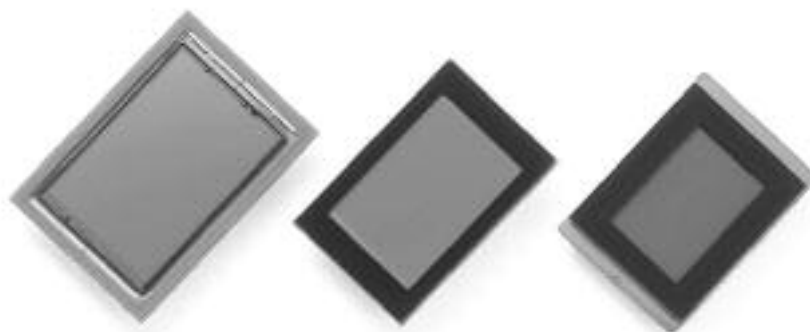


## A digitális fényképezőgép

X. rész

### 4. Képzékelők

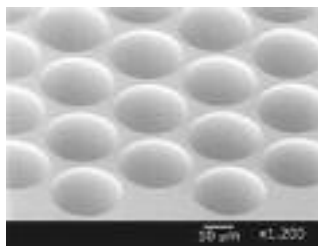
A hagyományos fényképezőgépeknél a kép felvétele és rögzítése egy fényérzékeny anyagra történik, viszont a digitális gépeknél a képet egy elektronikus képzékelő veszi fel (1. ábra) és a rögzítés, vagyis a kép tárolása egy memóriában történik. Amíg egy hagyományos gépbe különböző érzékenységű, szemcsézettségű és gradációjú fényérzékeny anyagot tehetünk, addig a digitális gépek képzékelője nem cserélhető. A felvételek minőségét az adott gép képzékelője határozza meg. Ezért a digitális gépek vásárlásánál nemcsak az optikai rendszer, hanem az érzékelő jellemzőire is kellő figyelmet kell fordítanunk. A képzékelők fontosabb jellemzői a következők: *felbontás, érzékenység, képzaj és hibás pixelek.*



1. ábra  
*Canon képzékelők*

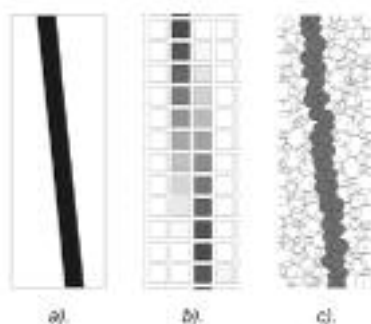
#### 4.1. A képzékelők felbontása

Az érzékelőt nagyon sok, igen kisméretű fényérzékeny cella alkotja. A cellákat mátrix-szerűen elrendezve egy aránylag nagyméretű szilícium félvezető lapkára integrálják. Minden egyes cella egy képpontot, ún. *pixel*-t (picture element) érzékel. Tehát a teljes kép nagyon sok, a cellák száma által meghatározott képpontból áll össze. A fényérzékeny cellákba lehetőleg minél több fényt kell juttatni, ezért a cellák fölött mikrolencsék vannak (2. ábra). A mikrolencse a cella félvezetőrétegére nagyobb fény mennyiséget képes összegyűjteni, mint amennyit nélküle fogna fel. A 3. ábrán bemutatott mikroszkopikus vonalkép segítségével fogalmat alkothatunk egy elektronikus képzékelőn és egy hagyományos fényérzékeny anyagon való képalkotás elvéről.



2. ábra

*Egy képérzékelő felületének elektron-mikroszkópos felvétele*



3. ábra

*Egy vonal képe*

- a) ideális kép
- b) képérzékelő pixeli által alkotott kép
- c) film ezüsthalogén szemcséi által alkotott kép

A képérzékelők egyik legfontosabb jellemzője a felbontás, amelyet az érzékelő cellák száma határoz meg. Minél több cellája van az érzékelőnek, annál nagyobb a felbontása. Jelenleg az amatőr és a félprofesszionális gépekbe 1 és 5 Mpixel (1 Megapixel – 1 millió képpont) közötti felbontású képérzékelők kerülnek. A professzionális gépekben levő képérzékelők felbontása a 14 Mpixel is elérheti (1. táblázat). A filmes fényképezésnél a képek 3:2 oldalarányúak (lásd például a kisfilmes képméret 36×24 mm). A digitális gépeknél, és különösen az amatőr géptípusoknál a 4:3 oldalarány terjedt el. Ezt elsősorban a monitorok és TV készülékek hasonló oldalaránya indokolja, hiszen ezeket a képérzékelőket elsősorban a videó kamerákhoz fejlesztették ki, melyeknél az általánosan alkalmazott képarány 4:3. Így például egy 6,3 Mpixeles érzékelő vízszintes és függőleges pixeleinek a száma a 3:2 oldalarány esetében 3072×2048 pixel, míg a 4:3 oldalarány esetében 2896×2172.

