

# Laika mērījumi

no saules pulksteņa līdz atompulkstēniem un sakaru satelītiem



Avots: Dreamstime

## Kurts Švarcs

Atbildes uz jautājumu "Kas ir laiks?" var būt dažādas un neviennozīmīgas. Ievērojamais amerikāņu fiziķis Džons Vīlers (*John Wheeler*, 1911–2008) izteicās filozofiski: "Laiks ir tas, kas kavē visam notikt uzreiz." Laika mērījumi aizsākās senajās civilizācijās un deva iespēju veidot pirmos kalendārus. Jaunajos laikos Galileo Galilejs īstenoja zinātniski precīzus laika mērījumus, atklājot svārsta likumsakarības kā laika etalonu. Mūsdienās atompulksteņi nodrošina laika mērījumus ar precizitāti līdz miljardai daļai mikrosekundes, paverot iespējas navigācijai ar satelītiem kosmosā un uz Zemes. Bez atompulksteņiem nebūtu iespējami daudzi mūsu ikdienā nu jau ierasti pakalpojumi, piemēram, starpkontinentālie telefona sakari ar *iPhone*.

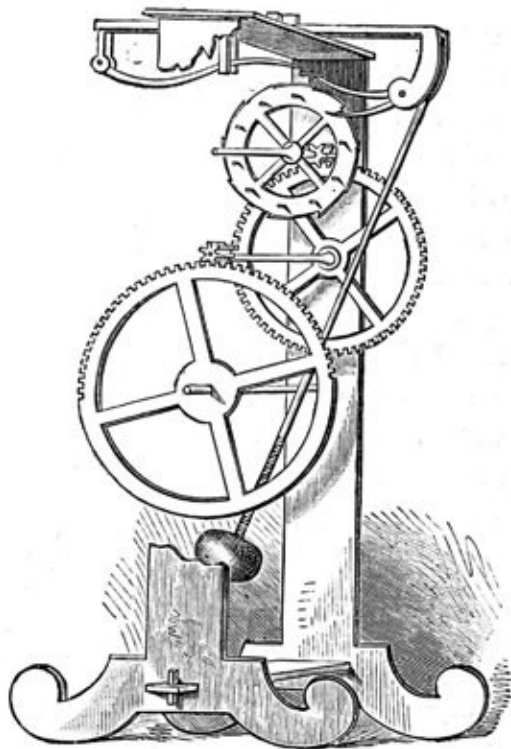
## Laiks un pulksteņi

Seno civilizāciju laika mērījumi balstījās uz astronomiskiem novērojumiem, kuros Zemes rotācija ap savu asi noteica diennakts ilgumu un rotācija ap Sauli – gada periodu. Seno kalendāru sastādītāji ņēma vērā, ka Zemes rotācija ap Sauli nedaudz pārsniedz 365 dienas: laika gaitā šo nobīdi vajadzēja koriģēt un šīs korekcijas tiek veiktas joprojām. Viens no vecākajiem kalendāriem līdz mums nonācis no senās maiju civilizācijas (tagadējā Meksikā), kur laika skaitīšana tika uzsākta aptuveni trīstūkstoš gadus p.m.ē. un gada periods atbilda 365 dienām ar korekciju. Senajā Babilonijā jau otrajā gadu tūkstoši p.m.ē. tika ieviesta skaitļu sistēma ar bāzi "60". No šīs babiloniešu skaitļu sistēmas ir pārņemti gan mūsu leņķu mēri (pilnais leņķis = 360°), gan stundas un dienas garuma mēri (60 sekundes, 60 minūtes, 2 x 12 = 24 stundas).

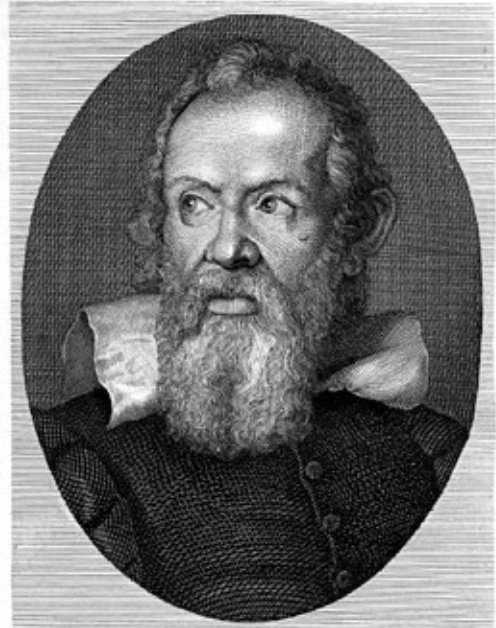
Ikdienas laika mērījumiem ilgstoši izmantoja saules

pulksteņus. Izrakumos Ēģiptē Bāzeles Universitātes arheologi atrada saules pulksteņi, kas tapis ~1500 gadus p.m.ē. Šā atraduma īpašā iezīme – pulkstenis ir sadalīts 12 sekcijās (15 loka grādi) atbilstoši ēģiptiešu dienas dalījumam. Saules pulksteņi veido kaļķakmeņa plāksne ar caurumu stabiņam, kura ēna norāda laiku. Tā mazais izmērs (12 x 12 cm) liecina, ka to izmantoja ceļojumos [1].

