

9. Süsteemid ja signaalid

Arvutivõrgud IEE1100

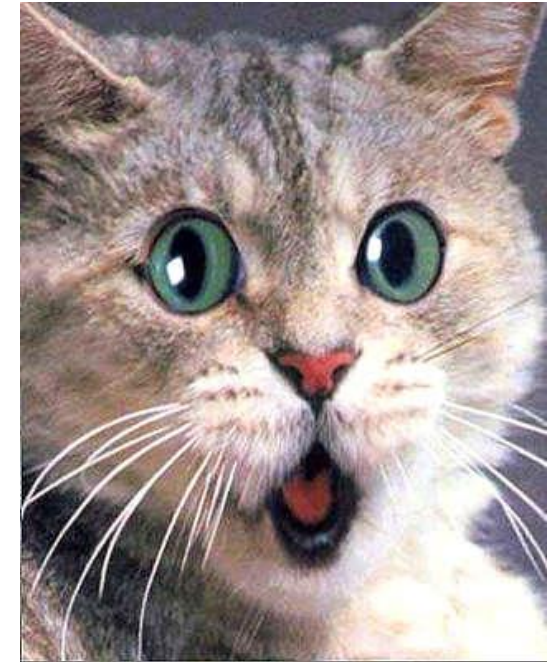
Ivo Mürsepp

Informatsioon

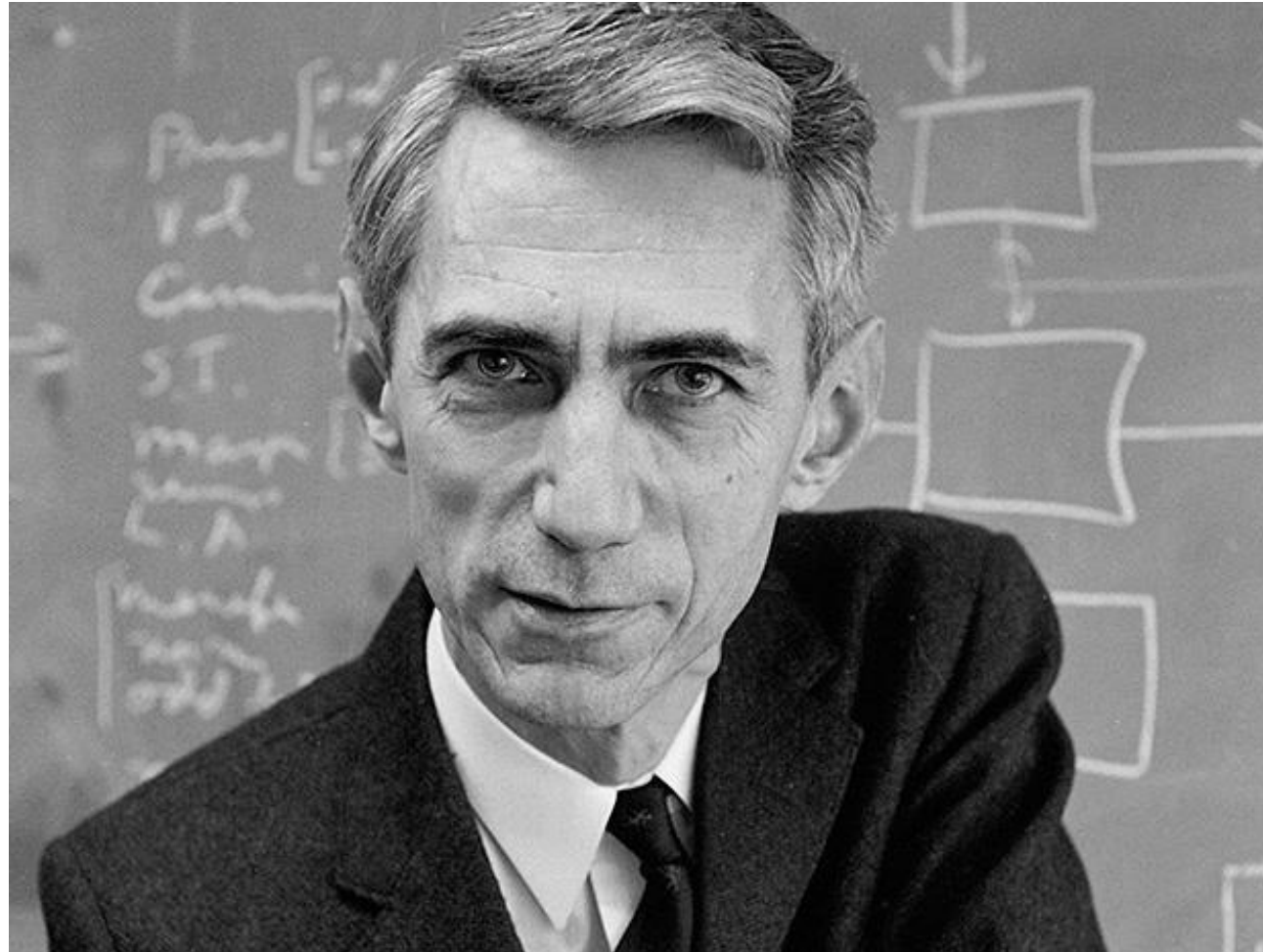
- Informatsioon – teadmatus vähenemise määr (Üllatuse suurus).
- Teadmised (*knowledge*) – Õigustatud tõene uskumus.
- Andmed (*data*) - muutujate **x** väärtused.
- Sõnumis m sisalduva informatsiooni hulk

$$I(m) = \log_a \left(\frac{1}{p(m)} \right) = -\log_a p(m)$$

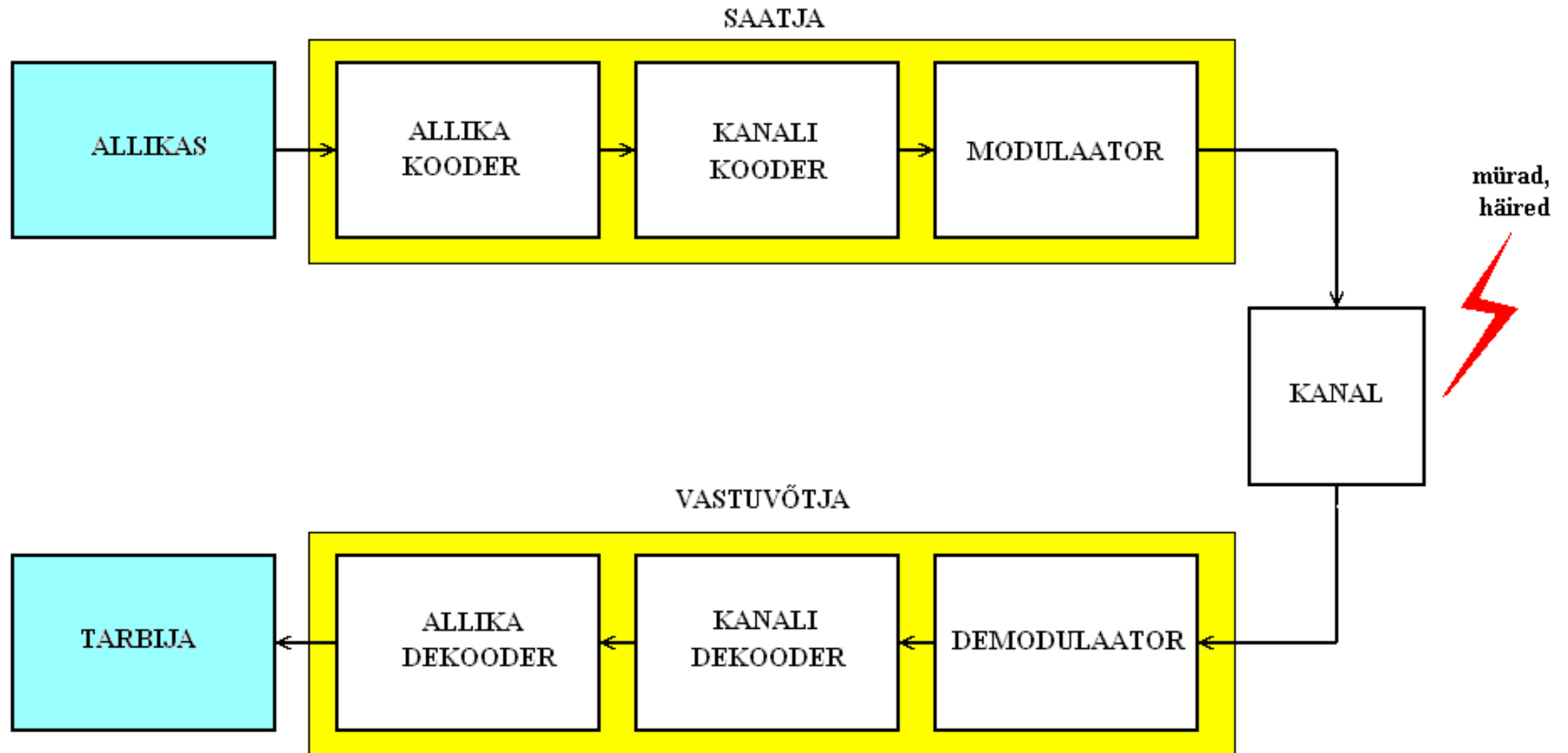
- Informatsiooni mõõtühikud:
 - $a = 2$: bitt, bait, *nibble*
 - $a = e$: nat
 - $a = 10$: hartley