A képérzékelőket gyártó és a digitális gépeket előállító cégek az érzékelők felbontását általában kétféleképpen szokták megadni. Az egyik az érzékelő teljes pixelszáma (például 3,34 Mpixel = 2140×1560 pixel). Ebben a gyártók azon pixeleket is beleszámítják, amelyek a képképzésben nem játszanak közvetlenül szerepet. Egy másik módszer szerint – amelyet egyre inkább alkalmaznak, a képérzékelők effektív pixelszámának a megadására – a ténylegesen használt pixelszámot tüntetik fel (így például 3,34 Mpixel helyett 3,24 Mpixel = 2088×1550 pixel). Ez még így is több lehet, mint a végső képben megtalálható pixelek

száma. Ez a tény az érzékelők működésével magyarázható. Az érzékelőcella a fénynek elektromos jellé való átalakítása szempontjából alapvetően analóg félvezetőeszköz. A cella működését tanulmányozva, a benne lejátszódó fizikai jelenséggel is belátható, hogy a feketének megfelelő kimenő feszültség nem nulla, ezt a feszültség szintet viszonyítási pontként, ún. etalon értéként használják fel. A fekete előállításához az érzékelő széleit egy kis sávban letakarják és ez szolgáltatja a feketének, megfelelő etalont. Tehát a kiolvasható pixelek számából még le kell vonni a fekete etalonhoz szükséges letakart pixelek számát. Ebből kapható meg az aktív, vagyis a képképzésben közvetlenül szerepet játszó pixelek száma. Ebben az esetben a készíthető képek vízszintes és függőleges pixeleinek száma könnyen kiszámítható, ugyanis az effektív pixelszámot a két értéknek a szorzata kell, hogy megadja. Például a mi esetünkben a teljes képet adó effektív felbontás 2080×1542 pixel. Azért, hogy a más érzékelőket használó gépek is azonos méretű képeket adjanak, ebből még egy keveset le kell vonni, így valamelyest szabványossá tehető a 3 Mpixeles gépek felbontása. Ennek következtében használják az igen elterjedt 2048×1536 pixel felbontást.

1. táblázat. Különböző rendeltetésű gépek és a beépített képérzékelő tipikus felbontása (kerekített értékek)

Géptípus	Érzékelő pixelszáma [Megapixel]	Képarány – Felbontás
↑ amatőr	0,8	4:3 – 1024×768
	2	4:3 – 1600×1200
↓ ↑ félprofesszionális	3	4:3 – 2048×1536
	4	4:3 – 2400×1600
	5	4:3 – 2560×1920
	6	3:2 – 3072×2048
↓ ↑ professzionális	11	3:2 – 4064×2704
	14	3:2 – 4560×3048

Általában a felbontással a képérzékelők mérete növekszik és a cella mérete csökken. A nagy felbontású képérzékelők mérete megközelíti a kisfilmes képkocka méreteit. Így például a Canon EOS-1Ds gép 11 Mpixeles képérzékelője 35,8 × 23,8 mm-es és egy pixel-cella mérete 8,8 × 8,8 μm. A Kodak Pro DCS-14n gép 14 Mpixeles érzékelője 36 × 24 mm-es és a pixel-cellák 7,9 × 7,9 μm-esek. Az érzékelő méretének növelhetőségét a félvezető szilícium kristály mérete határozza meg.

#### 4.2. A képérzékelők érzékenysége és a képzaj

A felvételek minőségét a képfelvévőre bocsátott fény mennyiség határozza meg. A valóságot részlethűen tükröző felvételt csak akkor készíthetünk, ha ez a fény mennyiség az érzé-

kelő fényérzékenysége által a megszabott határokon belül van [5]. A képérzékelők fényérzékenységét, a filmekhez hasonlóan, a nemzetközi ISO (International Standard Organisation) szabvány által meghatározott számértékek fejezi ki (2. táblázat). Az érzékelő fényérzékenysége egyenesen arányos az ISO érzékenységi fokkal. Minél nagyobb az érzékenységi fok, annál kevesebb az a fény mennyiség, amely a helyes expozíció számára szükséges.

