

## Stereoskopska slika ili „Zašto imamo DVA oka?“

Antonio Šiber

Vid je osjetilo na koje se najviše pouzdajemo kad spoznajemo okolinu u kojoj se nalazimo, pogotovo ako se radi o prostoru u kojemu nikad prije nismo bili. To nije nimalo čudno, jer od svih informacija koje se procesiraju u mozgu, najviše njih dolazi vizualnim podražajima. Detaljno vizualno poimanje svijeta u kojem živimo moguće je zbog vrlo rafinirane strukture naših očiju. Oko je napredan optički instrument i sadrži stanice koje ne samo da detektiraju postojanje i jakost svjetlosti (štapići), nego mogu odrediti i njenu boju (čunjići). Čunjići i štapići proizvode električne signale koji očnim živcima dolaze do mozga. Pravo bogatstvo vizualne informacije dolazi do izražaja tek kad koristimo oba oka. Svako od dva oka vidi okolinu malo drukčije jer se dva oka nalaze na različitim položajima (tipični razmak između očiju je oko 6-8 cm). U mozak tako stiže dvostruka količina informacija o okolini i to po jedna slika iz svakog oka. Pokušajte promatrati svijet kroz samo lijevo oko pa usporedite sliku s onom dobivenom iz samo desnog oka. Razlika se ne čini velikom, zar ne? Ipak, ako ste promatrali neki bliski predmet, na primjer vlastiti prst, mogli ste uočiti da se on pomaknuo malo desno kad ste ga promatrali lijevom okom, a malo lijevo kad ste ga promatrali desnim okom. Tako smo dokazali da slike koje vide dva oka nisu jednake. Ako ste temeljito razmišljali o slikama iz lijevog i desnog oka možda ste zaključili da su se položaji bližih predmeta razlikovali više nego položaji daljih predmeta. Upravo nam ova razlika omogućuje da vrlo precizno sudimo o udaljenosti predmeta od nas. Slika predmeta koji su nam blizu bitno će se razlikovati u lijevom i desnom oku, dok će udaljeni predmeti izgledati približno jednako u oba oka. Tako mozak usporedbom slika iz lijevog i desnog oka može prosuditi o udaljenosti predmeta koji nas okružuju.

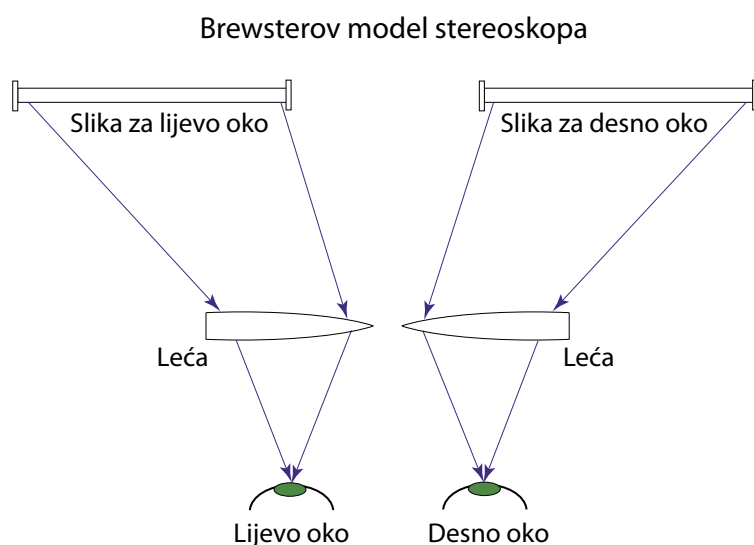
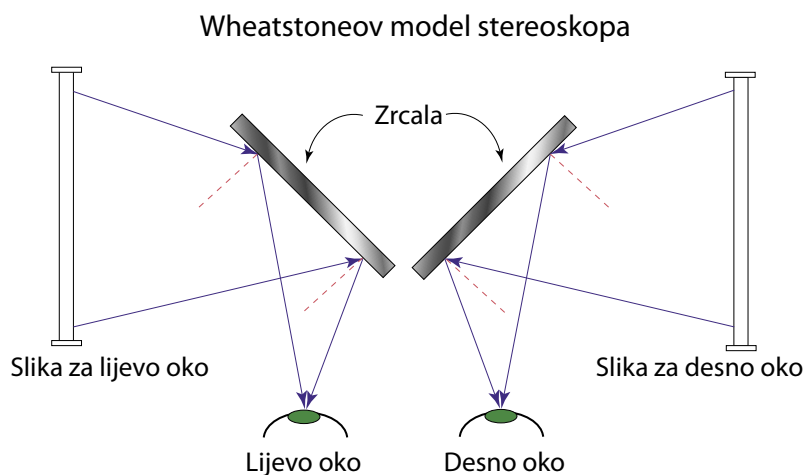
Postojanje dva oka omogućuje nam zbiljski uvid u trodimenzionalnost prostora. Vidna polja lijevog i desnog oka se preklapaju i stoga je