Claude Elwood Shannon



Shannon-Weaveri mudel



Signaal

- Ajas või ruumis muutuv füüsikaline suurus.
 - $s(t)$ $s(x,y,z)$ $s(x,y,z,t)$
- Signaaliga side mõistes on tegemist juhul, kui mainitud suurus edastab informatsiooni mingi nähtuse käitumise või parameetrite kohta.
- Analoogsignaali väärtus on võrdeline ehk analoogne ülekantava füüsikalise suuruse väärtusega.
- Digitaalsignaali esitab ülekantavat suurust numbrilise väärtusena.
- Signaali väärtused võivad olla nii reaalsed $s(t)$ või kompleksarvulised:
 $\text{Re}(s) + j \cdot \text{Im}(s)$

ELU ON
SINUSOID



Siinussignaali

$$s(t) = A \cdot \sin(2\pi f t + \varphi)$$

- A – Amplituud ehk maksimaalne kõrvalekalle keskmisest.
- f – Sagedus ehk ajaühikus toimuvate täisvõngete arv.
 - Mõõtühikuks Herts [Hz]
- $\omega = 2\pi f$ – Ringsagedus mis näitab ajaühikus kaetava faasinurga suurust.
 - Mõõtühikuks [s^{-1}] ehk [rad/s]
- T – Periood ehk ühe täisvõnke kestus.
 - Pöördvõrdeline sagedusega $T = 1/f$
 - Mõõtühikuks sekund [s]
- φ – Algfaas ehk signaali alghetk.
 - Mõõdetakse radiaanides [rad], mõnikord antakse ka kraadides [°]

Siinuspinge

- Sidetehnikas on enamlevinuimaks signaaliks pinge $u(t)$ [V].
- Siinus (harmoonilise) pinge ajaline kuju avaldub:

$$u(t) = U_m \cdot \sin(2\pi f t + \varphi) \text{ [V]}.$$

- U_m on siinuspinge amplituud.
- Pinge väärtust võidakse esitada ka kui maksimaalse ja minimaalse väärtuse vahet ehk tipust-tippu pinget (*peak to peak*) U_{pp}
- Harmoonilise pinge korral on $U_{pp} = 2 \cdot U_m$

Efektiivväärtus

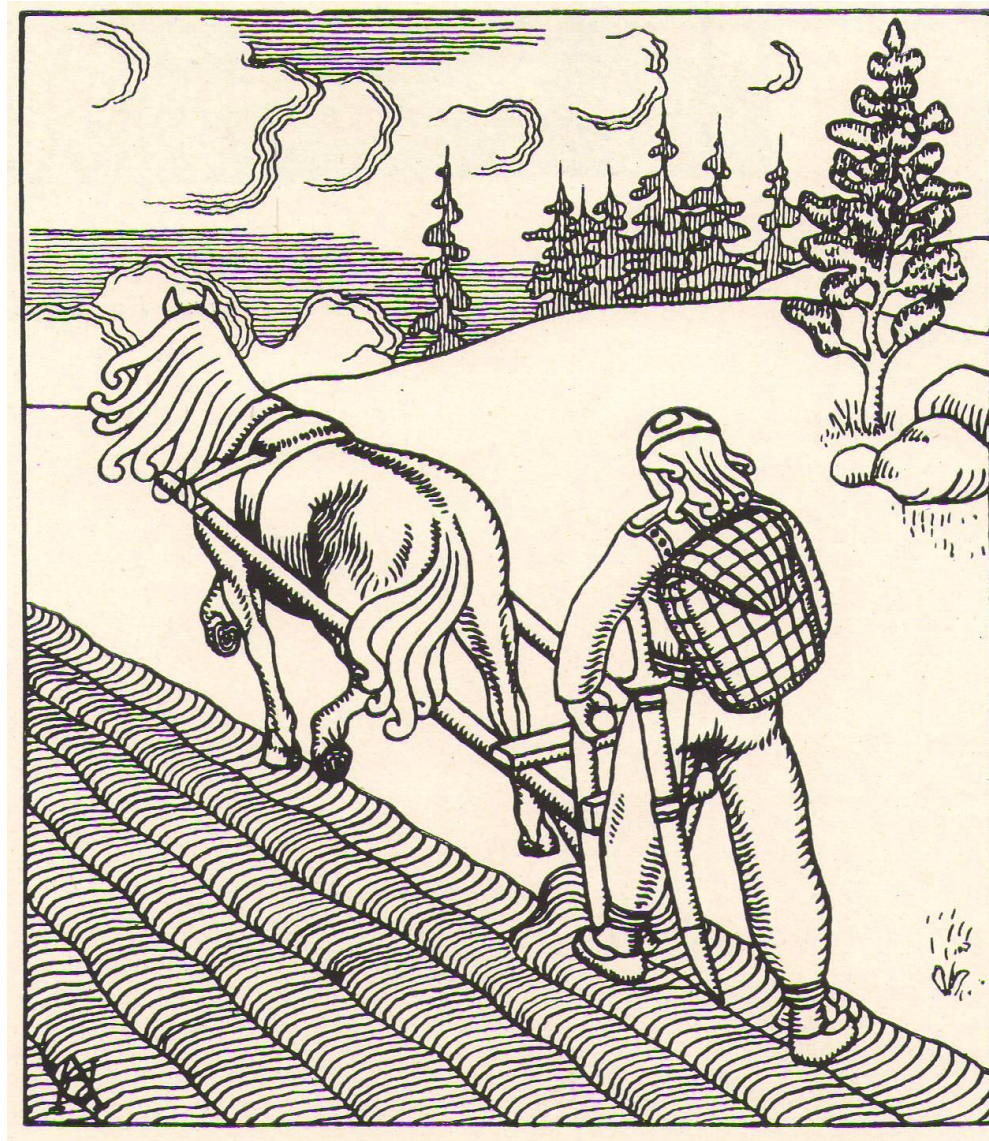
- Pinge efektiivväärtus (*RMS – Root Mean Square*) on defineeritud kui

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$$

- Sarnaselt saab leida ka muude signaalide efektiivväärtust
- Harmoonilise pinge efektiivväärtus on teiste pinge väärtuse esitustega seotud alljärgnevalt:

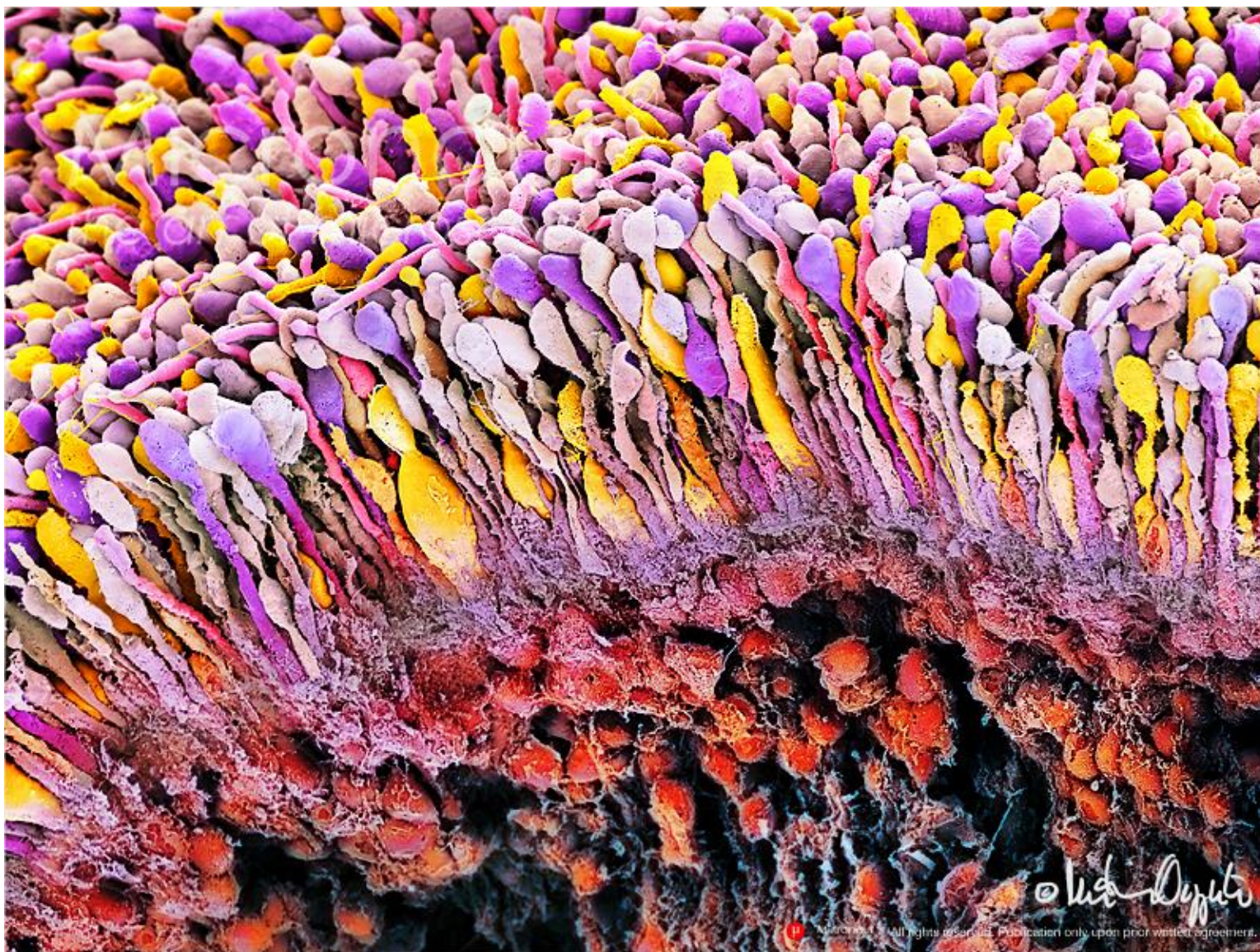
$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{U_{pp}}{2\sqrt{2}}$$

