

# Digitālā fotokamera: no mobilā telefona līdz satelītam



Avots: Dreamstime

**Kurts Švarcs**

## Digitālā fotokamera

Jau pagājušā gadsimta beigās digitālās kameras veiksmīgi konkurēja ar parastiem fotoaparātiem, taču kopš 2005. gada tās ir iekarojušas arī mobilos telefonus un viedtālruņus (*iPhone*). Tagad digitālā fotogrāfija ir kļuvusi par mūsu ik-dienas sastāvdaļu un tiek plaši izmantota zinātnē un tehnikā (astronomijā, Zemes māksligajos pavadonos (satelitos), navigācijā un citur).

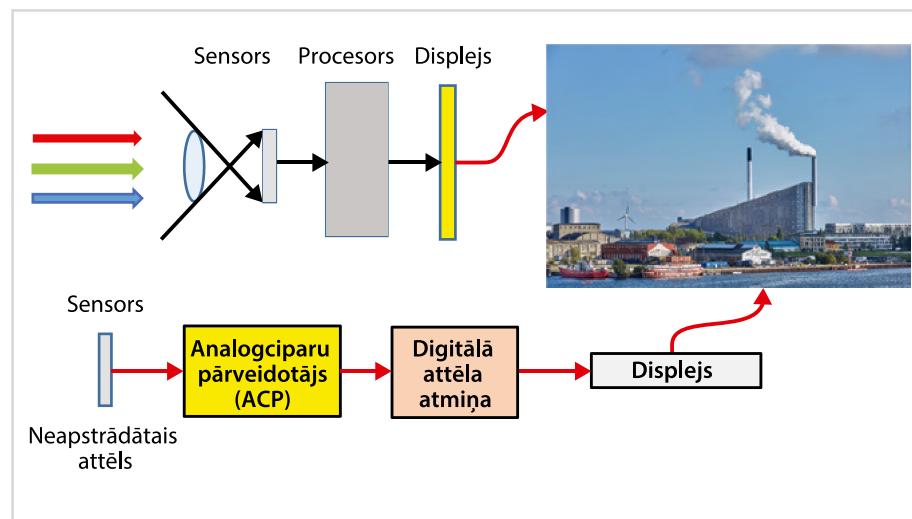
Digitālā fotogrāfija kļuva iespējama, pateicoties jutīgiem gaismas sensoriem (lādiņu pārneses detektoriem, angļu val. *Charged Coupled Device*, CCD), optiskā attēla apstrādes datorprogrammām un jauniem efektīviem optiskiem objektīviem ar gaismas filtriem [1]. Šie tehniskie uzlabojumi deva iespēju viedtālruņa korpusā (ar izmēriem 12 x 6 x 1 cm) ie-vietot akumulatoru, datoru un procesoru, kas apkalpo mōbilo telefoni, nodrošina sakarus ar internetu un programmē

digitālo fotokameru ar videotehniku un zibspuldzi (1. att.). Digitālā fotogrāfija pavēra jaunas iespējas astronomijā un Zemes novērošanas satelītu jomā: bez CCD sensoriem nebūtu *Google* topogrāfisko karšu un pilsētu plānu un Habla kosmiskais teleskops nevarētu pārraidīt uz Zemi tālu Visuma galaktiku attēlus.

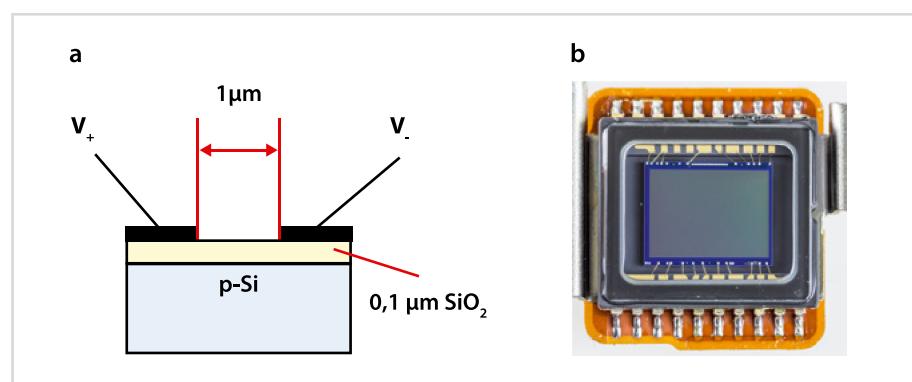
Digitālajā fotokamerā objektīvs ar nedaudz milimetru fokusa attālumu projicē fotografējamā objekta attēlu uz sensoru, kas sastāv no fotodiožu matricas ar miljoniem atsevišķu fotodiožu uz dažu kvadrātcentimetru laukuma (2. att.). Sensors ir lādiņu pārneses detektors, kas pārvērš optisko attēlu elektrisko lādiņu attēlā. Šis primārais attēls (neapstrādātā formāta attēls, angļu val. *Raw Image Format*, RAW) raksturo tikai gaismas intensitāti fotografējamā objektā bez informācijas par objekta krāsu. Lai iegūtu krāsainu attēlu, sensors priekšpusē novieto gaismas filtra matricu (3. att.), kas dod iespēju reģistrēt RAW attēlus trīs dažādos vilņa garuma

