo regulatoro komandu ģenerators;
  - efektorie mehānismi, kas šo komandu realizē.
2. *līmenis*. Vadošā elementa regulācijas uzdevums ir pakļautā elementa virsvadība organisma homeostāzes nodrošināšanai. Kamēr 1. līmeņa pašregulācijas parametri atbilst sistēmas prasībām, detalizētas informācijas plūsma no 1. līmeņa uz 2. līmeni tiek bloķēta vai, pareizāk sakot, netiek aktivēta, *lai nepārslogotu vadības līmeni*.  
Vadības līmenis sāk realizēt savu virsvadību, ja
  - pakļautajā līmenī ir pārslogotība (šīnā gadījumā vadošajam elementam ir koriģējoša vai optimizējoša funkcija);
  - jāmaina pakļautā elementa struktūru funkcija kādu noteiktu sistēmisku mērķu dēļ (vadošais elements veic programmistisku vadību vai arī saskaņo dotās sistēmas darbības režīmu ar globālu (visa organisma) stāvokli).

### Trīs līmeņu regulācijas modeļa piemērs

1. *līmenis*. Lokālās struktūras, to pašregulācija. Savu parametru homeostazējošā regulēšana.
2. *līmenis*. optimizē pirmā līmeņa darbību, maina tā homeostātiskos režīmus atbilstoši sistēmiskiem mērķiem.
3. *līmenis*. Aktīva zemāko līmeņu pārveide avārijas un pārslodzes gadījumā.

Piemēram termoregulācija. 1. līmenī ietilpst visi siltasiņu dzīvnieku fizioloģiskie mehānismi, kas nodrošina pastāvīgas ķermeņa temperatūras uzturēšanu. 2 līmenim atbilst dienas bioritmi, endokrīnie cikli, kas nodod pirmajam līmenim komandu kādu temperatūru uzturēt. 3. līmenis varētu būt mājokļa un dzīvnieka dzīves vietas izvēle, aktīvu pārvietošanās, migrēšana. Piemērs no augu valsts – transpirācijas regulācija augiem. 1. līmenī darbojas tīri fizikāli mehānismi, kas regulē šķidrums iztvaikošanu: jo augu lapas vairāk sakarst, jo aktīvāka transpirācija utl. 2.līmenī transpirāciju regulē atvārsnītes. 3. līmenī, ja divi zemākie līmeņi netiek galā ar regulāciju, tad nelabvēlīgos apstākļos augs var nomest lapas.

*Piezīme:* Šādu modeļu līmeņu funkcijas var būt ļoti dažādas. Augstāk minētie modeļi ir tikai piemēri. Galvenā vairāku līmeņu modeļa nepieciešamā pazīme ir tā, ka pirmajam līmenim ir jābūt spējīgam pašregulēties.

Nervu sistēma pielāgotības efektu nosaka pēc mazākās mijiedarbības principa.

### **Funkcionālās sistēmas**

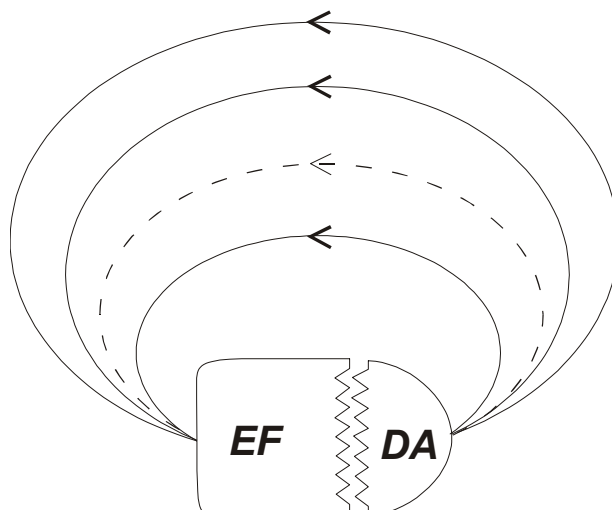
Šo jēdzienu un atbilstošo teoriju ir izveidojis ievērojamais krievu zinātnieks akadēmiķis **P. K. Anohins**. Viņš formulēja sistēmu veidošanās un darbības likumsakarības dzīvos organismos.

**D.** Ar funkcionālās sistēmas jēdzienu saprot tādu fizioloģisko norišu un viņu regulatoro mehānismu kopumu, kuri formējas dinamiski atkarībā no konkrētās situācijas un nodrošina visā sistēmā adaptīvu pārveidi, kuras rezultātā fizioloģiskā funkcija realizējas optimāli.