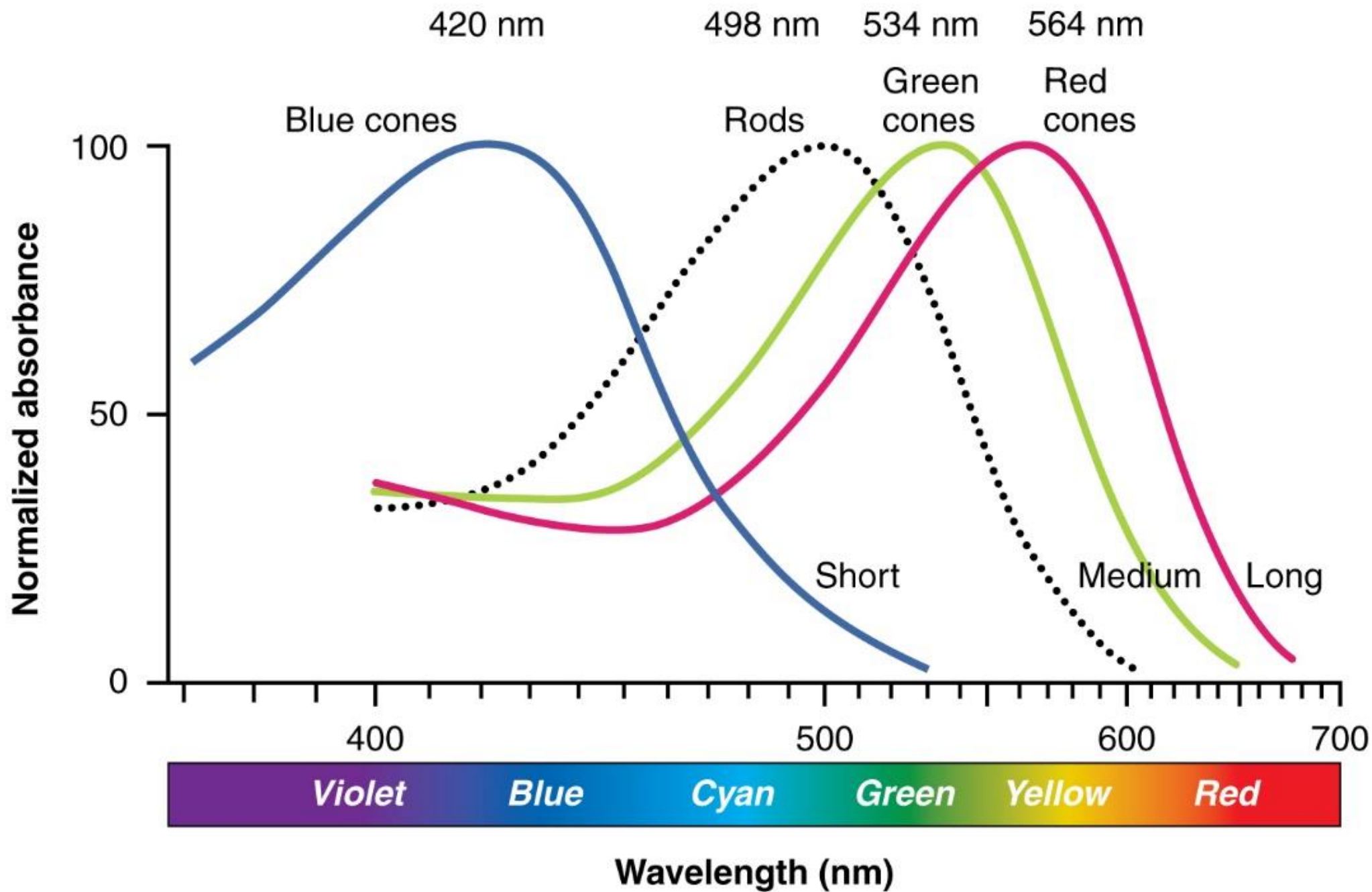
Kahemõõtmelise signaali edastamine



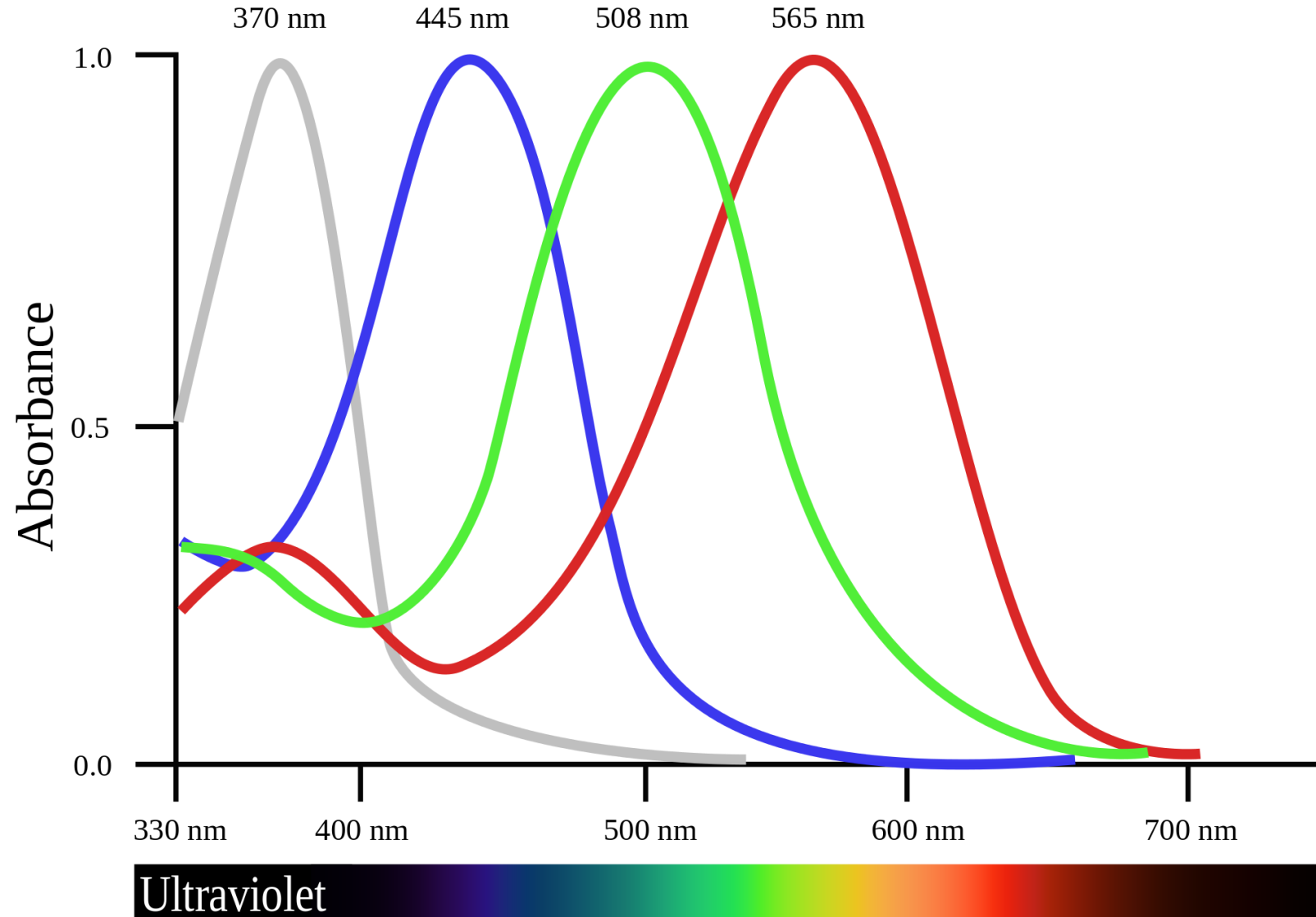
See ei ole kollane!





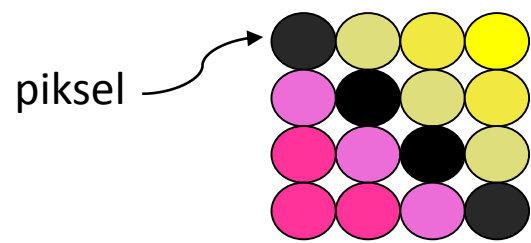


Lindude nägemismeel



Mitmemõõtmelised signaalid

- **Pilt:** 2D signaal



must
 $p = 0$

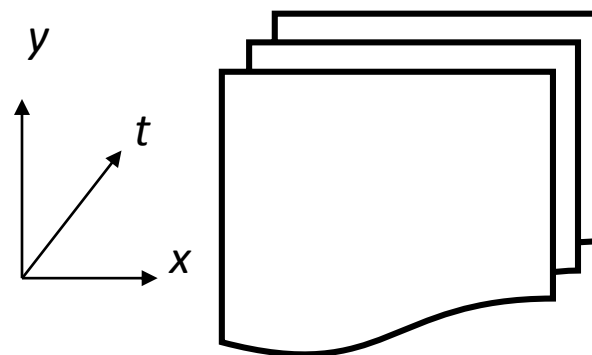
hall
 $p = 128$

valge
 $p = 255$

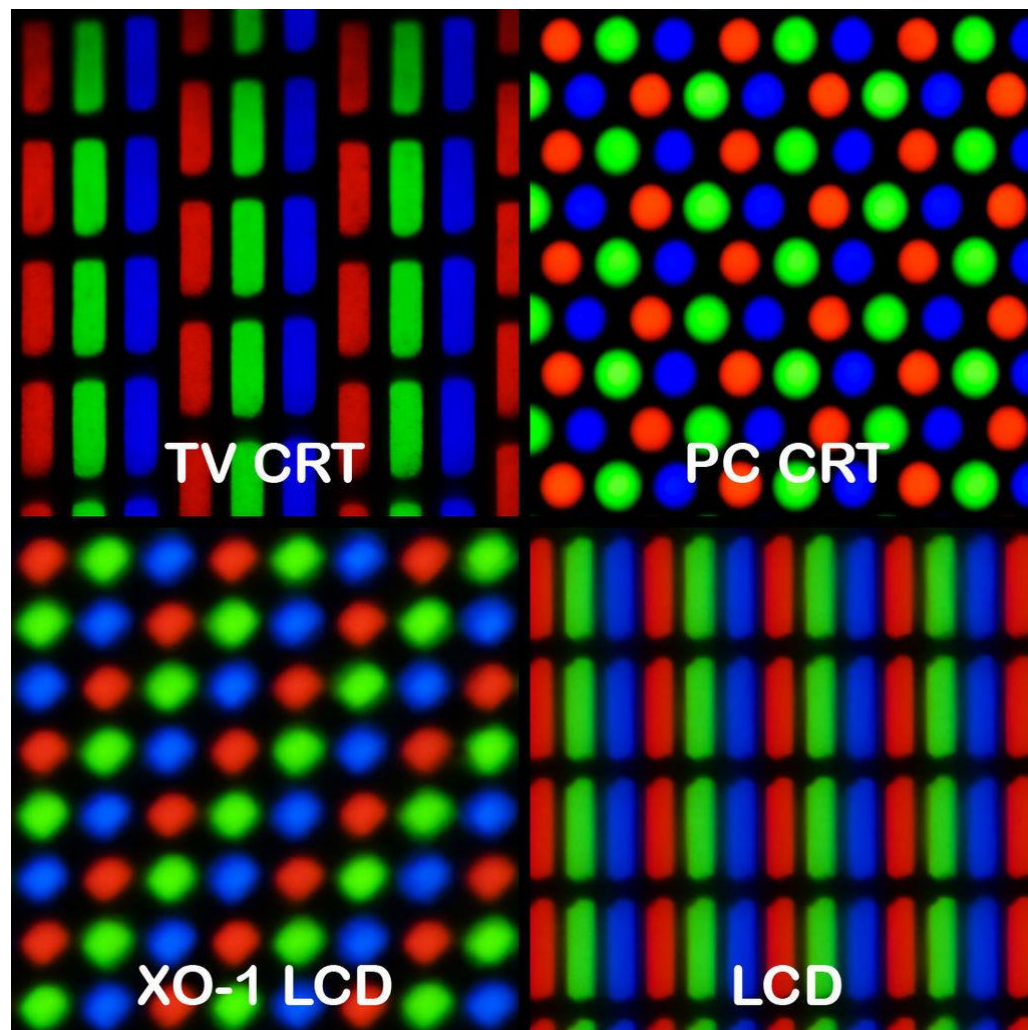


- **Video:** 3D signaal, ajas järjestikuste kahemõõtmeliste piltide (kaadrite) jada.