No saules pulksteņa līdz smilšu pulkstenim pagāja gandrīz četrstūkstoš gadi. Precīzie ikdienas un fizikālie laika mērījumi sākās tikai līdz ar Galileja svārsta likumsakarību atklājumu un Kristiana Heigensa izgatavoto svārsta pulksteņi ar enkuru (tab., 1., 2. att.). Nedaudz vēlāk Heigenss patentēja kabatas pulksteņi ar balansa riteni, un šī konstrukcija mehāniskajos pulksteņos ir saglabājusies līdz mūsdienām (3. att.). Būtībā Heigensa atklājums aizsāka mehānisko pulksteņu ēru, ko 1921. gadā noslēdza angļu inženiera Viljama Šrota pulksteņi, kuros ar īpašu svārsta sistēmu vakuuma kamerā svārsta pulksteņu precizitāte tika uzlabota



Avots: Wikimedia Commons



*Galileo Galilei*  
*Retratto per il quale egli da Lui già vecchio fece l'effigie  
 e troncata nella R. Galleria di Torino*

Avots: Smithsonian Institution

1. attēls. Galileo Galilejs (1564–1642) atklāja svārsta likumsakarības kā laika etalonu, tādējādi aizsākot precīzas laika mērīšanas ēru. Pa kreisi: Galileja skice svārsta pulksteņim (ap 1637). Šo ideju vēlāk īstenoja holandiešis Kristians Heigenss

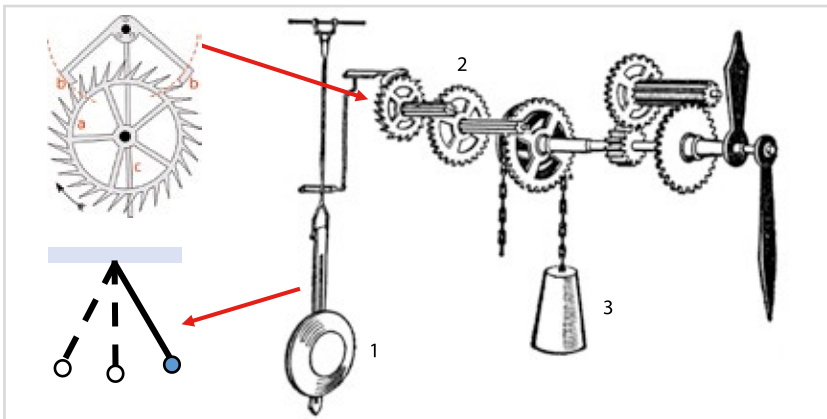
līdz  $\pm 0,003$  sekundēm diennaktī. Šos pulksteņus līdz pagājušā gadsimta četrdesmitajiem gadiem izmantoja kā laika standartu dažādās valstīs.

Turpmākā pulksteņu attīstība saistās ar pjezoelektrisko efektu, kuru jau 1880. gadā atklāja franču fiziķi Žaks Kirī un Pjērs Kirī (1903. gadā Pjērs Kirī kopā ar Mariju Kirī un Anrī Bekerelu saņēma Nobela prēmiju fizikā par radioaktivitātes pētījumiem). Pjezoelektriskais efekts ir elektriskās polarizācijas rašanās dielektriskos kristālos pie mehāniskās