usporedba slika i ocjena dubine i udaljenosti moguća. Ova prednost je vjerojatno bila važna u evoluciji čovjeka jer je nekom našem davnom pra-pra-pretku omogućavala da npr. procijeni koliko je udaljena grana na koju je namjeravao skočiti ili isplati li se više bježati od lava na lijevo ili desno drvo, a našim ne tako davnim precima omogućavala je da rade vrlo fine poslove kao što je npr. šivanje ili izrada oruđa. Naš način gledanja naziva se binokularnim ili stereoskopskim. Nemaju sve životinje stereoskopsko osjetilo vida, premda imaju dva oka. Ribe, ptice i zmije imaju oči razmještene na suprotnim stranama glave pa se slike koje njihove oči vide uopće ne preklapaju – svako oko vidi potpuno različitu sliku. Njihov mozak zato mora koristiti drugačije načine za procjenu udaljenosti predmeta. Kao nadoknadu, zbog razmještaja očiju ove životinje imaju mnogo veće, gotovo panoramsko vidno polje. Naravno, udaljenost objekata moguće je procijeniti i samo jednim okom. Na primjer, ako jedan objekt zaklanja drugi za njega znamo da je bliže nama, dalji objekti se čine manjima a kad nam se približuju izgledaju većima, boja udaljenih objekata je modrija, što se najbolje primijeti kod udaljenih planina koje izgledaju plavkasto.

Činjenica da svako od očiju vidi svijet drukčije predstavljala je veliki problem znanstvenicima i filozofima još od oca geometrije, Euklida (oko 300 p.n.e.). Oni nikako nisu mogli shvatiti kako to da kad svijet gledamo sa oba oka dobivamo jednu, jasnu sliku okoline kad su slike koje proizvode lijevo i desno oko različite. Danas znamo da se vizualna informacija koju dobivamo od očiju obrađuje u dijelu mozga koji se naziva vizualni korteks - mogli bismo reći da na neki način gledamo mozgom. Mozak uspijeva od dviju različitih slika stvoriti jednu, jasnu i bogatu sliku okoline. Objašnjenje stereoskopskog vida i razvoj prvih uređaja koji su omogućavali reprodukciju stereoskopskih slika vezan je uz žestoko rivalstvo dvojice britanskih znanstvenika i izumitelja u 19. stoljeću – Charlesa Wheatstona i Davida Brewstera.

Wheatstone je 1833. godine konstruirao prvi stereoskop – uređaj koji do svakog oka dovodi različitu sliku, stvarajući tako dojam trodimenzionalnosti (3D) predmeta prikazanih na dvjema slikama. Wheatstone