diapazonos (zaļā, zilā un sarkanā). Šie trīs primārie attēli nav digitāli, un šo attēlu krāsu un intensitātes sadalījums atšķiras no cilvēka vizuālās uztveres (sensorsa spektrālā jutība ir atšķirīga no acs tiklenes spektrālās jutības). Speciālas programmas koriģē primāro attēlu krāsu sadalījumu (dažādi pastiprinājumi trim krāsainiem RAW attēliem), šos attēlus summē un analogu ciparu pārveidotajā (ACP, 1. att.) pārvērš digitālā attēlā. Kameras sensors fotografējamā objekta attēlu vizualizē displejā jau pirms ekspozīcijas: uz displeja redzams attēls, kuru pēc ekspozīcijas ievada centrālajā atmiņā (1. att.). Tā ir digitālās fotokameras priekšrocība. Digitālais attēls sastāv no atsevišķiem elementiem – pikseli (angļu val. *pixel*, P). Katru pikseli raksturo krāsa (zaļa, zila, sarkana) un intensitāte. Datora atmiņā katram pikselim ir savas koordinātas, un labu digitālo attēlu apraksta vairāki miljoni pikselu. Visi sarežģītie attēla transformācijas procesi no optiskā attēla līdz digitālam attēlam uz displeja notiek laika intervālā, kas paver iespēju ātrām atkārtotām fotografijām (desmit un vairāk kadri sekundē) un videouzņēmumiem ar akustisko skaņas ierakstu dažu minūšu laikā (videoieraksts, kas veikts ar digitālo kameru, ir ar mazāku izšķirtspēju un kvalitātes ziņā atpaliek no ierakstiem, kas veikti ar videokamerām). Viedtālruņos tiek izmantota visa šodienas mākslīgā intelekta tehnika. Piemēram, viedtālruņa Apple 4s parametri doti 5. attēlā.

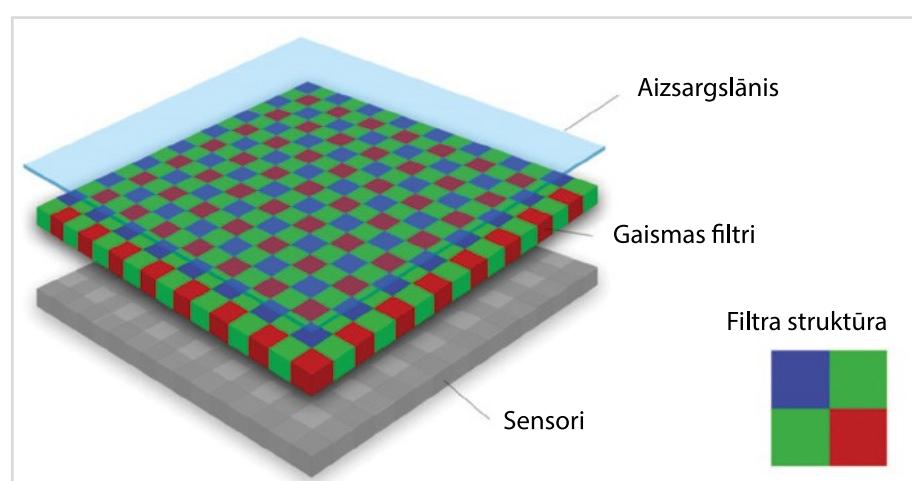
Celu uz digitālo fotografiju pavēra lādiņu pārneses detektori, kas ir integrālā shēma uz metāla-izolatora-pusvadītāju bāzes (2a. attēlā parādīts viens integrālās shēmas elements). Redzamās gaismas diapazonam parasti izmanto silīcija pusvadītāju, uz kura atrodas plāna izolatora kārtiņa (silīcija dioksīds,  $\text{SiO}_2$ ) ar metāla kontaktiem sprieguma pievadam. Uz pārejas izolators-pusvadītājs gaismas iespaidā inducējas elektriskie lādiņi, kuru skaits ir proporcionāls gaismas intensitātei. Integrālajā shēmā ir iekļauti vairāki miljoni gaismas jutīgo elementu, un tā aizņem laukumu  $23,6 \times 15,7 \text{ mm}^2$  (parastais sensoru standarts viedtālruņiem). Lai iegūtu krāsainu attēlu, sensors matricas priekšpusē novieto gaismas filtru matricu ar mikrometra izmēra filtriem sarkanam, zilam un zaļam spektra diapazonam (Baijera filtrs). Kvalitatīva fotoattēla ieguvei filtrā pastiprina zājās gaismas intensitāti attiecībā pret sarkanu un zilo gaismu (50% /25% / 25%). Kā aizsargslāni fotoattēlu kvalitātes uzlabošanai izmanto gaismas filtru, kas aizturbīna infrasarkanu starojumu.