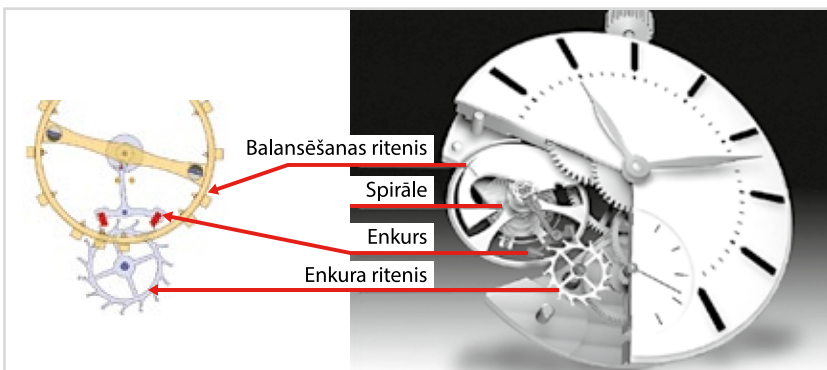
deformācijas (tiešais efekts). Apgrieztais pjezoelektriskais efekts ir kristāla mehāniskā deformācija elektriskā laukā un svārstību rašanās kristālā elektriskā maiņstrāvas laukā. Apgriezto pjezoelektrisko efektu kvarca kristālos ( $\text{SiO}_2$ ) izmanto kā laika etalonu ( $\text{SiO}_2$  rezonatori) pulksteņos. Šādu rezonatoru izstrādei bija nepieciešami ilgstoši pētījumi, kas tika veikti Bella laboratorijās (*Bell Labs*), kur 1927. gadā fiziķis Vorens Merisons izstrādāja pirmo kvarca pulksteni (tab., 4. att.). Kvarca pulksteņus dažādas firmas gan sāka ražot

#### Tabula. Pulksteņu attīstības posmi

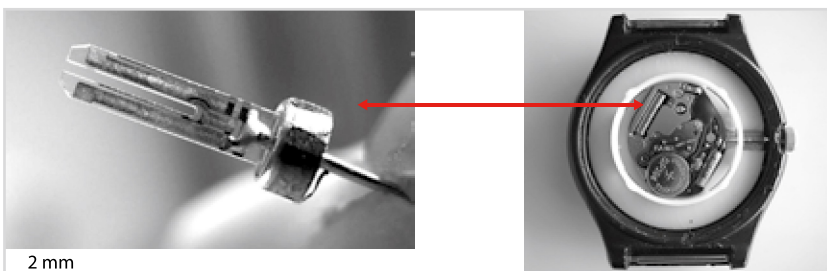
3.–2. g.t. p.m.ē.	Saules un ūdens pulksteņi Senajā Divupē, Senajā Ēģiptē un citās senajās civilizācijās [1]
~760. g. m.ē.	Smilšu pulksteņi
~900. g. m.ē.	Sveču pulksteņi ar laika skalu
16. gs.	Eļļas pulksteņi lampu veidā ar laika iedaļām
1656. gads	Kristians Heigenss ( <i>Christiaan Huygens</i> , 1564–1642) izgatavo svārsta pulksteni ar enkuru un balansa riteni ( $\pm 10$ sekundes diennaktī). Mehānisko pulksteņu ēras sākums
1880. gads	Brāji Kirī ( <i>Jacques &amp; Pierre Curie</i> ) atklāj pjezoelektrisko efektu, ko izmanto kā laika etalonu modernajos pulksteņos
1921. gads	Angļu inženieris Viljams Šorts ( <i>William Hamilton Shortt</i> (1881–1971) izgatavo precīzus svārsta pulksteņus ( $\pm 0,003$ sekundes diennaktī). Tos kā laika standartu izmantoja ASV Nacionālais standartu institūts
1927. gads	Amerikāņu fiziķis Vorens Merisons ( <i>Warren Alvinarrison</i> , 1896–1980) Bella laboratorijās demonstrē pirmo kvarca pulksteni ar $\text{SiO}_2$ rezonatoru (vēlāk tika sasniegta precizitāte $\pm 10^{-9}$ s) [2]
1949. gads	Amerikāņu fiziķis Harolds Laionsss ( <i>Harold Lyons</i> , 1913–1998) konstruē atompulksteni, izmantojot amonjaka molekulu ( $\text{NH}_3$ ) svārstības ( $\nu$ ) kā laika etalonu (precizitāte $\Delta\nu/\nu = 10^{-11}$ )
1967. gads	Atompulkstenis ar $^{133}\text{Cs}$ atoma elektronu pārejām $\nu = 9\,192\,631\,770$ Hz, ko izmanto sekundes definīcijai ( $\Delta\nu/\nu = 10^{-13}$ )
1970. gads	Elektroniskais pulkstenis ar $\text{SiO}_2$ rezonatoru un gaismas diožu displeju