je bio fizičar i izumitelj, najpoznatiji po uređaju koji je po njemu i dobio ime - Wheatstoneovom mostu. Radi se o mjernom instrumentu temeljenom na posebnom rasporedu otpornika koji se može koristiti za precizno mjerenje nepoznatog otpora. Ovaj se uređaj često spominje i u srednjoškolskim programima fizike. Bavio se i telegrafijom, akustikom, spektroskopijom, preciznim određivanjem vremena i tehnikama šifriranja. Wheatstoneov stereoskop bio je vrlo jednostavna naprava načinjena od dva zrcala. U svakom od ogledala promatrač je mogao vidjeti po jednu od pripremljenih slika, a kad je promatrač stajao na pravom mjestu, lijevo oko je vidjelo samo lijevu sliku, a desno desnu. Jednostavni crteži koje je Wheatstone pažljivo izrađivao činili su se tako trodimenzionalnim. Wheatstone i nije imao drugog izbora nego da sam izrađuje svoje crteže za 3D gledanje jer je dagerotipija, daleki predak fotografije bila izmišljena tek 6 godina kasnije (1839. godine). Već 1844. godine pojavili su se mali prenosivi stereoskopi koji su se mogli držati u rukama i koji su umjesto zrcala koristili dvije leće, svaku za prikaz po jedne od slika za lijevo i desno oko. Takav dizajn stereoskopa, koji je izumio Brewster, zadržao se do današnjih dana. Brewster je poznat i po izumu kaleidoskopa 1816. godine koji je u dvadesetim godinama 19. stoljeća postao vrlo omiljena igračka. Neki smatraju da je osnovni princip kaleidoskopa bio poznat još starim Grcima i da ga je Brewster samo ponovno otkrio. Brewster je bio čovjek



nervoznog temperamenta, a njegovi suvremenici su govorili da nitko nije s njim započeo razgovor koji nije završio u svađi. S Wheatstoneom se ogorčeno prepirao oko prvenstva u izumu stereoskopa i objašnjenja stereoskopskog vida, a čini se da je u popularizaciji svojih izuma bio puno uspješniji od prilično povučenog Wheatstona. Kad se kraljica Viktorija na Londonskoj izložbi 1851. godine oduševila prikazanim stereoskopima, Brewster joj je odmah poklonio jedan od svojih stereoskopa od čega je tadašnji tisak napravio veliku priču. To je značilo prekretnicu za popularnost stereoskopa. U sljedećih pet godina prodano ih je više od pola milijuna.

Praktički odmah nakon izuma fotografije počelo se s izradom stereoskopskih fotografija tako da se neki prizor fotografirao dva puta. Razlika između prve i druge fotografije je bila u tome da se fotoaparat pomaknuo za desetak centimetara, tj otprilike za razmak između dva oka.

U prošlom stoljeću, pogotovo u pedesetim godinama, komercijalno su se izrađivali fotoaparati s dva objektiva namijenjene stereoskopskom fotografiranju. Tako dobivene dvije fotografije simulirale su slike prizora kakve bi se stvorile u lijevom i desnom oku. Stereoskopske fotografije bile su izuzetno popularan oblik zabave u Sjevernoj Americi i Europi u kasnom 19. i ranom 20. stoljeću. Profesionalni fotografi putovali su svijetom i snimali stereoskopske fotografije znamenitosti i značajnih događaja. Ljudi bi kupovali kartice s parom stereoskopskih fotografija te ih gledali kroz stereoskope (nazivane i stereoptikonima u to doba) u svojim domovima. U vrijeme drugog svjetskog rata stereoskopska fotografija koristila se u vojne svrhe prilikom izviđanja iz zraka. Stereoskopske fotografije snimljene iz zrakoplova odavale su mnoge detalje (kamufliano oružje, bunker i slično) koje je bilo teško vidjeti na običnoj fotografiji. Snimljene parove stereoskopskih fotografija detaljno je analiziralo posebno uvježbano osoblje. Već 1855. godine izumljen je prvi uređaj koji je prikazivao parove stereoskopskih slika jedne iza drugih na traci namotanoj na rotirajući cilindar – radilo se o prvom stereoskopskom „filmu“, četrdestet godina starijem od prvih filmova braće Lumière. Tak-