Pēc savas arhitektūras funkcionālā sistēma pilnībā atbilst jebkuram kibernetiskam sistēmas modelim ar atgriezenisko saiti. Īpašs funkcionālo sistēmu jēdzienā ir tas, ka sistēmā ietilpstošo elementu *sastāvu* un tās *darbības virzienu* nosaka dinamiska elementu apvienošanās, kuru diktē tikai galējā pielāgošanās efekta kvalitāte. Ja sistēmas darbības rezultātā netiek panākts vēlamais regulatorais efekts, tad speciāls novērtēšanas aparāts saukts par “*darbības rezultāta akceptoru*” veic citu sistēmas elementu sagrupēšanu un līdz ar to risina regulācijas uzdevumu savādākā veidā. Fizioloģiskie procesi dzīvos organismos ir tik sazaroti un daudzveidīgi, ka pastāv praktiski neierobežots daudzums iespēju un variantu, lai iedarbotos uz sistēmas gala rezultātu jeb efektu.

Funkcionālo pāri, ko veido darbības rezultāts (pielāgošanās efekts) no vienas puses un darbības rezultāta akceptors no otras, Anohins nosauca par “dzīvības mezglu”.

Piemēram, kad bērns mācās iemest grozā basketbola bumbu. Lai paveiktu šo uzdevumu sistēmā tiek saslēgtas dažādas ķermeņa un īpaši roku muskuļu grupas, kuru darbība jāsinchronizē savā starpā un jākoordinē ar telpisko informāciju, ko sniedz redze. Funkcionālā sistēma, kas veic šī uzdevuma vadību var izmantot dažādās muskuļu kombinācijas, kā arī mainīt to kontrakcijas stiprumu un secību. Tāpat var izvēlēties bumbas lidojuma trajektoriju (augstāku, zemāku loku; ar atsitieni pret vairogu vai bez). Ja bumba grozā netrāpa, motorās kontroles mehānismi meklē jaunus un jaunus variantus kamēr bumba trāpa grozā. Pēc vēlamā rezultāta sasniegšanas darbības rezultāta akceptors cenšas saglabāt jau esošo sistēmas elementu struktūru un vēl vairāk to pilnveidot.



EF- sistēmas efekts  
DA – darbības akceptors

Funkcionālām sistēmām īpaša nozīme ir situācijā, kad nav iespējams izveidot universālu vadības mehānisma struktūru, kuru varētu nodot ar iedzimtības palīdzību un kura varētu darboties jebkuros apstākļos.

### Aferentā sintēze

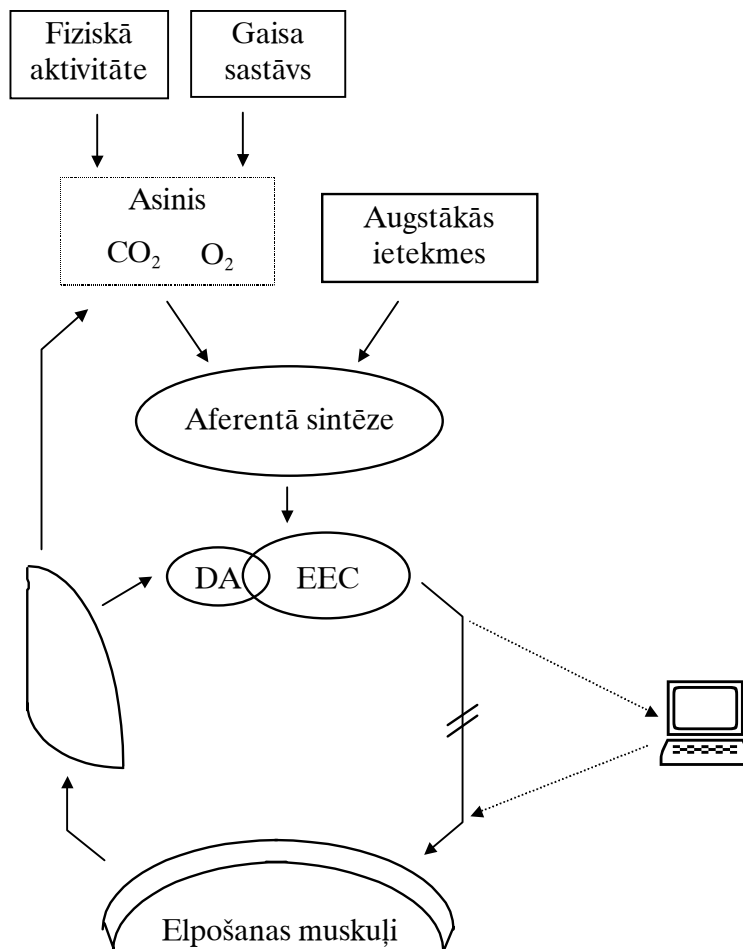
Aferentā sintēze apkopo visu kairinātāju vienlaicīgas un secīgas iedarbības rezultātu uz organismu un rada centrālai nervu sistēmai iespēju formēt tādu atbildes reakciju uz kairinājumu, kas dotajā situācijā dod labāko pielāgošanās efektu. Aferentā sintēze norit visos centrālās nervu sistēmas līmeņos un ievada jebkuru uzvedības reakciju. Aferentās sintēzes rezultātā katram parametram tiek izvirzīts tā optimālais lielums noteiktā laika momentā. Neviena darbība nevar notikt bez daudzo iekšējo un ārējo faktoru apzināšanas un integrācijas, kas nepieciešama darbības plānošanai.