Värvid:
kolme põhivärvi
kombinatsioon:
RGB

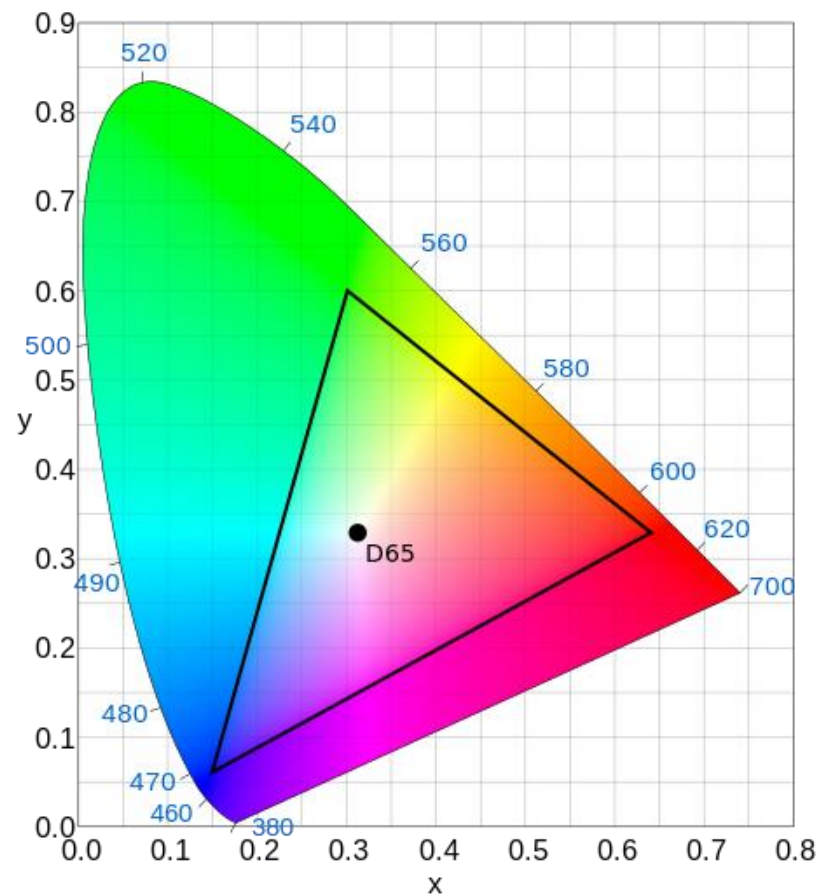


Värvide kujutamine

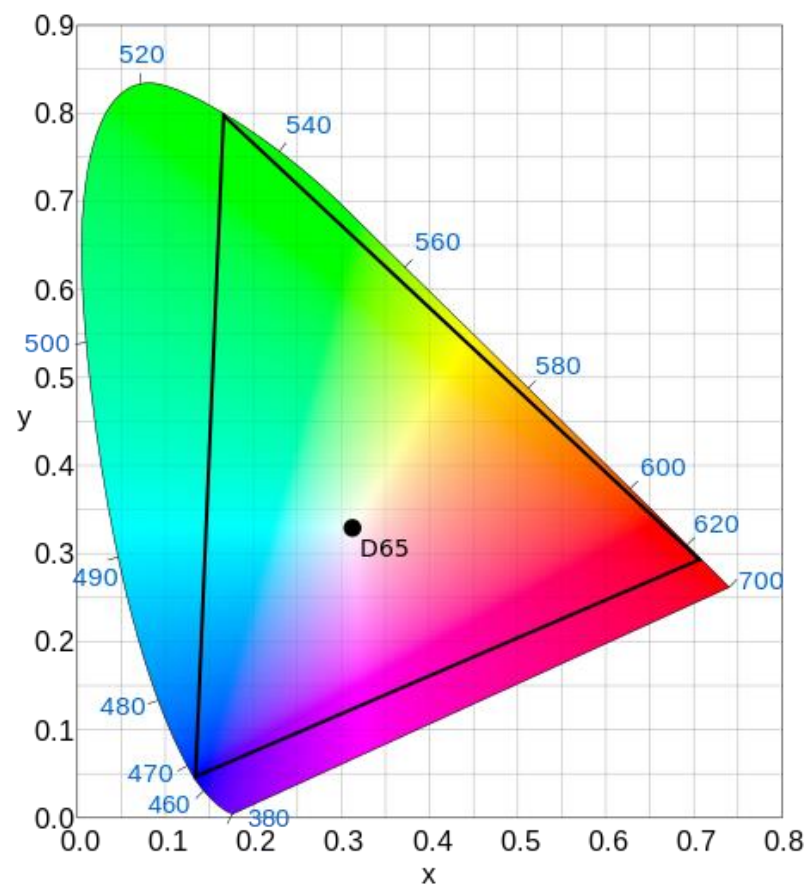


Värvikolmnurk

Rec. 709 (HDTV)



Rec. 2020 (UHDTV)



Pidevad- ja diskreetsed signaalid

- Signaali argument (aeg, ruum) võib olla nii pidev kui diskreetne

$$t \in \mathbf{R} \qquad n \cdot \Delta t; n \in \mathbf{Z}$$

- Signaali väärtus võib samuti olla kas pidev või diskreetne

$$s(n \cdot \Delta t) \in \mathbf{R} \qquad s(t) \in \mathbf{Z}$$

Signaali spekter



Jean-Baptiste Joseph Fourier

Fourieri rida – perioodilise signaali spekter

- Suvalist perioodilist signaali $s(t)$ perioodiga T saab esitada spektrikomponentide kaudu.

$$s(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin\left(\frac{2\pi n t}{T} + \varphi_n\right)$$

- A_0 – alaliskomponent ehk keskväärtus
- A_n – n -idna spektrikomponendi amplituud
- φ_n – n -inda spektrikomponendi faas
- Perioodilise signaali spekter on diskreetne