1. attēls. Digitālajā fotokamerā projicē attēlu uz sensora (lādiņu pārneses detektoru, CCD, 2. att.), kas optisko attēlu pārvērš elektrisko lādiņu attēlu. Šo primāro lādiņu attēlu analogciparu pārveidotājs (ACP) ievada datora atmiņā un vizualizē displejā. Fotografējamo attēlu jau pirms ekspozīcijas novēro uz displeja. Fotogrāfijas uzņemšanu (ekspozīcija, zibspuldze) programmē procesors, kas dod iespēju veikt ap desmit kadru sekundē



2. attēls. Digitālās kameras sensors (lādiņu pārneses detektors, CCD) ir fotoelementu integrālā shēma uz metāla-izolatora-pusvadītāju bāzes ar vairākiem miljoniem fotoelementu: a – fotoelements sastāv no silīcija pusvadītāja (p-Si), ko pārkāj plāna silīcija oksīda kārtiņa ( $\text{SiO}_2$ ) ar metāla elektrodiem; gaismu inducē elektriskos lādiņus proporcionāli intensitātei; b – firmas Canon CCD sensora integrālā shēma ar 4,5 miljoniem elementu



3. attēls. Lai iegūtu krāsainu digitālu attēlu, sensors matricas priekšpusē novieto gaismas filtru matricu ar mikrometra izmēra filtriem sarkanam, zilam un zaļam spektra diapazonam (Baijera filtrs). Kvalitatīva fotoattēla ieguvei filtrā pastiprina zājās gaismas intensitāti attiecībā pret sarkanu un zilo gaismu (50% /25% / 25%). Kā aizsargslāni fotoattēlu kvalitātes uzlabošanai izmanto gaismas filtru, kas aizturbīna infrasarkanu starojumu

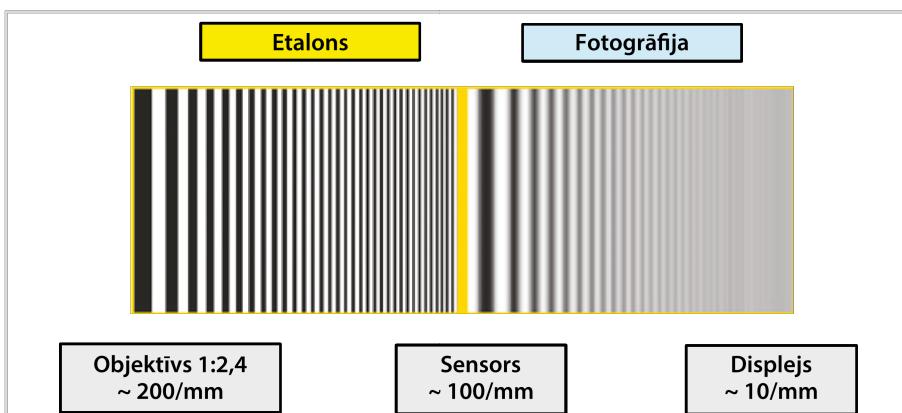


4.attēls. CCD sensora izgudrotāji fiziķi Viljards Boils (pa kreisi) un Džordzs Smits 1974. gadā



Apple iPhone 4s Parametri	
Fotokamera	Objektīvs no piecām lēcām: fokusa attālums 4,28 mm; Apertūra N = 1:2.4
Sensors	CCD 8 MP; $2,36 \times 1,57 \text{ cm}^2$ ; Izšķirtspēja $\Delta x = 7 \mu\text{m}$ , $\xi \approx 100/\text{mm}$
Zibspuldze	Gaismas diode (LED)
Atmiņa	Sensora atmiņa (RAM) 512 MB attēlu apstrādei Centrālā 16 GB (uzlabots variants ar 64 GB)
Displejs (Ekrāns)	Diagonāle 8.9 cm (4.8x7.5 cm) Izšķitzspēja 640x960 Pikseli $\Delta x = 0.08 \text{ mm}$ , $\xi \approx 12/\text{mm}$
Akumulators	1.42 mAh
Izmēri	115.2x58.6x9.3 mm
Svars	140 g

5.attēls. Viedtālruņa Apple iPhone 4s parametri. Apertūras skaitlis  $N = f/D$  raksturo objektīva gaismas spēju (f ir fokusa attālums un D ir objektīva atvēruma)