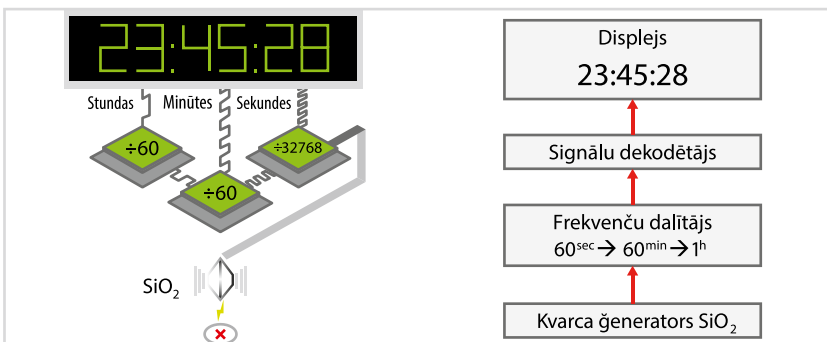
2. attēls. Heigensa svārsta (1656) precizitāte bija 10 sekundes diennaktī. Svārsta (1) periods ir pulksteņa laika etalons. Ar enkura riteni (2) tas pagriež pulksteņa mehānismu sekundes ritmā. Mehānisko enerģiju nodrošina atsvara potenciālā enerģija (3)



3. attēls. Mehāniskos atsperes pulksteņos (atspere attēlā nav redzama, jo atrodas aiz ciparnīcas) laika etalons ir balansēšanas ritenis ar spirāli, kura svārstības ar enkuru un enkura riteni nosaka pulksteņa ritmu



4. attēls. Kvarca pulksteņos kā laika etalonu izmanto kvarca ( $\text{SiO}_2$ ) kristāla svārstības (pjezoelektriskais efekts). Pulksteņos izmanto kvarca rezonatorus ar frekvenci  $32\,768\text{ Hz} = 2^{15}\text{ Hz}$ , kura ir izdevīga elektroniskām shēmām



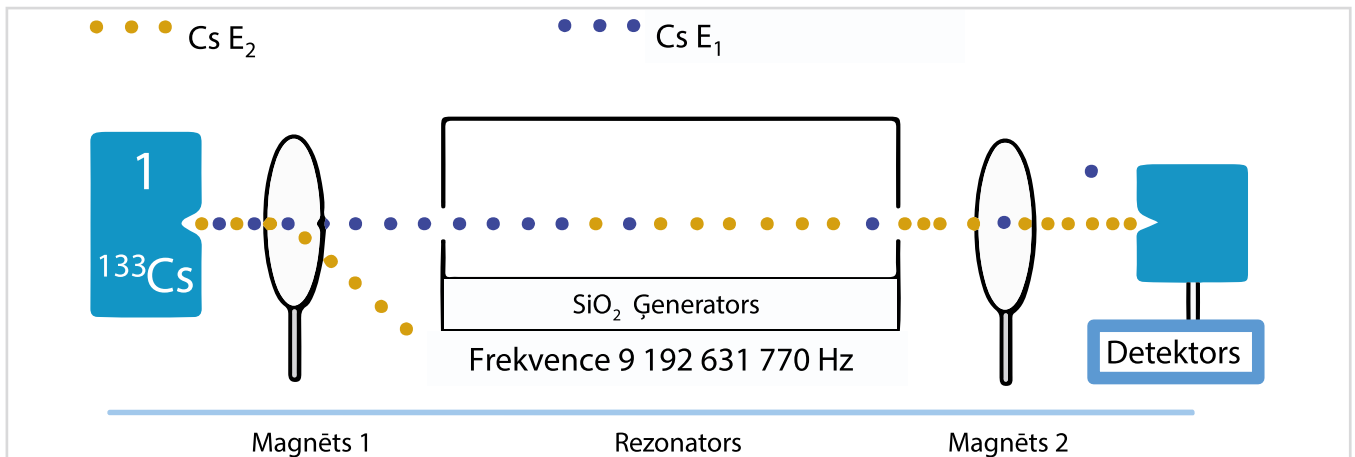
5. attēls. Elektroniskiem pulksteņiem nav rotējošā mehānisma, un tie sastāv no kvarca ģenerators, datora (frekvencu dalītājs un dekodētājs) un displeja, kurus apgādā miniatūra elektriskā baterija

tikai sešdesmito gadu beigās [2]. Septiņdesmitajos gados parādījās komerciālie elektroniskie pulksteņi bez jebkādas mehāniskas konstrukcijas. Šajos pulksteņos, kas aprīkoti ar miniatūru elektrisko bateriju, kā laika etalonu izmanto kvarca rezonatoru un frekvencu dalītājs ar dekodētāju un displeju norāda laiku stundās, minūtēs un sekundēs (5. att.).

Laika mērījumi ar ūdens pulksteņiem, kuros laika etalons bija izplūstošā ūdens daudzums, sākās pirms piectūkstoš gadiem. Senajā Babilonijā ūdens pulksteņi bija pazīstami jau trešajā gadu tūkstoši p.m.ē., un labāko šā tipa pulksteņu precizitāte bija daži desmiti minūšu diennaktī. Pagāja vairāk nekā četrstūkstoš gadi, līdz Kristians Heigenss radīja svārsta pulksteņi ar precizitāti 10 sekundes diennaktī. Taču tikai divdesmitajā gadsimtā kvarca rezonators nodrošināja fantastisku precizitāti – vienu nanosekundi (miljardā daļa sekundes!) diennaktī. Tomēr arī kvarca pulksteņi neapmierināja tehnisko progresu sakaru tehnikā un kosmosa apgūvē.