2. táblázat. A filmek és képérzékelők érzékenysége

Érzékenység :	←	kis			→	←	közepes					→	←	nagy			→
ISO	40	50	64	80	100	125	160	200	250	320	400	500	650	800	1000		

A fényérzékeny anyagok esetében az érzékenységi fokot jelző számértéket a film csomagolásán szokták feltüntetni és ez az érték az egész filmtekercset jellemzi. Ha a film érzékenységen szeretnénk változtatni, akkor az egész filmtekercset ki kell cserélnünk. Ezzel ellentétben a képérzékelők érzékenysége változtatható, értékét a fényviszonyok és felvételi téma szerint meg tudjuk változtatni, anélkül, hogy a képérzékelőt ki kellene cserélnünk. Az amatőr és a félprofesszionális gépekben levő képérzékelő érzékenysége többnyire az ISO 100-400 tartományon belül állítható, míg a professzionális gépek érzékelője a tágabb, ISO 50-1000 tartományt is képes átfogni. Az újabb digitális gépek, a fényviszonyok és a beállított expozíciós paraméterek függvényében képesek önműködően meghatározni és beállítani az adott érzékenységi tartományon belül a legmegfelelőbb érzékenységi fok beállítására.

A képérzékelők érzékenységét az érzékelő félvezető rétegében lejátszódó fizikai jelenségek határozzák meg. A félvezetők elektromos vezetőképessége, amint az elnevezésük is mutatja, a vezetők és a szigetelők között van. A képérzékelők előállítására az ismert félvezetők közül a periódusos táblázat IV. főcsoportjához tartozó szilíciumot (Si) használják. A szilícium atom négy vegyértékelektronnal rendelkezik. A vegyértékelektronok a szilícium atomot négy szomszédos atommal kovalens kötéssel kapcsolják össze. Így a szilícium atomok egy szabályos elrendezésű atomrácsot alakítanak ki. Ezt szabályossága miatt kristályrácsnak is nevezik. A nagy tisztaságú félvezetőben, nagyon alacsony hőmérsékleten, mind a négy vegyértékelektron kötött, vagyis a félvezető úgy viselkedik mint egy szigetelő. A hőenergia, vagy a fényenergia hatására ezek az elektronok kilépnek a kovalens kötésből, és szabad elektronokká válnak. Ezt a hatást, amelynek következtében a beeső fotonok energiája által a félvezető atomok külső elektronhéjában keringő vegyértékelektronok akkora energiára tesznek szert, hogy szabad elektronokká válnak, belső fényelektromos hatásnak nevezik. Tehát a cella félvezető rétegére eső fény töltéshordozókat gerjeszt, és a gerjesztett töltésmennyiség a cellát érő besugárzási energiával, vagyis a fény mennyiséggel arányos. A cella kimenetén egy áramot kapunk, amely az így összegyűlt töltésmennyiséggel arányos. Ezt megmérve következtethetünk a cellát ért expozícióra. A töltés megméréséhez az elektronok által szolgáltatott áramot el kell juttatni egy kiolvasó egységhez. A kiolvasó egység kimenetén megjelenő feszültség egyenesen arányos a cellában keletkezett töltésmennyiséggel, vagyis a cellát ért expozícióval. Teljes sötétségben, vagyis a megvilágítatlan cellákban a töltéshordozók csak a hő hatására jönnek létre. Ez magyarázza az ún. sötétáramot. Gyenge megvilágításnál a sötétáram nem hanyagolható el a fény által generált áramhoz képest. Mivel a sötétáram cellánkénti eloszlása teljesen véletlenszerű, az ilyen kép zajossá válik. A képzaj főleg akkor válik számottevővé, amikor nagy érzékenységi fokot állítunk be. A sötétáram nagyon hőmérsékletfüggő, ezért a képzaj a hőmérséklettel növekszik. Vagyis minél melegebb a képérzékelő, annál jelentősebbé válik az ún. termikus képzaj. Ez főleg nyári, meleg napokon készített felvételeken látható. Sajnos a termikus képzaj annyira hőmérsékletfüggő, hogy sok esetben egy nyári ISO 100 érzékenyséig felvétel zajosabb lehet, mint egy téli ISO 200 érzékenységgel készített felvétel. Ezért nagy melegben célszerű olyan

kenységgel készített felvétel. Ezért nagy melegben célszerű olyan táskában hordani a digitális gépet, amely megvédi a nap közvetlen hősugárzásától.