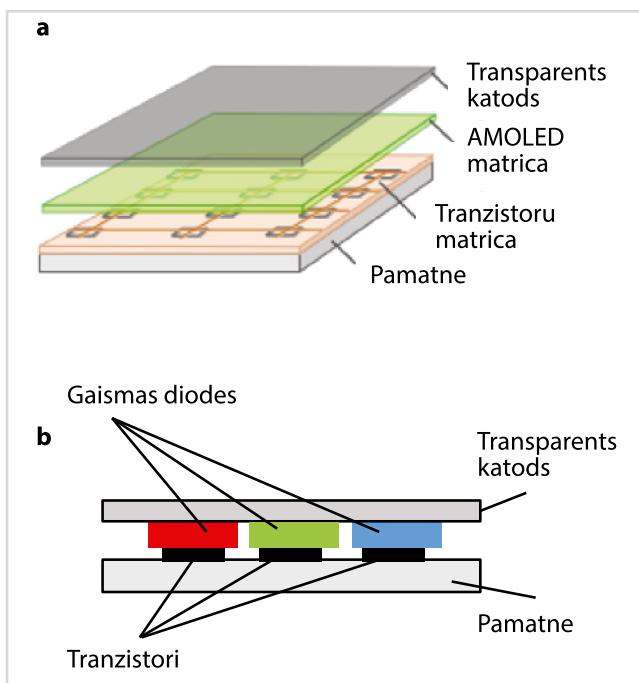
6.attēls. Digitālā sensora un displeja izšķirtspēju nosaka ar etalonu un tā digitālo fotoattēlu. Attēlā dota objektīva, sensora un displeja izšķirtspēja – līniju skaits uz milimetru

Šo filtru kombināciju sensoriem 1974. gadā firmā *Eastman Kodak* izstrādāja amerikānu fizikis **Braiss Baijers** (*Bryce E. Bayer*, 1929 – 2012), nemot vērā cilvēka vizuālo uztveri, kas visjutīgākā ir zaļā spektra diapazonā (gan krāsu, gan intensitātes uztveres ziņā). Lai iegūtu kvalitatīvu fotoattēlu, B. Baijers filtrā pastiprināja zaļās gaismas intensitāti attiecībā pret sarkano un zilo krāsu proporcijā 2:1:1 (3. att.). Šo principu nem vērā mūsdienu digitālajās kameras. CCD sensors ir jutīgs arī nereda mā infrasarkanā spektra diapazonā. Tāpēc digitālajās fotokamerās sensora priekšpusē atrodas filtrs, kas aiztur infrasarkano starojumu un tādējādi būtiski uzlabo digitālo fotogrāfiju kvalitāti.

CCD sensoru 1969. gadā izgudroja slavenās ASV firmas *Bell Laboratories* fiziķi **Viljards Boils** (*Williard Boyle*, 1924 – 2011) un **Džordzs Smits** (*George Elwood Smith*, dzimis 1930. gadā), un par šo izgudrojumu autori 2009. gadā saņēma Nobela prēmiju fizikā. Jau dažus gadus pēc CCD izgudrošanas pasaules vadošie mikroelektronikas uzņēmumi uzsāka šo sensoru rūpniecisko ražošanu. 1971. gadā *Bell Laboratories* tirgū palaida pirmo digitālo fotokameru, bet 1975. gadā – pirmo videokameru ar CCD sensoriem. Kopš tā laika digitālā attēlu tehnika ir iekarojusi pasauli, tostarp paverot jaunus apvāršus astronomijā un Zemes satelītu novērjumu jomā.

Fotoattēla kvalitāti nosaka objektīva un sensora izšķirtspēja. Objektīva izšķirtspēju nosaka gaismas difrakcija, kas atkarīga no objektīva atvēruma (apertūras) un fokusa attāluma. Lai novērtētu objektīva un sensora izšķirtspēju, izmanto etalonus ar gaišām un tumšām līnijām, kuru fotogrāfijas salīdzina ar etalonu (6. att.). Izšķirtspēju  $\xi$  novērtē pēc atšķiramo līniju skaita uz viena milimetru (tas ir apgriezts lielums no fotogrāfijā izšķiramā minimālā attāluma  $\Delta l$ :  $\xi = 1/\Delta l \text{ mm}^{-1}$ ). Izšķirtspēja ir atkarīga no viļņa garuma un apgaismojuma. Visprecīzāk izšķirtspēja ir noteikta objektīviem. Labākajiem objektīviem ar apertūru 1:1,5 tā ir ap 400 līniju uz milimetru, un viedtālruņiem ar apertūru 1:2,4 (5. att.) tā ir divreiz mazāka. Fotogrāfijā objektīva izšķirtspēja parasti ir lielāka par fotofilmu vai CCD sensoru izšķirtspēju (6. att.).