## Atompulksteņi un satelīti

Ideju izmantot atomus fizikālo lielu etalonu noteiksmē angļu fiziķis lords Viljams Kelvins (*William Thomson, Lord Kelvin*, 1824–1907) izteica jau 1879. gadā (Kelvina vārdā nosaukta termodinamiskās temperatūras skala, kurā par temperatūras atskaites punktu izvēlēta absolūtā nulle). Tomēr līdz idejas realizācijai pagāja septiņdesmit gadi. Šo ideju fizikāli pamatoja amerikāņu fiziķis, kodolmagnētiskās rezonanses atklājējs Izidors Rabi (*Isidor Isaac Rabi*, 1898–1988, Nobela prēmija fizikā 1946. gadā). Rabi ieteica kā laika etalonu izmantot elektronu pārejas  $^{133}\text{Cs}$  atomos (cēzijam ir tikai viens stabils izotops ar atomsvāru 133). Ierosinātie atomi izstaro elektromagnētiskos viļņus (ar noteiktu frekvenci  $\nu$ ), kurus var izmantot kā laika etalonu. Atomlaika etalons kļūst neatkarīgs no tehniskiem parametriem (svārsta garums, kvarca kristāla izmēri u.c.). Atomi nemaina īpašības laika gaitā, un šāds etalons zināmā mērā ir absolūts un mūžīgs! Pirmo atompulksteņi 1949. gadā radīja amerikāņu fiziķis Harolds Laionsss (tab.). Tā parametri gan bija nedaudz sliktāki nekā labākajiem kvarca pulksteņiem, tomēr svarīgs rezultāts bija pati atomlaika etalona realizācija! Nedaudz vēlāk konstruēja  $^{133}\text{Cs}$  atompulksteņi (6. att.), un 1967. gadā sekundi definēja ar atomu pārejām  $^{133}\text{Cs}$  atomos: 1 sekunde = 9 192 631 770 svārstību periodu kopējais ilgums starp izvēlētām elektronu



6. attēls. Atompulksteņos izmanto kvantu pārejas atomos vai molekulās, iegūstot fantastisku laika etalona precizitāti ( $10^{-18}$  sekundes = viena miljardā daļa no miljardās daļas sekundes!). Attēlā redzama cēzija ( $^{133}\text{Cs}$ ) atompulksteņa shēma, kurā izmanto kvantu pārejas cēzija atomos (elektrona mijiedarbība ar kodola magnētisko momentu). Kamerā Nr. 1 ir Cs atomu tvaiki (pie  $100^\circ\text{C}$ ), kas izplūst no mazas atveres un tiek orientēti magnētiskā laukā (magnēts Nr. 1). Kvarca rezonatorā radiofrekvenci starojums ( $\nu_0 = 9\,192\,631\,770\text{ Hz}$ ) ierosina cēzija atomus (kvantu pāreja  $\Delta E = E_2 - E_1 = h\nu_0$ ,  $h = 6,626 \times 10^{-34}\text{ Js}$ ), un magnēts Nr. 2 uz detektoru virza tikai ierosinātos cēzija atomus. Pie rezonanses frekvences  $\nu_0$  detektora signāls ir maksimāls un atompulksteņa relatīvā stabilitāte ir  $10^{-13}$ . Visa sistēma atrodas slēgtā kamerā

pārejām. Atompulksteņi pavēra jaunu ēru fizikā, metroloģijā un navigācijā. Pirmo reizi metroloģija ieguva etalonu, kas nav atkarīgs no mēriekārtu tehniskajiem parametriem.

Ir grūti pārvērtēt atompulksteņu lomu šodienas tehnikā, kaut arī lielākā daļa cilvēku ikdienā par to nedomā. Daudzi pakalpojumi, kurus mēs bieži uzskatām par pašsaprotamiem, ir saistīti ar atompulksteņiem. Starpkontinentālie telefona sakari, satelītu uztvērēji, elektroenerģijas tīklu stabilitāte un daudz kas cits eksistē, pateicoties atompulksteņiem.