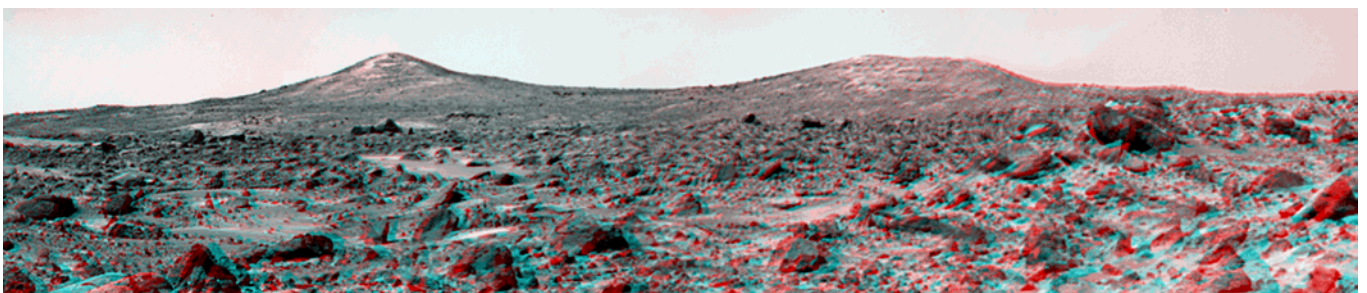


vi uređaji nazivani su stereofantaskopima, bioskopima i stereoforoskopima. S razvojem tehnologije filma, počelo se i sa izradom stereoskopskih filmova koji su u suštini koristili dvije malo razmaknute kamere koje su neovisno snimale prizor. Problem s takvim filmovima bio je što ih se moglo projicirati samo jednom gledatelju koji je za njihovo gledanje morao imati stereoskop. S porastom popularnosti filma pojavila se potreba da se isti zapis prikazuje velikom broju gledatelja u publici.



**Anaglifska fotografija (dolje) koju možete pogledati naočalama priloženim ovom broju Drva znanja izrađena od para originalnih stereoskopskih fotografija (gore) koje su se gledale kroz stereoskop. Fotografija prikazuje poručnika Georga Armstronga Custer (kasnije generala Custer) s psom i snimljena je 1862. godine za vrijeme Američkog građanskog rata u Virginiji.**

Trebalo je smisliti način da se prizori i za lijevo i za desno oko smjeste na isti prostor projektorskog platna. Tehnologija takve vrste razvila se još 1858. godine. Dvije fotografije namijenjene stereoskopskom gledanju mogle su se otisnuti na istu podlogu, jedna „preko“ duge, ukoliko se jedna od fotografija izradila u nijansama crvene boje, a druga u nijansama zelene ili plave boje. Gledano bez pomagala, tako dobivena slika čini se mutnom i obje perspektive fotografiranog prizora mogu se vidjeti te se čine međusobno pomaknutim (vidljivi su crveni i zeleno-plavi rubovi objekata na slici). No kad se takva slika gleda kroz naočale kojima je lijeva leća načinjena tako da propušta samo crvene boje, a desna samo zeleno-plave, naočale funkcioniraju kao stereoskopski instrument i trodimenzionalnost prizora postaje očigledna. Zbog različitih filtera namještenih pred lijevim i desnim okom, svako od očiju dobiva različite dijelove fotografije (lijevu i desnu fotografiju) i stereoskopsko gledanje postaje moguće. Tako pripremljene fotografije i slike nazivaju se anaglifi. Naočale za gledanje anaglifa obično imaju crveni i plavi filter ili crveni i zeleno-plavi filter. Zbog toga što se boja koristi za razdvajanje slika za lijevo i desno oko ova metoda radi najbolje za crno-bijele fotografije premda se s nešto manje uspjeha može primijeniti i na fotografije u boji. Između 1975. i 1982. godine svemirska sonda Viking fotografirala je na tisuće anaglifskih fotografija površine Marsa. NASA je proizvela anaglifske fotografije Marsa i iz misije Pathfinder.