Digitālajā fotogrāfijā attēla kvalitāti

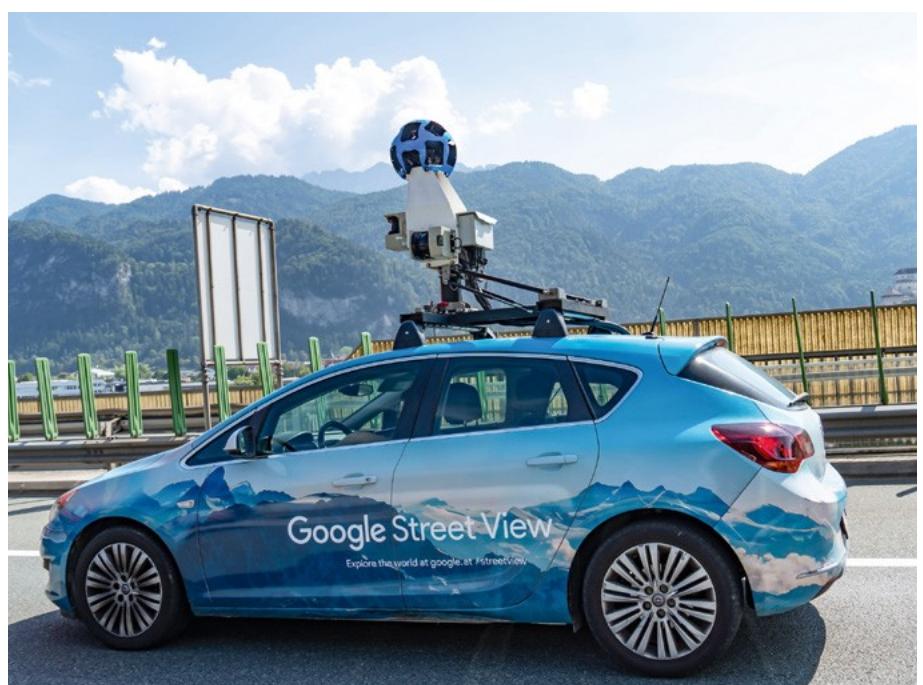


7.attēls. a – AMOLED displejs sastāv no plānslāju tranzistoru matricas (angļu val. *Thin-Film Transistor*, TFT), kas programmē organisko gaismas diožu matricu (elementārās diodes attēlā nav parādītas). b – katram attēla pikselim atbilst trīs elementārās gaismas diodes ar tranzistoriem, kas vizualizē pikseļa krāsu un intensitāti; baltam spožam attēla pikselim atbilst triju elementu sumārais starojums (sarkans + zaļš + zils = balts)

galvenokārt nosaka CCD sensora parametri (fotodiožu blīvums un kopīgais skaits, fotoelementu jutība, zems trokšņu līmenis). Pēdējos divdesmit gados fotodiožu skaits sensorā no 4 miljoniem ir palielinājies līdz 25 miljoniem (25 megapikseļi, 25 MP). Pie parastiem sensoru izmēriem  $23,6 \times 15,7 \text{ mm}^2$  tas atbilst attālumam starp fotodiōdēm no 10 līdz 4 mikrometriem. Pie sensora izmēriem (platums pret augstumu) 3:2 izķirtspēja horizontālā un vertikālā virzienā nedaudz atšķiras. Būtisks ierobežojums fotodiožu blīvumam ir mijiedarbība starp atsevišķām diodēm, kas rada elektriskos trokšņus, kuri pieaug līdz ar fotodiožu blīvumu. Šos elektriskos trokšņus efektus var elektroņiski samazināt, tomēr novērst tos nav iespējams. Tādejādi optimālais fotodiožu blīvums sensorā ir ap  $12 \times 10^6$  uz kvadrātcentimetru ( $12 \text{ MP/cm}^2$ ). Labāko digitālo fotokameru sensora izķirtspēja ir aptuveni 100 līniju uz milimetru. Viedtāruņa izķirtspēja ir nedaudz mazāka, taču pietiekama augstvērtīgu fotoattēlu iegūšanai (5. att.). Digitālā attēla kvalitāti nosaka sensors, kamēr displejs galvenokārt kalpo digitālā attēla vizuālai uztverei (digitālās fotogrāfijas attēls datorā ar lielāku monitoru parasti ir labāks nekā kameras mazā displejā).

Digitālo kameru displeji ir līdzīgi datoru displejiem, to ražošanas tehnoloģija ir sarežģīta, bet labi apgūta. Pēdējos gados digitālo kameru displejos izmanto organizisko fotodiožu matricas (angļu val. *Active-Matrix Organic Light-Emitting Diode*, AMOLED). AMOLED displejs sastāv no plānslāju tranzistoru matricas (angļu val. *Thin-Film Transistor*, TFT), kura programmē organisko gaismas diožu matricu (7. att.). Katram digitālā attēla punktam (pikselim) atbilst trīs elementārās gaismas diodes, ko programmē tranzistori. Elementārās diodes ilustrētas 6b. attēlā: ja digitālā attēla punkts ir balts, tiek aktivētas trīs diodes, kas summāri izstaro baltu gaismu (sarkans + zils + zaļš = balts); ja pikselis ir zils, tiek aktivēta tikai zilā diode; un tā joprojām. Šo sarežģīto daudzslāju sistēmu programmē kameras dators, radot kvalitatīvu attēlu uz displeja. AMOLED displejā attēlu veido fotodiožu emisija – tā ir priekšrocība attiecībā pret šķidro kristālu displejiem, kuros nepieciešams papildu apgaismojums attēla novērošanai.