Eiropas Savienības satelītnavigācijas sistēmā izmanto kompakto rubīdija ( $^{87}\text{Rb}$ ) un ūdeņraža ( $\text{H}$ ) atompulksteņus. Rubīdija oscilatoru veido rubīdija papildīta gāzslādes sistēma. Kā laika etalonu izmanto pārejas ar frekvenci  $6\,834\,682\,610,904\,324\text{ Hz}$  ( $\sim 6,8\text{ GHz}$ ) un relatīvo standarta frekvences novirzi  $3 \times 10^{-12}$ . Ūdeņraža atompulksteņos izmanto elektronu pārejas ar fotonu rezonanses frekvenci  $1\,420\,405\,751,7667\text{ Hz}$  ( $\sim 1,42\text{ GHz}$ ) un relatīvo standarta frekvences novirzi  $3 \times 10^{-15}$ . Šo ūdeņraža atomu radioviļņu starojumu (viļņu garums  $\lambda = 21\text{ cm}$ ) no Visuma (zvaigznēm, galaktikām, miglājiem) jau daudzus gadus izmanto novērojumiem radioastronomijā. Atompulksteņi ir sarežģīti un dārgas iekārtas (piemēram, ūdeņraža atompulksteņa cena ir ap  $240\,000\text{ ASV dolāru}$ ).

## Satelītnavigācija un starpkontinentālie telefona sakari

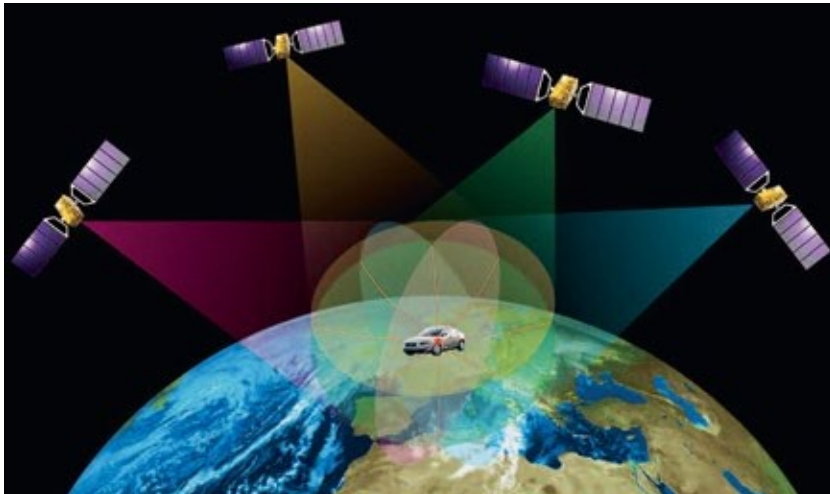
Kopš pirmā mākslīgā Zemes pavadoņa *Sputnik-1* palaišanas ir pagājuši vairāk nekā sešdesmit gadi. Šodien ap mūsu planētu riņķo vairāk nekā piecpadsmit tūkstoši mākslīgas izcelsmes objektu, tostarp izlietotie satelīti, raķešu posmi, to gruveši u.c. Lielākā daļa šo objektu ir tapusi Krievijas kosmisko programmu ietvaros. ASV kosmosā ir palaidušas ap  $4820$  objektu. Vairāk nekā astoņdesmit valstīm ir piederīgi dažāda veida satelīti apkārtējā kosmiskajā telpā, tostarp arī

Latvijas pirmais Zemes mākslīgais pavadoņs *Venta-1*, kas tika palaists 2017. gada jūnijā un kura galvenais uzdevums ir sekot kuģa kustībai un drošībai (par šo Ventspils Universitātes projektu sk. [3, 4]).

Pirmo globālo navigācijas sistēmu (*Global Positioning System*, GPS) izstrādāja ASV militārām vajadzībām laikā no 1972. līdz 1995. gadam. Pēc sistēmas palaišanas (*Navigation System with Timing and Ranging*, NAVSTAR) kļuva iespējami arī civilie pakalpojumi. Sistēmā ietilpst 35 satelīti sešās orbitālās plaknēs. Aptuveni tai pašā laikposmā Padomju Savienība, arī militārām vajadzībām, izstrādāja līdzīgu navigācijas sistēmu GLONASS (*Global Navigation Satellite System*) ar 24 satelītiem (to pabeidza 1996. gadā). Abas navigācijas sistēmas NAVSTAR-GPS un GLONASS tiek nepārtraukti modernizētas un paplašinātas, dodot iespēju arī civiliem pielietojumiem.