### Darbības akceptors

Kad ir notikusi aferentā sintēze ir nepieciešams kāds mehānisms, kas kontrolē vai nosprauš darbības parametri atbilst prognozētiem lielumiem noteiktā laika momentā. Ja tas nenotiktu, jebkura vismazākā novirze varētu izraisīt neparedzamas sekas, un reālos apstākļos, kad sistēma vairāk vai mazāk ir pakļauta neprognozējamai ārējās vides iedarbībai, tās ātra, dinamiska vadība nebūtu iespējama.

Darbības akceptoru iedalījums pēc to veicamajām funkcijām:

1. Klasiskais *darbības rezultāta akceptors* pēc Anohina.
2. *Trigeris*, kas dinamiskās sistēmās kontrolē starpstāvokļu iestāšanos un pieļauj sistēmas virzību uz jaunu stāvokli. Kustību fizioloģijā tas signalizē vai attiecīgais kustības segments ir jau paveikts un tas palaiž nākošo kustības segmentu.
3. Tas var būt *salīdzinātājs*, kas, balstoties uz iepriekšējo pieredzi, kontrolē regulatora ietekmes rezultātu uz objektu. Šī akceptora funkcija ir regulatora vadības signālu kontrole. *Šo darbības akceptoru kopā ar regulatoru var uzskatīt par pašregulējošos apakšsistēmu.*



Elpošanas regulācijas piemērs. Dotajā sistēmā darbības akceptors (DA) seko vai elpošanas eferentā centra (EEC) komandas izraisa atbilstošu elpošanas muskuļu darbību. Vai EEC komanda ir sasniegusi savu mērķi DA kontrolē pēc plaušu sieniņu iestiepuma vai citiem parametriem, kas liecina par plaušās ieplūstošā gaisa daudzumu, ātrumu utt. Eksperimentāli EEC komandu var “pārtvert” un modificēt ar datoru. Tagad efektoru (elpošanas muskuļus) vada dators. Pieņemsim, ka dators EEC komandu pavājinā 2 reizes. Tad plaušās gaiss ieplūst nepietiekami. Sistēma var iegūt informāciju par nepietiekamo plaušu ventilāciju no elpošanas gala rezultāta (gāzu sastāva izmaiņām asinīs). Tomēr šis ceļš būtu salīdzinoši ilgs un neefektīvs. Eksperimentāli ir pierādīts, ka EEC elpošanas muskuļu darbības pavājināšanos uztver kā signālu, lai palielinātu impulsācijas frekvenci motoneironos līdz tiek panākts vēlamais ieelpas dziļums, tādējādi kompensējot datora transformācijas funkciju. Tātad sistēma plāno ne tikai sistēmas gala efektu, bet arī precīzi paredz nepieciešamos efektoru starpstāvokļus. Šinī gadījumā darbības akceptors veic regulatora un efektoru mijiedarbības regulāciju. No tā var secināt, ka vienlaicīgi ar komandu efektoram (elpošanas muskuļiem) tiek izveidots arī novērtēšanas aparāts, kurš saņemot informāciju par efektoru darbību, salīdzina to ar plānoto un kontrolē regulatora izejas parametrus. Šis mehānisms strādā ātri, precīzi un samazina sistēmas izejas parametru fluktuācijas.