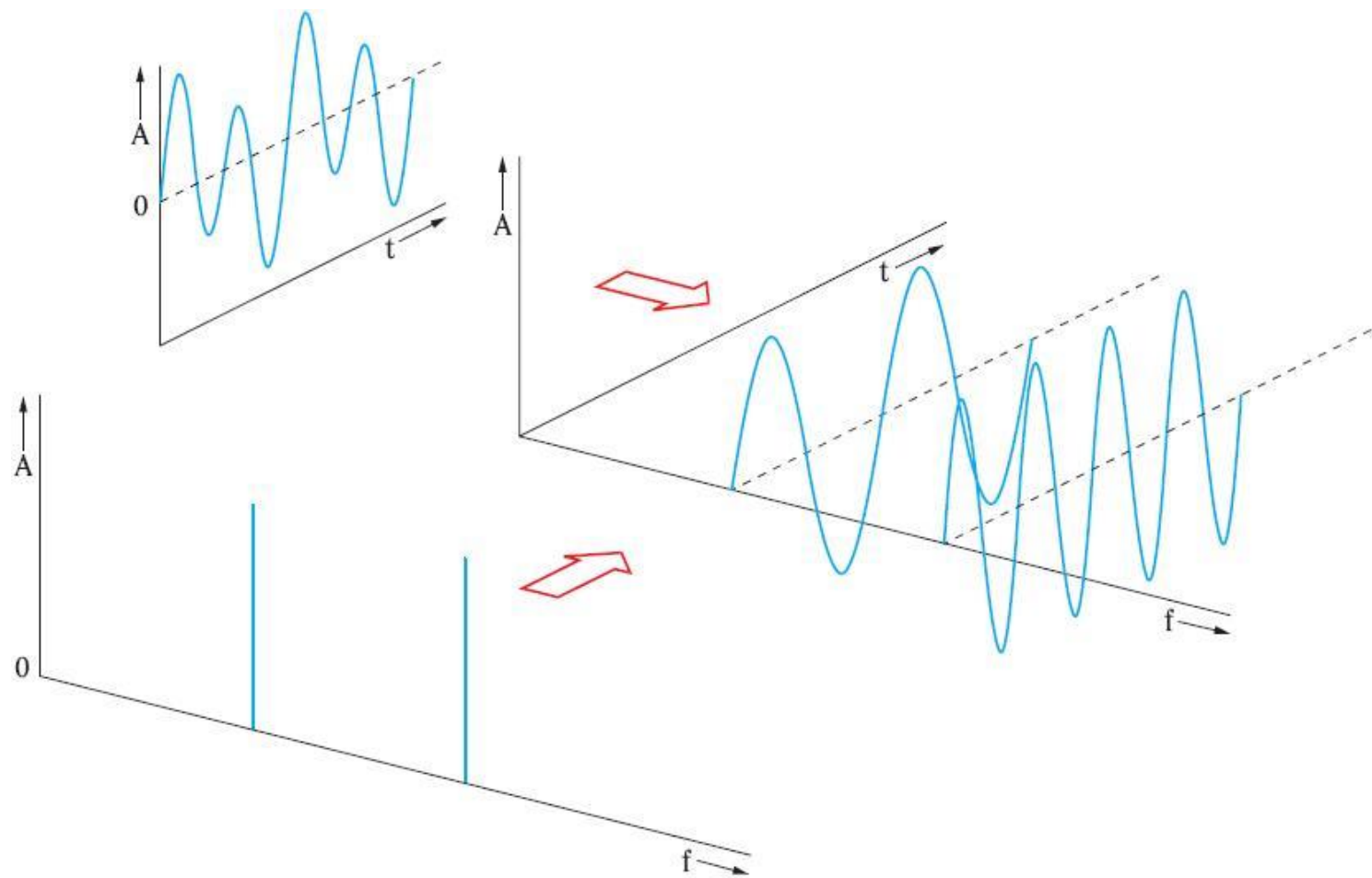
Fourier'i teisendus

- Mitteperioodilise signaali $s(t)$ korral:

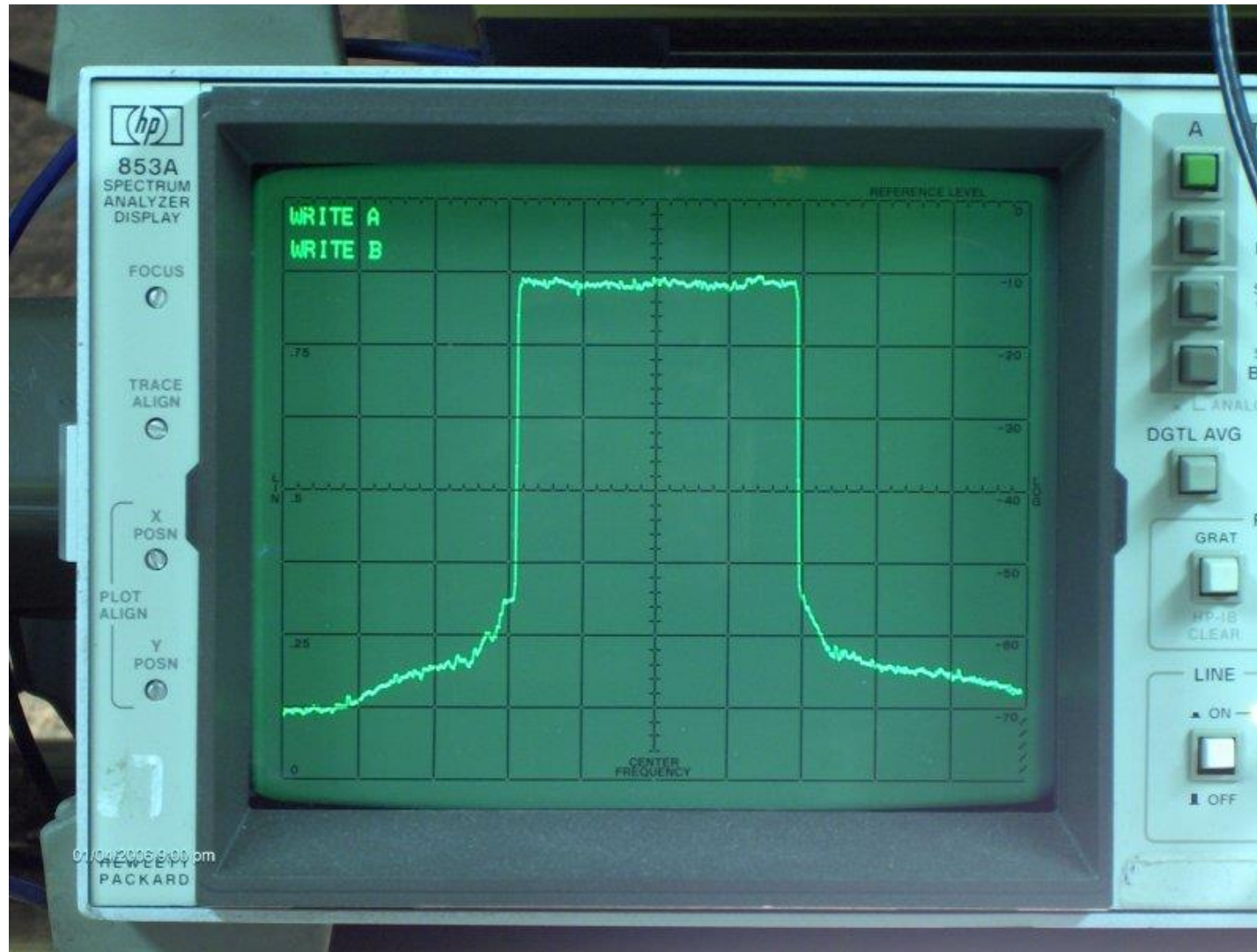
$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-j2\pi ft} dt$$

$$s(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(f) e^{j2\pi ft} df$$

Signaali spekter



Signaali spekter



Signaali võimsus

- Sides kasutatavad signaalid $s(t)$ on üldjuhul elektrilised. Signaaliks on kas elektriline pinge $u(t)$ või voolutugevus $i(t)$.
- Elektrilise signaali **hetkvõimsus** on

$$p(t) = u(t) \cdot i(t)$$

- Võimsus näitab ajaühikus tehtavat tööd või **ülekantavat energiahulka**.
- Võimsuse mõõtühikuks on W (vatt).
- Elektrilise võimsuse tähiseks on P , kuid signaali võimsust tähistatakse tihtipeale S -ga

Signaali võimsus

- Keskmise võimuse

$$P = \mathbf{E}p(t) = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt$$

- Signaali (pinge) efektiivväärtus

$$U = \sqrt{P}$$

- Oomi seadus

$$i(t) = \frac{u(t)}{Z}$$



Signaali võimsus

- Oomi seadusest tulenevalt saab hetkvõimsust leida ka järgnevalt:

$$p(t) = \frac{u^2(t)}{Z}$$

$$p(t) = i^2(t) \cdot Z$$

- Juhul, kui impedants on $Z = 1\Omega$ on tegemist normeeritud võimsusega:

$$p(t) = |s(t)|^2 = s(t) \cdot s^*(t)$$

$$P = \mathbf{E}p(t) = \frac{1}{T} \int_0^T |s(t)|^2 dt$$

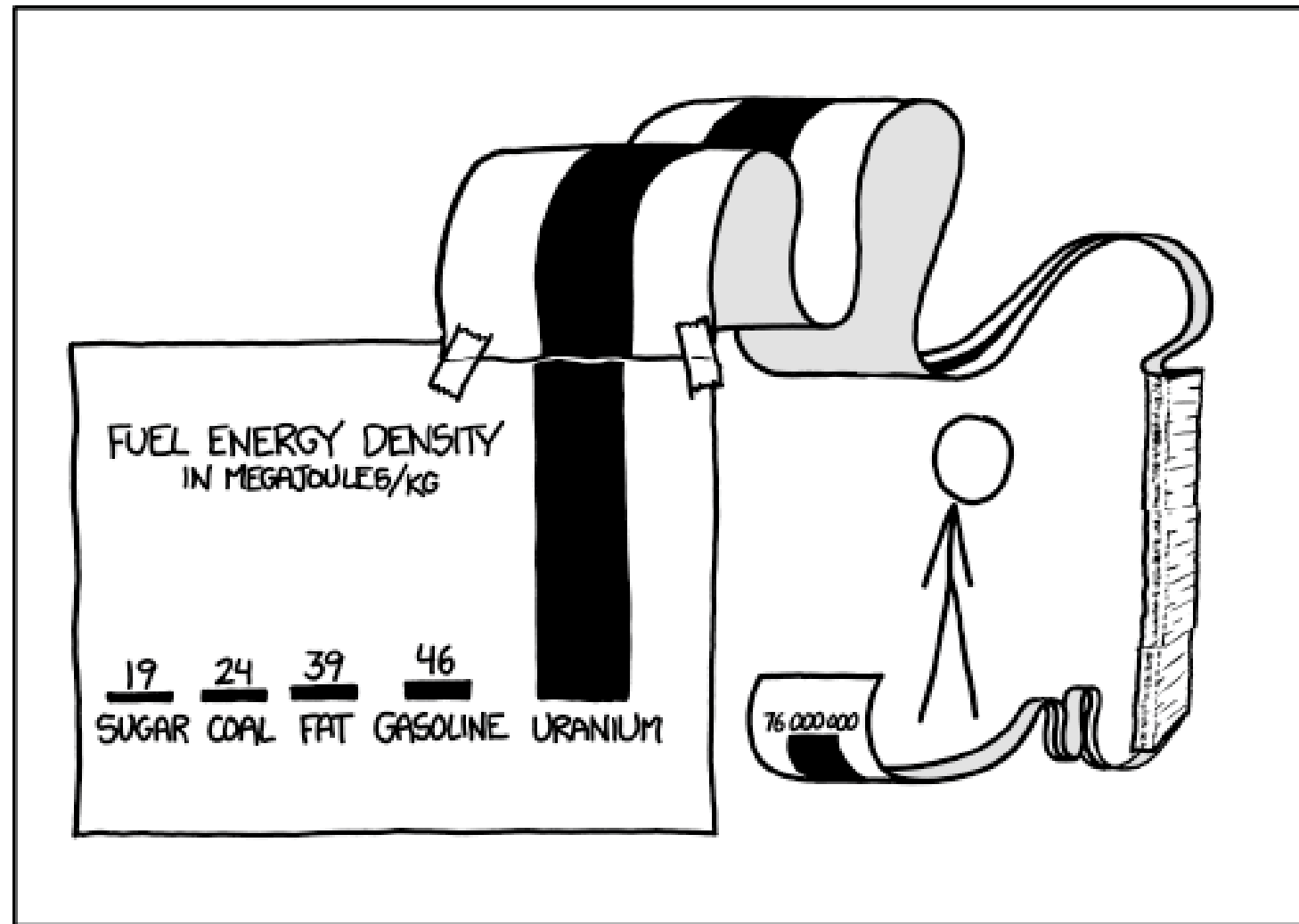
HAARP



Vene rähn



Logaritmilised mõõtühikud



SCIENCE TIP: LOG SCALES ARE FOR QUITTERS WHO CAN'T
FIND ENOUGH PAPER TO MAKE THEIR POINT *PROPERLY*.

Detsibell dB

- Kahe võimsuse suhet mõõdetakse detsibellides [dB]

$$K[\text{dB}] = 10 \cdot \log \frac{P_2}{P_1}$$

- Absoluutsed logaritmilised võimsuse mõõtühikud

$$P[\text{dBW}] = 10 \cdot \log \frac{P}{1\text{W}}$$

$$P[\text{dBm}] = 10 \cdot \log \frac{P}{1\text{mW}}$$

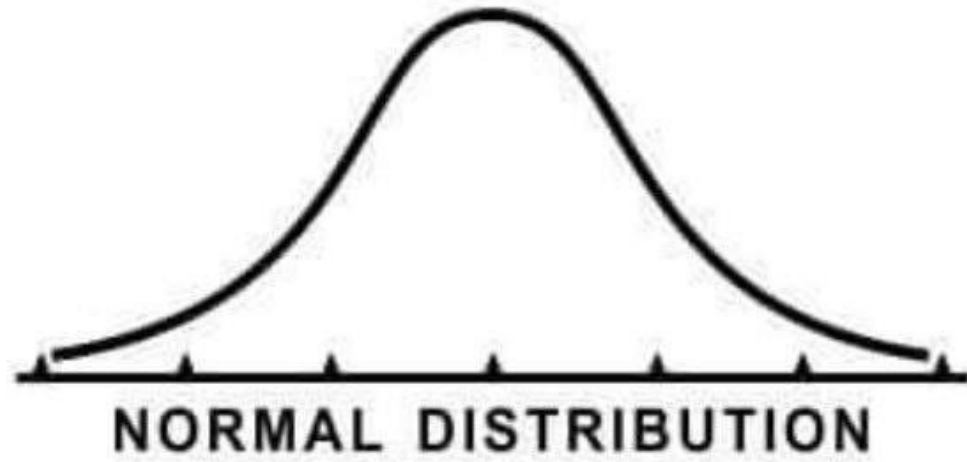


Juhuslik signaal - müra

- Populaarseim müra mudel: AWGN (*Additive White Gaussian Noise*)

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mathbf{E}X)^2}{2\sigma^2}}$$

- Gaussi müra võimsus: $N = \sigma^2$
- Signaal- müra suhe: SNR (*Signal to Noise Ratio*)