Eiropas Kosmosa aģentūra (*European Space Agency*, ESA) kopā ar Eiropas Savienību 2003. gadā atklāja globālo navigācijas projektu GALILEO ar 30 satelītiem (27 aktīviem un 3 rezerves)  $\sim 23\,000\text{ km}$  augstumā (ar orbitālo periodu  $14,0833$  stundas). Līdz 2018. gadam bija palaisti divdesmit seši satelīti, kuri nodrošina navigāciju jebkurā zemeslodes punktā. Satelītu paredzētais ekspluatācijas laiks ir 15 gadi. GALILEO tiek izstrādāts tikai civiliem mērķiem. Tomēr 2008. gadā Eiroparlaments pieņēma rezolūciju par satelītu signālu izmantošanu arī militārām operācijām, kas tiek veiktas Eiropas drošības politikas ietvaros.

GALILEO izmanto iepriekšējo projektu pieredzi, un tā mērķis ir radīt efektīvu, neatkarīgu navigācijas un globālo sakaru sistēmu [5]. Arī Krievija ir netieši iesaistīta šajā projektā. Pirmais GALILEO sistēmas satelīts tika palaists no Baikonuras kosmodroma 2005. gada 28. decembrī, izmantojot raķeti *Sojuz*. Tam sekoja vēl trīspadsmit navigācijas satelīti. 2011. gada decembrī GALILEO pārraidīja uz Zemi pirmo testa navigācijas signālu no satelītiem. GALILEO paredzētā navigācijas precizitāte ir  $4\text{--}15$  metri, un galīgajā variantā precizitāte visās koordinātās būs viens metrs. Signālu izplatīšanās laiks (ar gaismas ātrumu  $c = 299\,792\,458\text{ m/s}$ )



Avots: ESA

7. attēls. Katrā satelītā ir ievietots kompakts, stabils atompulkstēns ( $\Delta v/v = 2 \times 10^{-11}$ ), kas stabilizē laiku pašā satelītā un sinhronizē laiku un laika mērījumus ar citiem satelītiem. Lai noteiktu atrašanās vietu objektam uz zemes, ir nepieciešama informācija no vismaz četriem satelītiem – attālumi no trim satelītiem ( $x, y, z$ ) un laika koordinātas ( $t$ ) no ceturtā satelīta [5]



Avots: ESA - P. Carril

8. attēls. Plānots, ka GALILEO "zvaigznāju" veidos 30 satelīti (patlaban 26) trīs orbitālās plaknēs, un tā izveidi ir paredzēts pabeigt ne vēlāk kā 2020. gadā. Pēdējie četri GALILEO satelīti tika palaisti 2018. gada 25. jūlijā no Eiropas kosmodroma Francijas Gviānā ar Eiropas nesējraķeti Ariane-5



Avots: ESA/Fermin Alvarez Lopez

9. attēls. Globālā satelītnavigācijas sistēma ir savienota ar lokālām sakaru sistēmām uz zemes, kas paver iespējas navigācijai gan tuvajā kosmosā, gan jebkurā zemeslodes punktā un nodrošina globālos telefona sakarus [5]. Attēlā: GALILEO stacija Jana Majena salā (Norvēģija) Atlantijas okeāna ziemeļos

no satelītiem līdz zemei ir aptuveni 80 milisekundes.

Katrā GALILEO satelītā darbojas četri augstas precizitātes atompulkstēni, kas ir nepieciešami precīzai pozīciju noteikšanai: divi rubīdija un divi ūdeņraža atompulkstēni. Katrs satelīts nepārtraukti izstaro kodu un orbītas datus (koordinātas, sinhronizēto laiku, kustības ātrumu) trīs frekvenču diapazonos (E5 – 1191,795 MHz; E6 – 1278,75 MHz; L1 – 1575,42 MHz). Lai noteiktu pozīciju, uztvērējs uz zemes reģistrē datus no vismaz četriem satelītiem: trīs satelītiem koordinātām ( $x, y, z$ ) un ceturtā satelīta – laika ( $t$ ) momentam (7. att.). Attālumu precizitātei  $\Delta l = 3$  m ir nepieciešama laika precizitāte  $\Delta t = 10$  nanosekundes ( $\Delta l = c \Delta t$ , kur  $c = 299\,792\,458$  m/s ir gaismas ātrums). Koordinātām izmanto pasaules ģeodēzisko sistēmu. Šī atskaites sistēma ir vienots pamats pozicionēšanai uz zemes un Zemes kosmiskajā telpā. Globālā satelītnavigācijas sistēma ar satelītu antenām ir savienota ar sakaru sistēmām uz zemes, kas paver iespējas navigācijai gan tuvajā kosmosā, gan jebkurā zemeslodes punktā un nodrošina globālos telefona sakarus. Uz zemes darbosies vairāki kontroles centri, kā arī globālais staciju tīkls dažādiem uzdevumiem. GALILEO sistēmas centrālo kontroli veic Vācijas Aviosakaru un kosmosa centrs (*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt*, DLR) Oberpfaffenhofenā (*Oberpfaffenhofen*, netālu no Minhenes). Nākamie navigācijas sistēmas GALILEO satelīti tiks palaisti 2020. gada beigās un noslēgs paredzēto 30 satelītu sistēmu. Navigācijas sistēma paredz gan komerciālo pakalpojumu sniegšanu augstas precizitātes pozicionēšanai, gan bezmaksas pakalpojumus patērētājiem *Public Regulated Service* programmas ietvaros [6]. **E&P**