**Anaglifska fotografija površine Marsa snimljena u NASA-inoj misiji Pathfinder. Fotografija prikazuje okolinu područja poznatog pod imenom Twin Peaks (Vrhovi blizanci).**

U pedesetim godinama prošlog stoljeća bili su prilično popularni anaglifski 3D stripovi, uključujući naslove kao „3D Superman“, „3D Batman“ i „3D Sheena, kraljica džungle“. Nažalost, anaglifska stereoskopska tehnika je daleko od savršene jer se zbog nesavršenosti filtera uvijek



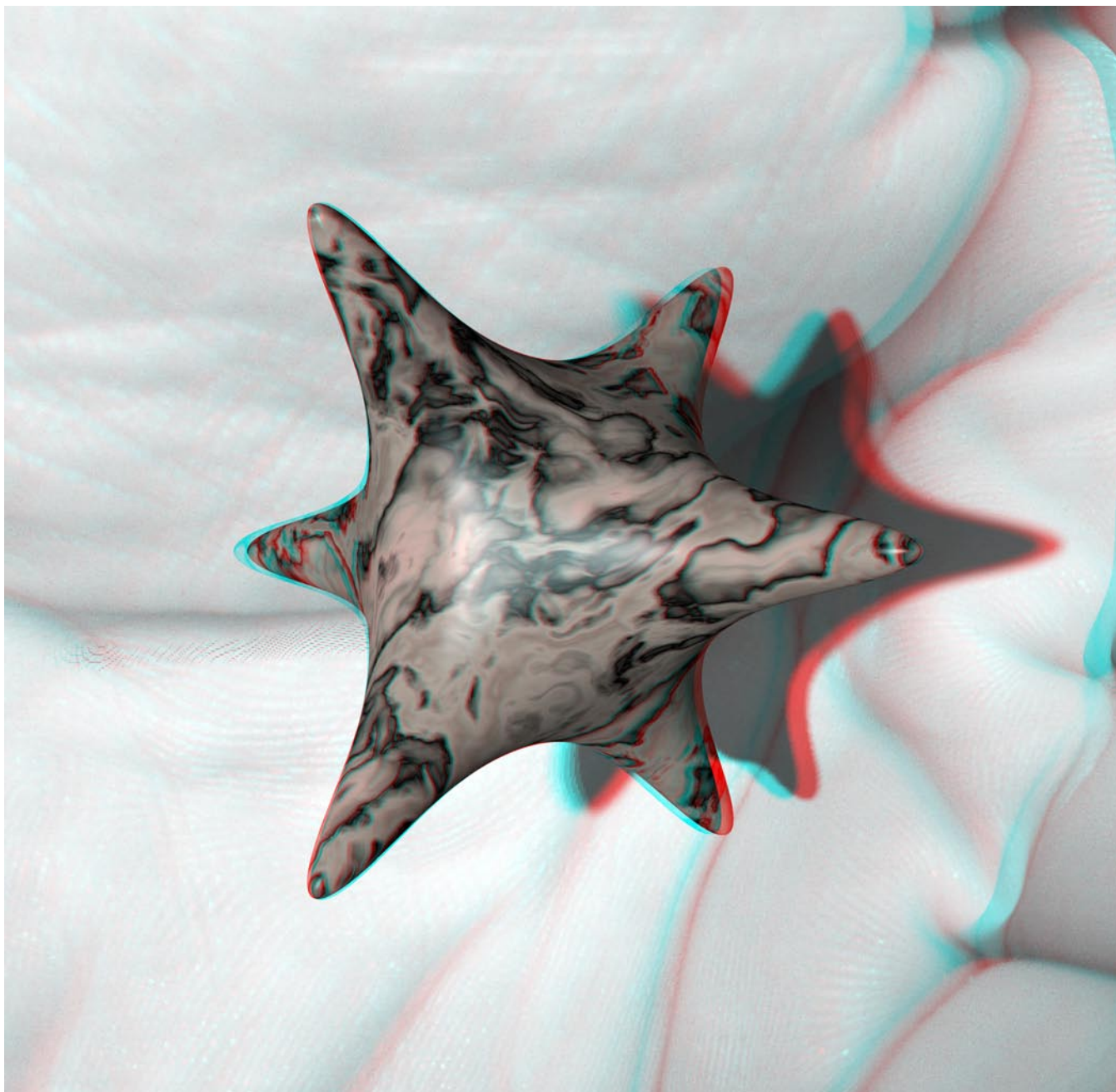
dogaća „curenje“ slike za lijevo oko u vidno polje desnog oka i obrnuto. Zbog anaglifskih filtera, slike također gube veliki dio svoje stvarne boje i obično izgledaju blijedo. No, za reprodukciju u tiskanim medijima, anaglifska tehnologija je daleko najpogodnija jer se papirnate naočale s filterima za boju vrlo jednostavno mogu distribuirati uz časopise i knjige. Slike koje su pripravljene uz ovaj članak su također izrađene u anaglifskoj tehnologiji.