Korporācija Google kopš 2007. gada publicē  $360^\circ$  ielu panorāmu fotogrāfijas (angļu val. – *Street View*), aptverot vairāk nekā 80 valstis visos kontinentos, arī Latviju. Lai iegūtu panorāmas fotogrāfiju, izmanto deviņas digitālās fotokameras: no tām astoņas fotografē apkārtni (ielas, mājas, laukumus utt.)  $45^\circ$  redzes leņķi ( $8 \times 45^\circ = 360^\circ$ ) un deviņā kamera papildus fotografē katru  $45^\circ$  sektoru vertikālā virzienā (8. att.). Ar speciālu datorprogrammu šos deviņu fotokameru attēlus apvieno vienotā panorāmas attēlā, ko var novērot datorprogrammā *Street View*. Šīs panorāmas satur unikālus pasaules pilsētu un mākslas pieminekļu attēlus, kas tagad ir pieejami ikvienam datora lietotājam. Skatītājs, aplūkojot panorāmu, var justies kā attiecīgās vietas (laukuma, ielas u.c.) centrā [2].



8.attēls. Automašīna ar panorāmas uzņemšanas tehniku: uz automašīnas jumta ir uzstādītas deviņas digitālās kamerās: astoņas kamerās ir vērstas horizontālā plaknē un fotografē apkārtni (ielas, mājas, laukumus utt.)  $45^\circ$  leņķi ( $8 \times 45^\circ = 360^\circ$ ); deviņā kamera ir vērsta augšup. Ar speciālu datorprogrammu no šādi uzņemtiem deviņiem attēliem iegūst panorāmas attēlu [2]



Eiropas Kosmosa aģentūras satelīti *Sentinel* orbītā riņķo ap Zemi, nepārtraukti ievācot datus un uzņemot attēlus

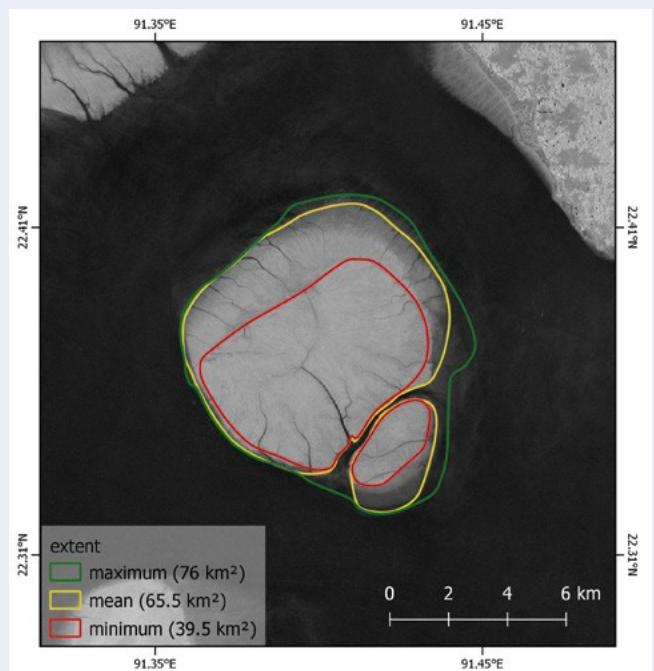
## Satelītattēlu dati humanitāro krīžu novēršanai

Saskaņā ar ANO Bēgļu augstākā komisāra biroja (UNHCR) ikgadējā ziņojuma datiem 2018. gada beigās vairāk nekā 70 miljoni cilvēku reģistrēti kā piespiedu kārtā pārvietotas personas, to vidū vairāk nekā 25 miljoni bēgļu. Tas ir augstākais pārvietoto personu skaits, kāds reģistrēts kopš UNHCR izveidošanas 1950. gadā. Atbilstoši ANO konvencijai par bēgļi uzskatāma persona, kas bijusi spiesta pamest savu mājvietu vai mītnes valsti "sakarā ar labi pamatojamām bailēm no vajāšanas pēc rases, reliģijas, tautības, piederības īpašai sociālai grupai pazīmēm vai politiskās pārliecības dēļ". Kopumā pārvietoto personu skaits pasaulei pēdējo 20 gadu laikā ir divkāršojies.