### Informācijas teorija.

Galvenās informatīvo procesu pazīmes:

- informācijas avota un izmantotāja jeb patērētāja esamība;
- informācijas būtības izpaušme, nevar būt reducējama uz divu objektu fizisko mijiedarbību;
- saņemtajam ziņojumam jābūt noteiktai jēgai, kas ir atšķirīga no paša signālu saņemšanas fakta.

D. Informācija ir ziņojums, kura jēgu saprot patērētājs.

Informācija iegūst savu jēgu tikai tad, ja eksistē lietotājs, kas šo informāciju uztver (Piem: rīta blāzma, satur informāciju, ka drīz ausīs saule - to var izmantot augi un dzīvnieki savu dzīvības procesu regulācijā. Tātad ir informācijas pazīmes, bet, piemēram, uz Marsa tai pašai fizikālai parādībai nebūtu nekāda informatīva nozīme, jo nav informācijas patērētāja).

Signāla informatīvā nozīme nav atkarīga no tā materiālās dabas un enerģijas. Notikumu vai procesu informatīvai aprakstīšanai lieto noteiktas nosacītas signālu šablonu tabulas jeb alfabētu. Šādu atspoguļošanas procesu sauc par kodēšanu, un "tulkošanu" no viena alfabēta koda uz otru sauc par pārkodēšanu. Dekodēšana ir informācijas satura atšifrēšana, ko veic ziņojuma saņēmējs. (man liekas, ka jēdzienam *dekodēšana* nav pamata - jebkura dekodēšana ir vienkārši pārkodēšana vai informācijas analīze).

D. Izomorfisms ir savstarpēja atbilstība starp fizikāli dažādiem procesiem, kas ļauj saglabāt ziņojuma saturu, neraugoties uz informācijas nesēja īpašībām.

D. Informācija ir ziņojums par kādu vienu noteiktu stāvokli sistēmai, kura var atrasties vairākos stāvokļos.

D. Informācijas daudzums ziņojumā ir tas nenoteiktības mērs, kas tiek likvidēts pēc dotā ziņojuma saņemšanas. Tas ir atkarīgs no izvēlei pieejamo stāvokļu daudzuma un to varbūtības.

Signālus pēc satura var nosacīti var iedalīt:

- informējošajos (satur notikumu aprakstu)
- izpildāmajos (satur komandas darbībai)

Traucējumus signāla izplatīšanās laikā sauc par troksni.

Izšķir vienmērīgo un nevienmērīgo kodu. Vienmērīgā koda gadījumā katru alfabēta zīmi veido vienāds skaits elementu (piem telegrāfa Bodo kods - 5 binārie elementi). Nevienmērīgā koda piemērs ir Morzes ābece, kuras vienu zīmi var veidot 1-4 binārie elementi (īss vai garš signāls). Vienmērīgam kodam maksimālo izveidojamo dažādo zīmju skaitu (N), aprēķina pēc formulas

$$N = m^n \quad (1)$$

kur  $m$  - elementu skaits alfabētā un

$n$  - vienu zīmi veidojošo elementu skaits.

Jāievēro, ka arī kodēšanā ir hierarhija: piem, telegrāfā zemākā līmeņa alfabētā ir 2 elementi  $\{0;1\}$ , tie veido otrā līmeņa alfabētu, kas veido šinī gadījumā 32 zīmes, kurām atbilst cilvēka rakstu valodas burti un pieturzīmes. Savukārt burti veido cilvēka valodas alfabētu, kas sastāv no tūkstošiem dažādu zīmju - vārdu.

Piemēri:

Dots alfabēts, kas sastāv no diviem elementiem A, B. Tātad  $m=2$ .