**Računalno generirani anaglif koji prikazuje tri cvijeta iznad travnate površine. Kad sliku pogledate kroz anaglifske naočale čini se kao da cvjetovi „plutaju“ iznad trave. Pogledate li sliku bez naočala vide se plavo-zelena i crvena slika za desno i lijevo oko. Ukoliko pomičete glavu dok sliku gledate kroz naočale, učinit će vam se kako se cvjetovi odmiču desno-lijevo od fiksne travnate pozadine.**

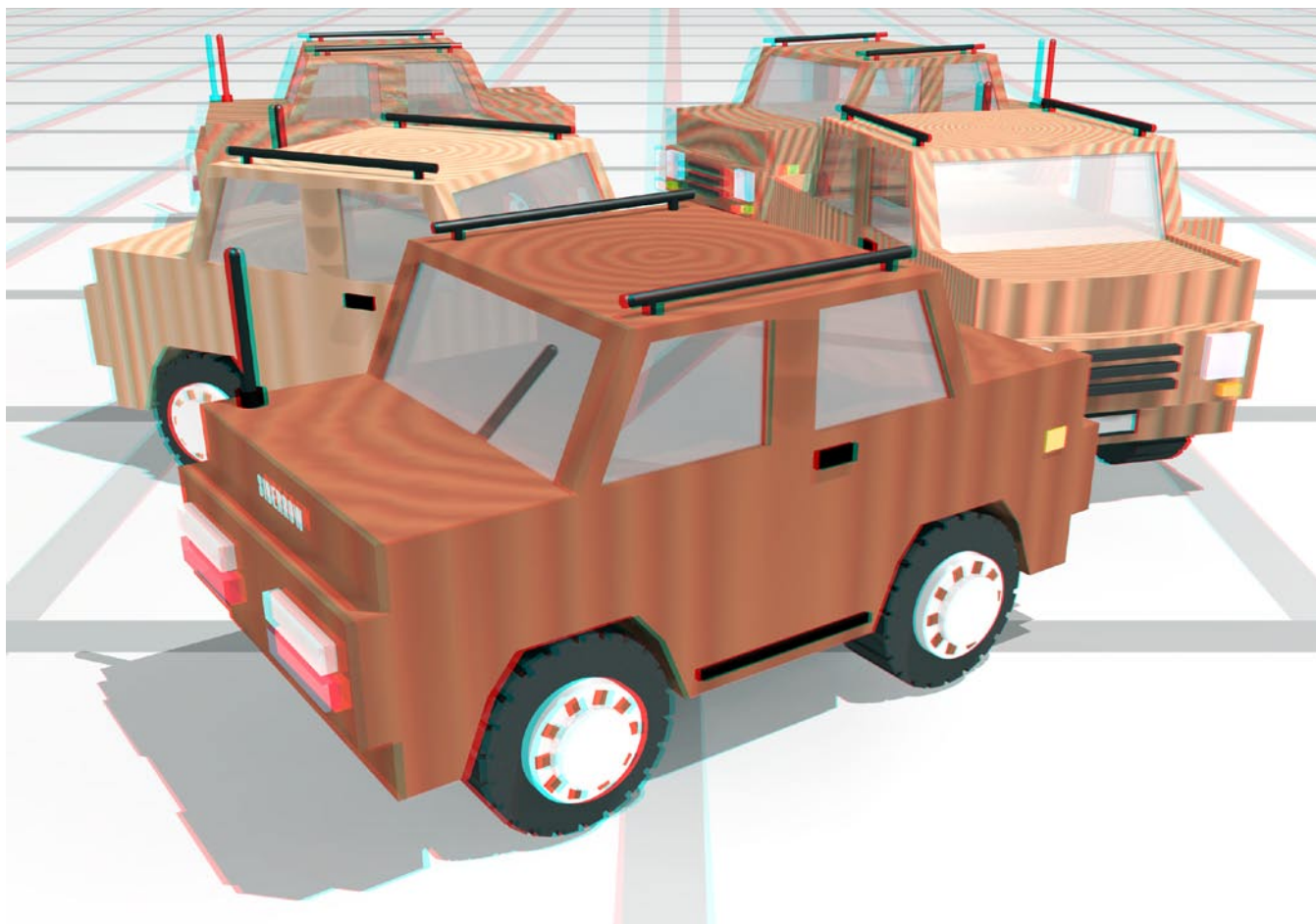
Ne očajavajte ako ne vidite stereoskopski efekt – oko 5 postotaka populacije ne može doživjeti trodimenzionalnost gledajući kroz Brews-