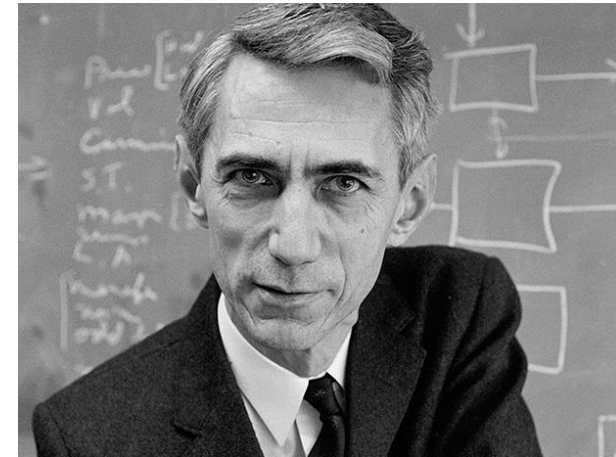


Shannoni valem

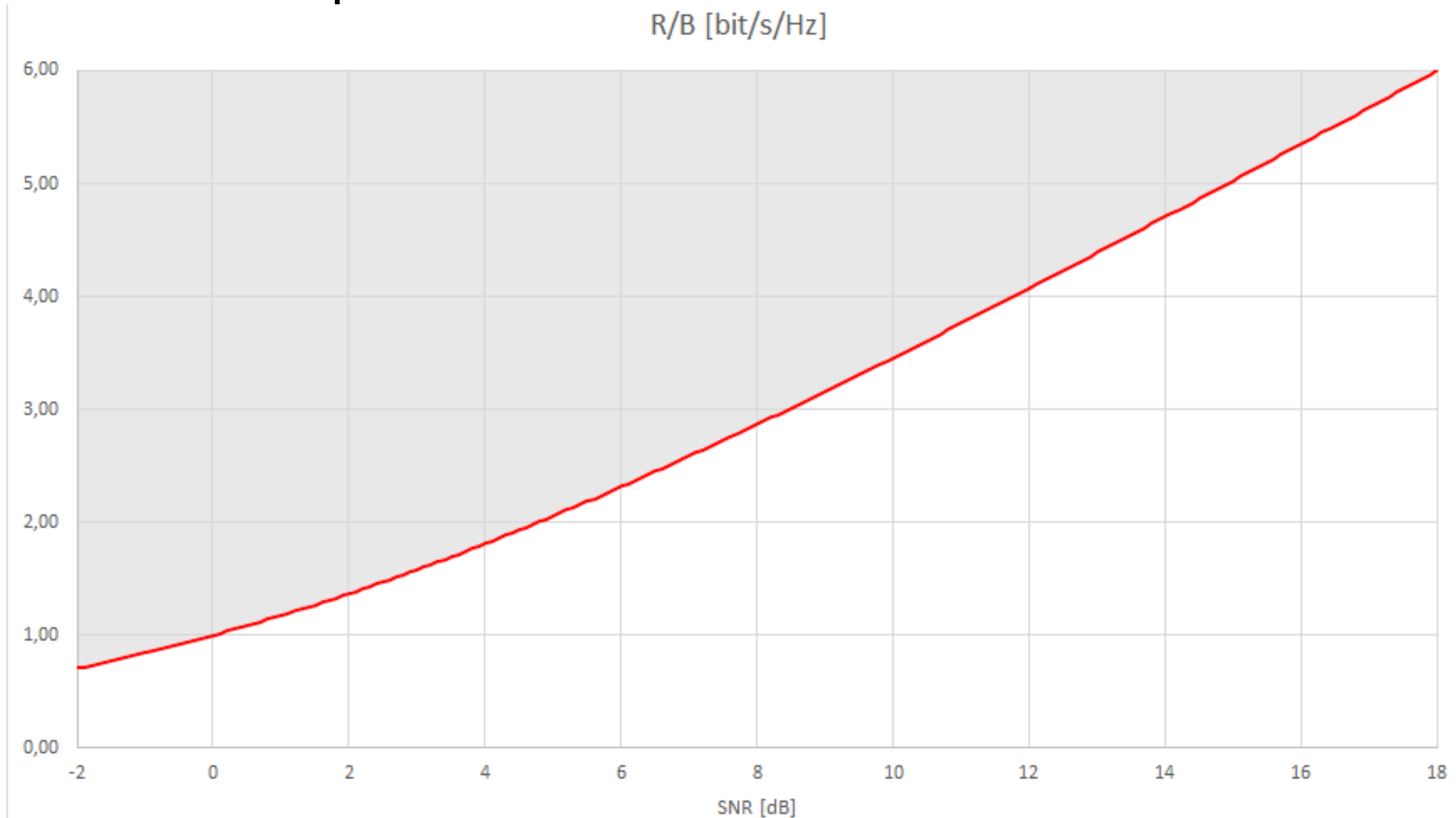
- Shannon-Hartley teoreem
- Sidekanali maksimaalne teoreetiline läbilaskevõime C :

$$C = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad [bit / s]$$

- B – kanali ribalaius [Hz]
- S – Signaali võimsus [W]
- N – Müra võimsus [W]
- C/B – spektraalefektiivsus [bit/s/Hz]



Shannoni piir



Hartley seadus

- Teoreetiline edastuskiirus R kanalis ribalaiusega B , kui kasutada edastamisel M erinevat sümbolit on

$$R = 2B \log_2(M) \text{ [bitt/s]}.$$

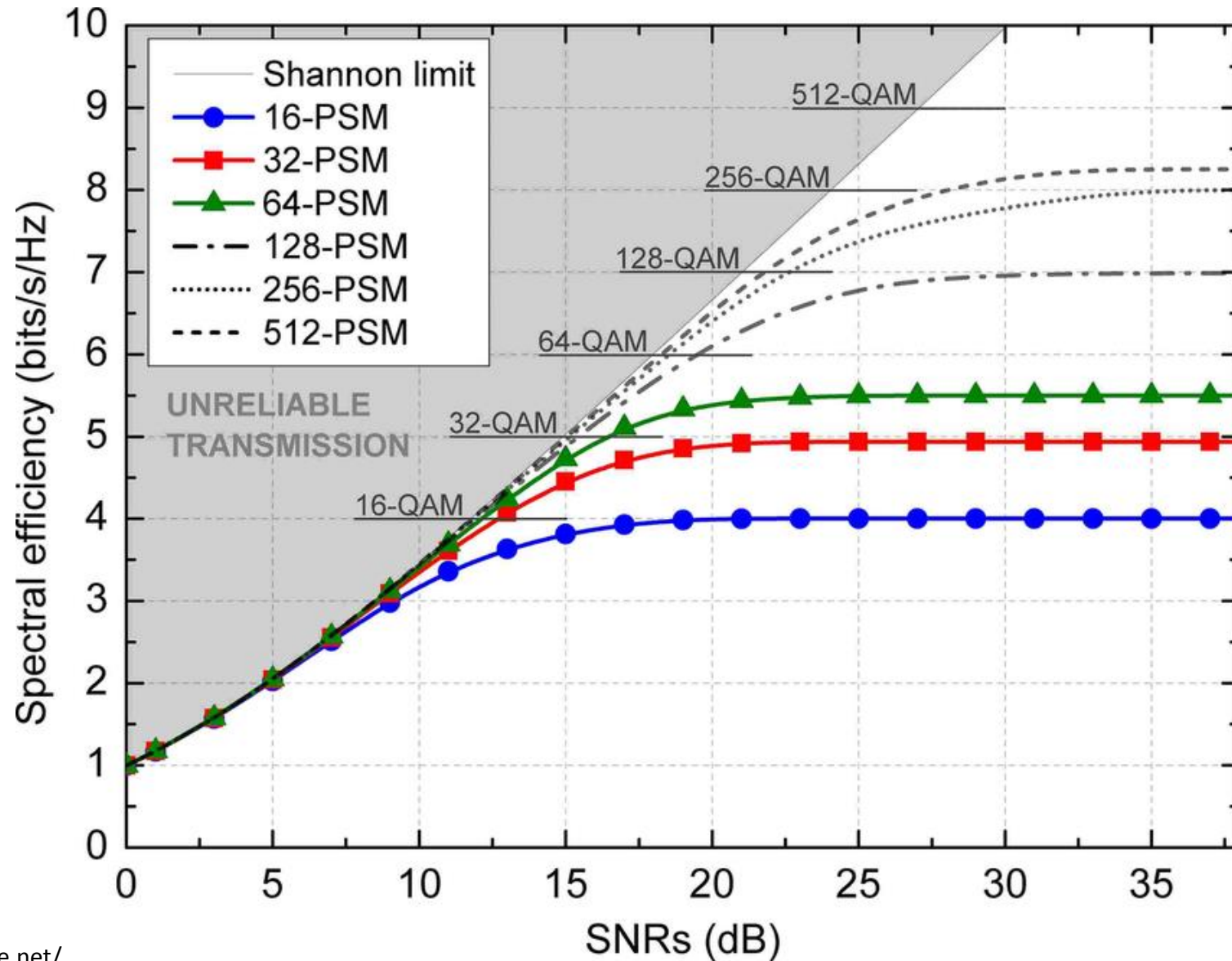
- Võttes arvesse ka Shannon – Hartley seadust saame kas..
- Maksimaalse sümbolite arvu kanalis etteantud signaal-müra suhte korral:

$$M = \sqrt{1 + \frac{S}{N}}$$

- Vajaliku signaal-müra suhte M erineva sümboli edastamiseks:

$$\frac{S}{N} = M^2 - 1$$

Spektraalefektiivsus



Materjalid

- Michael Duck and Richard Read. **Data Communications and Computer Networks for Computer Scientists and Engineers.** Second edition. Pearson Education Limited 2003. Ptk 1 Introduction lk 1-16.
- William Stallings. **Data and Computer Communications** 8th edition. Ptk 3. Analog and digitaal data transmissioon. lk 65-96.
- All About Circuits. **RMS Voltage Calculator.**
<https://www.allaboutcircuits.com/tools/rms-voltage-calculator/>,
21.03.2018