#### 4.3. Hibás pixelek

Bármennyire is fejlett az integrált áramköri technológia, a nagyon nagy számú, több milliós nagyságrendet is elérő cellák közül megtörténik, hogy egy néhány cella hibásan vagy egyáltalán ne működjön. Ezek a hibás cellák okozzák a pixelhibákat. A különböző cellahibák többfajta pixelhibát eredményeznek. A következő pixelhibákkal találkozhatunk: *dead pixel* (halott pixel), *stuck pixel* (beégett pixel) és *hot pixel* (forró pixel).

A dead- és a stuck-pixelet olyan hibás celláknak tulajdonítják, amelyek egyáltalán nem működnek. Az ilyen hibák az adott képérzékelővel készített összes felvételen megtalálhatók, függetlenül az alkalmazott expozíciós időtől. A dead-pixelet minden esetben feketék, míg a stuck-pixelet általában fehérek. A hot-pixelet a hosszú expozíciós idejű felvételeken jelentkeznek kék, zöld vagy vörös pontok formájában. Ezek a pixelek hideg érzékelő esetén ritkábban, meleg érzékelő esetén sűrűbben jelentkeznek. Az ilyen cellák egyébként is magasabb hőmérsékletűek és hamarabb telítésbe kerülnek. Innen a hot (vagyis forró) elnevezés.

A stuck- és hot-pixelet könnyen javíthatók, ha a felvétel előtt készítünk egy ún. „dark frame” képet, amelyet elmentünk. Ezt ugyanakkora expozíciós idővel, de teljesen letakart objektívvel kell elkészíteni. Mivel az érzékelőt fény nem éri, ezért az így készített képen csak a hot- és stuck pixelek világosabb képpontjai jelentkeznek. Ezeket a hibákat az eredeti képből kivonva hibamentes képet kapunk. Vannak olyan gépek, amelyek ezt teljesen automatikusan végzik. Egyes digitális gépek a hibás pixelek koordinátáit egy táblázatban tárolják és a felvétel készítésekor ezeket a pixeleket automatikusan kijavítják, a szomszédos képpontok színértékének figyelembevételével. Ha gépünk erre nem képes, akkor a hibás pixeleket a számítógépünk segítségével, egy erre alkalmas szoftverrel utólag is kivonhatjuk.

Sajnos, a képérzékelők öregedésével újabb maradandóan hibás pixelek jelentkezhetnek. Néhány digitális gép egy Hot Pixel Map menüponttal rendelkezik. Ha ezt elindítjuk, akkor egy hibás pixel kereső algoritmus kezd futni és a végén újírja a gépben levő hibás pixel táblázatot. A hibás pixel kereső indítása előtt fontos, hogy a lencsevédő kupakot felhelyezzük, hogy a kereső csak a hibás a pixeleket fedezze fel.

#### Irodalom

- 1] *Birdie*: Alapfokon: Érzékelők II.; Digidcam, <http://index.hu/tech/digicam/cikkek>
- 2] *Birdie*: Alapfokon: Érzékelők I.; Digidcam, <http://index.hu/tech/digicam/cikkek>
- 3] *Birdie*: Alapfokon: Hibás pixelek.; Digidcam, <http://index.hu/tech/digicam/cikkek>
- 4] *Dierickx*, B.: CMOS image sensors – Concepts; FillFactory, Photonics West 2000 Short Course
- 5] *Kaucsár M.*: A digitális fényképezőgép III. rész, Firka 2003-2004/1
- 6] *Pethő B. – Sümegi A.*: Digitális fényképezés; ELTE TTK Oktatástechnika Csoport – UNESCO Információtechnológiai Pedagógiai Központ, <http://felis.elte.hu/dept/hu>
- 7] \* \* \* : Canon EOS-1Ds, 11 megapixel full-frame CMOS; Digital Photography Review, <http://www.dpreview.com>
- 8] \* \* \* : Kodak Pro DCS-14n, 14 megapixel full-frame CMOS; Digital Photography Review, <http://www.dpreview.com>

Kaucsár Márton