#### Literatūra

- [1] Bukka, J., Wiederbestimmungen im Grab des Anch-Hor (TT 414): Neufunde der Kampagne 2009, in: Sokar 20, 88–93.
- [2] Marrison, W., The Evolution of the Quartz Crystal Clock, Bell System Technical Journal. AT&T. 27: 510–588, 1948.
- [3] Raitis, M., Zemes orbitā veiksmitīgi nogādāts Latvijas pirmais zemes mākslīgais pavadoņs Venta-1, Zvaigžņotā Debess, 2017 Rudens, 52 – 53.
- [4] Raitis, M., Venta-1 pusgads orbitā, Zvaigžņotā Debess, 2018 Pavasaris, 72 – 73.
- [5] Zogg, Jean-Marie, GPS Essentials of Satellite Navigation, GPScompendium@u-blox.com.
- [6] <http://gpsworld.com/directions-2018-galileo-ascendant/>



Avots: ESA - P. Cornil

10. attēls. GALILEO satelīts orbītā. Visi satelīti nosaukti to bērnu vārdā, kuri uzvarēja GALILEO zīmējumu konkursā 2011. gadā

**2016. gada decembrī Eiropas satelītnavigācijas sistēma GALILEO sadarbībā ar GPS sāka piedāvāt sākotnējos pakalpojumus valsts iestādēm, uzņēmumiem un iedzīvotājiem, kopumā ap 400 miljoniem lietotāju. Patlaban GALILEO nodrošina trīs veidu pakalpojumus, kuros tiek izmantota satelītnavigācija:**

- **brīvpiekļuves pakalpojums:** brīvi pieejams pakalpojums pozicionēšanas, navigācijas un laika sinhronizācijas vajadzībām. Laika sinhronizācijas pakalpojums kļūst aizvien stabilāks, precīzāks un ātrāks (nanosekundēs) salīdzinājumā ar citām atrašanās vietas noteikšanas sistēmām. Tas ļauj izmantot *eZvana* sistēmu, kas kopš 2018. gada 31. marta Eiropas Savienībā ir obligāta visos jaunos automobiļos un paziņo automobiļa atrašanās vietu neatliekamās palīdzības dienestiem;
- **meklēšanas un glābšanas (SAR) pakalpojums:** aktivizētas bākas raidītu trauksmes signālu lokalizēšana. Kopš 2016. gada decembrī tika sākta GALILEO sākotnējo pakalpojumu sniegšana, jūrā vai kalnos pazuduša cilvēka atrašanai vajadzīgais laiks samazinājās no, ilgākais, 4 stundām līdz 10 minūtēm pēc avārijas bākas aktivizēšanas. Lokalizēšanas precizitāte uzlabojusies no 10 km bez GALILEO līdz mazāk nekā 2 km ar GALILEO. Turpmāk šis pakalpojums nodrošinās, ka briesmās nokļuvušajam cilvēkam tiks nosūtīts signāls, kas apstiprinās, ka viņa nosūtītais trauksmes signāls ir uztverts un lokalizēts;
- **publiskais regulētais pakalpojums (PRS):** šifrēts pakalpojums, kas paredzēts valsts iestādēm drošības ziņā sensitīviem lietojumiem, piemēram, militārām operācijām. PRS uzdevums ir nodrošināt pakalpojumu nepārtrauktību pat visnelabvēlīgākajos apstākļos. Tas ir īpaši stabils un pilnībā šifrēts pakalpojums, ko valsts pārvaldes iestādes var izmantot valsts mēroga ārkārtas vai krīzes situācijās, piemēram, teroristu uzbrukuma gadījumā.

Kopumā GALILEO sistēmu plānots pabeigt ne vēlāk kā 2020. gadā, kad tā sasniegs pilnīgas operatīvās spējas. GALILEO sākotnējos pakalpojumus pārvalda Eiropas GNSS (*Global Navigation Satellite System*) aģentūra. GALILEO programmu kopumā pārvalda Eiropas Komisija, kas atbildību par sistēmas izvēršanu un darbības funkciju tehnisko atbalstu ir nodevusi Eiropas Kosmosa aģentūrai.

Avots: Eiropas Komisija