Plaša mēroga cilvēku pārvietošanos ne vienmēr izraisa karš un vajāšanas, bet arī dabas katastrofas, bads vai slikti sanitārie apstākļi. Padarot no satelītiem iegūtos datus pieejamus valstu pārvaldes institūcijām, starptautiskām organizācijām un attīstības bankām, Eiropas Kosmosa aģentūra (*Europe Space Agency – ESA*) nodrošina instrumentus, kas palidz mazināt galvenos piespiedu migrācijas cēloņus un atvieglo bēgļu stāvokli.

ESA tiešsaistes datu bāze par projektiem, kas veicina ANO 17 ilgtspējīgas attīstības mērķu (IAM) sasniegšanu, sniedz daudz noderīgas informācijas. Daudzi projekti ir saistīti ar nabadzības pārvarēšanu (IAM 1), tīra ūdens nodrošinājumu (IAM 6) un telekomunikāciju infrastruktūru (IAM 9), kā arī elektroniskiem veselības un izglītības pakalpojumiem (IAM 3/4), kas var būt noderīgi gan bēgļu nometnēs, gan migrācijas laikā. Izmantojot satelītattēlus, iespējams noteikt arī pārvietošanās maršrutus.

Zemes novērošanas un monitoringa programmas *Copernicus* satelītu *Sentinel-1* un *Sentinel-2* dati palidz novērtēt pierobežas un konfliktu zonas, sniedzot informāciju par



2018. gadā satelītattēlu dati sniedza pierādījumus par lielu plūdu risku salā, kur Bangladešas valdība bija iecerējusi pārvietot tūkstošiem rohingu bēgļu no Mjanmas

"karstajiem punktiem". Tie arī ļauj identificēt migrāciju veicinošos faktorus, kas saistīti ar vides apstākļiem, piemēram, vegetāciju un ūdens līmeni. Satelītattēlu datu analīze palidz uzraudzīt, piemēram, Himalaju ledus laukus, kas satur lielākos saldūdens resursus ārpus polārajiem reģioniem un nodrošina ūdeni vairāk nekā 1,3 miljardiem Āzijas iedzīvotāju. 2019. gadā Mozambikā ārkārtas situāciju vadības dienests izmantoja *Sentinel-1* datus, lai izsekotu plūdus pēc ciklona "Ida" – vienas no vispostošākajām vētrām reģiona vēsturē.

Avots: ESA

## Digitālā fotogrāfija un satelīti

Pirmie Zemes novērošanas satelīti pagājušā gadsimta 50. gadu beigās un 60. gados kalpoja militārām vajadzībām, turpretī mūsdienās tiem ir daudz civilo funkciju ("Enerģija un Pasaule", 2019 Nr. 1 (114), 77. lpp.). Šodien satelīti nodrošina laika prognozes, telefona sakarus, televīziju, lidmašīnu un kuģu navigāciju un daudz ko citu. Mūsu ikdiena nav iedomājama bez satelītiem. Kosmosa apguvē vadošā loma ir ASV Nacionālajai aeronautikas un kosmosa apgūšanas pārvaldei (*National Aeronautics and Space Administration*, NASA), kas tieši pakļauta ASV prezidentam un īsteno visas nacionālās un starptautiskās kosmosa programmas. NASA dibināta 1958. gadā, un tai pieder lielākā daļa amerikāņu satelītu. NASA ar vairāk nekā desmit tūkstošiem lidzstrādnieku civilās kosmosa programmas ietvaros sistemātiski veic gan astronomiskus, gan ģeofiziskus mūsu planētas virsmas un atmosfēras pētījumus.

Pagājušā gadsimta beigās sāka veidoties privāti uzņēmumi Zemes virsmas un atmosfēras novērojumiem ar satelītiem. Kopš 2005. gada informācijas gigants *Google* ar satelītu novērojumiem īsteno globālo zemes kartogrāfijas programmu, kuras rezultāti tagad ir brīvi pieejami internetā. *Google* un citas privātās informācijas firmas savus pakalpojumus piedāvā gan civilām, gan militārām vajadzībām. Šādas unikālas informācijas ieguve kļuva iespējama, pateicoties digitālai fotogrāfēšanai no satelītiem – tam bija nepieciešama augstas izšķirtspējas optika un CCD sensori ar augstu gaismas jutību un izšķirtspēju. Zemes novērošanas satelitu optimālais augstums ir 500 – 600 km (ar orbitālo ātrumu daži kilometri sekundē), kas nodrošina satelītu ekspluatāciju 10 līdz 12 gadu periodā (pie orbitās augstuma 160 km satelīta dzives ilgums gaisa pretestības dēļ ir tikai aptuveni viena diena!). Lai iegūtu kvalitatīvus Zemes virsmas attēlus, ir nepieciešami objektīvi ar apertūru ne mazāku par simt centimetriem (izšķirtspēja daži desmiti centimetru) un jutīgi sensori (nepieciešami sensori, kas nodrošina ļoti īsu ekspozīciju satelīta orbitālā ātruma dēļ). Tehnisku apsvērumu dēļ satelītos Zemes virsmas attēlu iegūšanai optisko lēcu objektīvu vietā izmanto spoguļa teleskopus. Pirmo satelītu radīto Zemes attēlu izšķirtspēja pagājušajā gadsimtā bija  $\pm 15$  metri, tātad nesalidzināmi sliktāka par tagadējo izšķirtspēju dažu desmitu centimetru diapazonā.