Ja katru zīmi veido tikai viens elements ( $n=1$ ), tad ar doto alfabētu var izveidot tikai divas zīmes:

A, B -----  $N=2$  ( $N=2^1=2$ )

Ja  $n=2$ , tad iespējams izveidot četras dažādas zīmes

AA, AB, BA, BB -----  $N=4$  ( $N=2^2=4$ )

Informācijas daudzumu ziņojumā (I) aprēķina kā logaritmu no visu iespējamo ziņojumu skaita. Logaritma bāze atkarīga no izvēlētas vienības. Ja logaritma bāze ir 2 tad iegūtā rezultāta vienība ir bits.

$$I = \log_x N \quad (2)$$

ievietojot formulu 1 un izvēloties logaritma bāzi divi  $I = \log_2 m^n = n \log_2 m$

Taču šī formula ir spēkā tikai tad, ja izmantoto zīmju kombinācijas varbūtības  $p_i$  ir vienādas ( $p_1 = p_2 = \dots$ )  $p_1 + p_2 + \dots + p_N = 1$  jeb  $N \times p_i = 1$ , tad viena paziņojuma varbūtība

$$p_i = 1/N$$

Klods Šennons ir izveidojis formulu, kas raksturo **vidējo** informācijas daudzumu ziņojumā gadījumā, ja  $p_1 \neq p_2 \neq p_3 \neq \dots$

$$I = - \sum_{i=1}^{i=N} p_i \log p_i \quad (3)$$

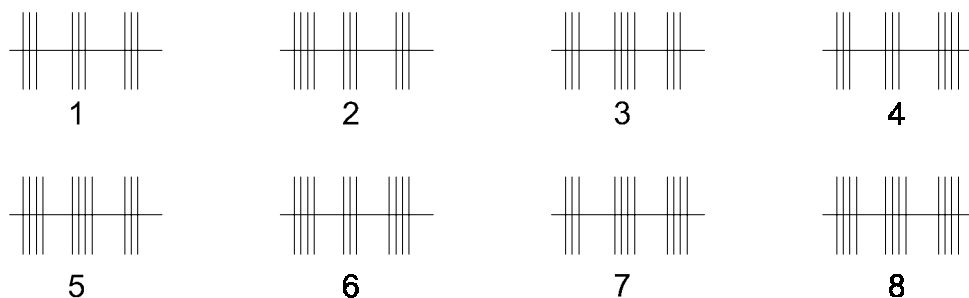
Apskatam speciālo gadījumā, ja varbūtības vienādas

$$I = - \sum_{i=1}^{i=N} p_i \log p_i = - \sum_{i=1}^{i=N} \frac{1}{N} \log \frac{1}{N} = -1 \log \frac{1}{N} = \log N \quad (\text{salīdziniet ar vien. 2})$$

Ja  $p_1 \neq p_2 \neq p_3 \neq \dots$ , tad  $0 < I < \log N$

Piemērs: Neironālais sakaru kanāls.

Pieņemsim, ka neirons var nodot informāciju, izmantojot astoņus dažādus impulsācijas aktivitātes šablonus, kuru saņemšanas varbūtības ir vienādas. Katru paziņojumu veido 3 un 4 darbības potenciālu sērijas:



Ja šādā veidā iekodētu informāciju saņem neirons, kurš spēj atšķirt impulsu sērijas ilgumu, tad vidējais informācijas daudzums, ko satur paziņojums

$$I = - \sum_{i=1}^8 \frac{1}{8} \log_2 \frac{1}{8} = -8 \left( \frac{1}{8} \log_2 \frac{1}{8} \right) = 3 \text{ (biti)}$$

Bet, ja neirons, kurš saņem informāciju ir nejūtīgs pret īsām impulsu sērijām (kurās ir tikai 3 darbības potenciāli), tad šāds neirons praktiski strādā kā “garo” impulsu sēriju skaitītājs. Tāds neirons ziņojumā spēj atšķirt tikai 4 dažādus paziņojumus:

1. “garās” impulsu sērijas nav --- 1. gadījumā;
2. viena “garā” impulsu sērija --- 2, 3, 4. gadījumā;
3. divas “garās” impulsu sērijas --- 5, 6, 7. gadījumā;
4. trīs “garās” impulsu sērijas --- 8. gadījumā.

1. un 4. paziņojuma saņemšanas varbūtība ir  $1/8$ , bet 2. un 3. trīs reizes lielāka -  $3/8$ , jo tiem atbilst trīs aktivitātes šabloni.

$$I = - \sum_{i=1}^{i=N} p_i \log p_i = \frac{1}{8} \log_2 \frac{1}{8} + \frac{3}{8} \log_2 \frac{3}{8} + \frac{3}{8} \log_2 \frac{3}{8} + \frac{1}{8} \log_2 \frac{1}{8} = 1.81 \text{ (biti)}$$

Tātad vidējais informācijas daudzums, ko saņem dotais neirons katrā paziņojumā ir 1.81 biti.