Patlaban Zemes novērošanas satelītu jomā vadošo vietu ieņem amerikāņu firma *DigitalGlobe*, kuras darbība aizsākās 1992. gadā. Kopš 2007. gada *DigitalGlobe* ir palaidusi vairākus satelītus *WorldView* ar uzlabotiem parametriem. 2014. gadā palaistais satelīts *WorldView-3* šobrīd ir labākais Zemes virsmas un atmosfēras novērojumu jomā (9. att.) [3, 4], un tā ekspluatācija ir paredzēta līdz 2026. gadam. Satelīts *WorldView-3* ir apgādāts ar spoguļa teleskopu (apertūra 110 cm) un jutīgiem sensoriem digitālā Zemes attēla iegūšanai no 620 kilometra augstuma ar izšķirtspēju 31 centimetri! Šajos attēlos cilvēkus var saskatīt kā mazus punktiņus. Objekti uz zemes ar izmēriem 31 centimetri teleskopa kameras sensora attēlā veido 0,09 loka sekundes lielu leņķi (tas atbilst teleskopa leņķiskai izšķirtspējai), kas ir gandrīz septiņsimt reižu mazāks par mūsu acs izšķirtspēju (45 līdz 60 loka sekundes, kas atbilst izšķirtspējai divi milimetri piecu metru attālumā).

*WorldView-3* parametri doti 9. attēlā. Spoguļa teleskops ar



9. attēls. ASV kompānijas *DigitalGlobe* komerciālais Zemes novērošanas satelīts *WorldView-3*: palaists 2014. gada augustā; masa 2485 kg (augstums 5,3 m, platumis 2,5 m); attālums no Zemes 620 km; apgrīšanās periods 97 minūtes; orbitālais ātrums 7,55 km/s. Optiskie parametri: spoguļa teleskops ar apertūru 110 cm un 31 cm izšķirtspēju Zemes virsmas fotogrāfijām; 29 sensori multispektrālai fotogrāfijai šauros redzamā un tuvā infrasarkanā spektra diapazonos, tai skaitā astoņi gaismas filtri speciāliem metroloģiskiem novērojumiem atmosfērā, okeānos un uz zemes [3]

110 cm apertūru un jutīgiem sensoriem redzamā spektra diapazonā (450 līdz 800 nm) dod melnbaltas Zemes virsmas fotogrāfijas ar izšķirtspēju 31 cm. Krāsainām Zemes virsmas fotogrāfijām izmanto multispektrālo tehniku: uzņem vairākus attēlus ar optiskiem filtriem šaurā spektra diapazonā un ar datorprogrammām sintezē krāsainu attēlu. Satelītam *WorldView-3* šīm vajadzībām ir astoņi spektrālie filtri. Multispektrālie attēli ir ar mazāku izšķirtspēju. Tāpēc satelītos parasti veic divas konkrētā objekta (apvidus) fotogrāfijas – melnbalto un krāsaino. *WorldView-3* fotokamera aptver 13 x 13 km lielu laukumu. Labam attēlam ir nepieciešami optimāli meteoroloģiskie apstākļi – fotografēšana nav iespējama mākoņainā laikā un naktī. *WorldView-3*, rīkojot ap Zemi, aptver jebkuru zemeslodes punktu, un diennaktī tas veido 680 000 km<sup>2</sup>. Lai aptvertu visus zemeslodes punktus, satelītam nepieciešami divi gadi, un, lai iegūtu visas zemeslodes fotoattēlus, vēl daudz vairāk. Tāpēc firma *DigitalGlobe* pēdējos gados uzkrāj daudzus miljonus fotoattēlu no dažādiem planētas nostūriem, kurus papildina un komerciāli pārdom dažādiem pasūtītājiem. Speciāliem metroloģiskiem novērojumiem atmosfērā, okeānos un uz zemes izmanto selektīvos optiskos filtrus (angļu val. CAVIS – Clouds, Aerosols, Vapors, Ice, Snow; mākoņi, aerosoli, ūdens tvaiki, ledus, sniegs), kas pieskaņoti šo objektu spektrālām ipašībām (gaismas absorbcijai vai izkliedei). E&P

### Literatūra

- [1] Geschichte der Digitalfotografie. <https://www.digitalkameramuseum.de/de/geschichte>
- [2] <http://www.360aufnahmen.de/>
- [3] WorldView-3-Satellite Missions – eoPortal Directory, <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/v-x-y-z/worldview-3>
- [4] [https://de.wikipedia.org/wiki/Satellit\\_\(Raumfahrt\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Satellit_(Raumfahrt))