terov stereoskop, a sličan ili možda i nešto veći postotak to neće moći ni koristeći anaglifske naočale. Ovaj poremećaj naziva se stereosljepoćom. Interesantno je da je Brewster imao ogromne probleme i čudnu nesreću pokušavajući prikazati i popularizirati svoj stereoskop članovima Francuske akademije za znanost. Svih pet članova akademije kojima je prezentirao svoj izum bili su stereoslijepi i nisu uopće razumjeli o čemu on to govori. Vjerojatnost da se ovakva nesretna koincidencija dogodi je manja od jednom u milijun slučajeva.



**Matematički objekt koji lebdi iznad dlana.**

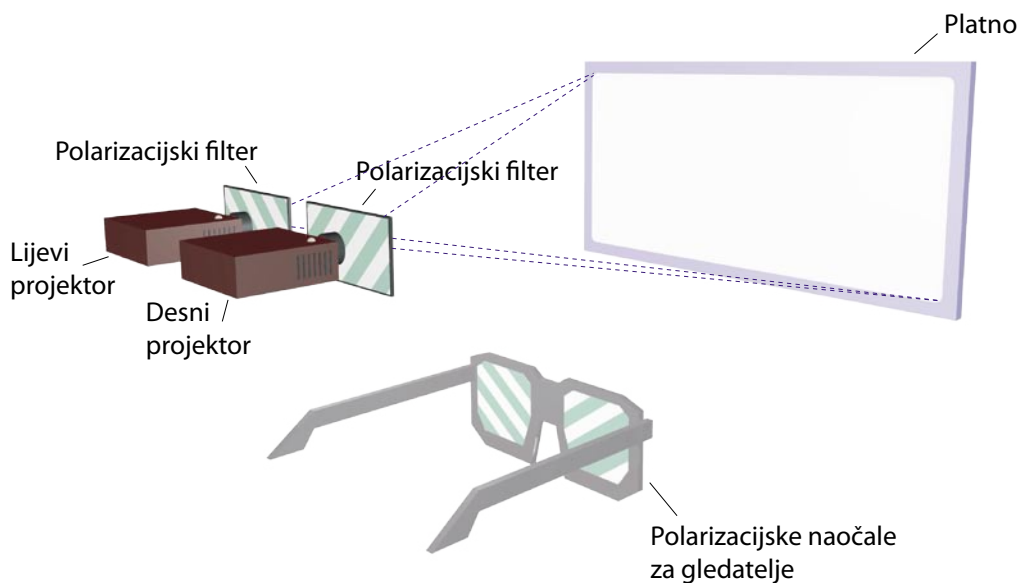
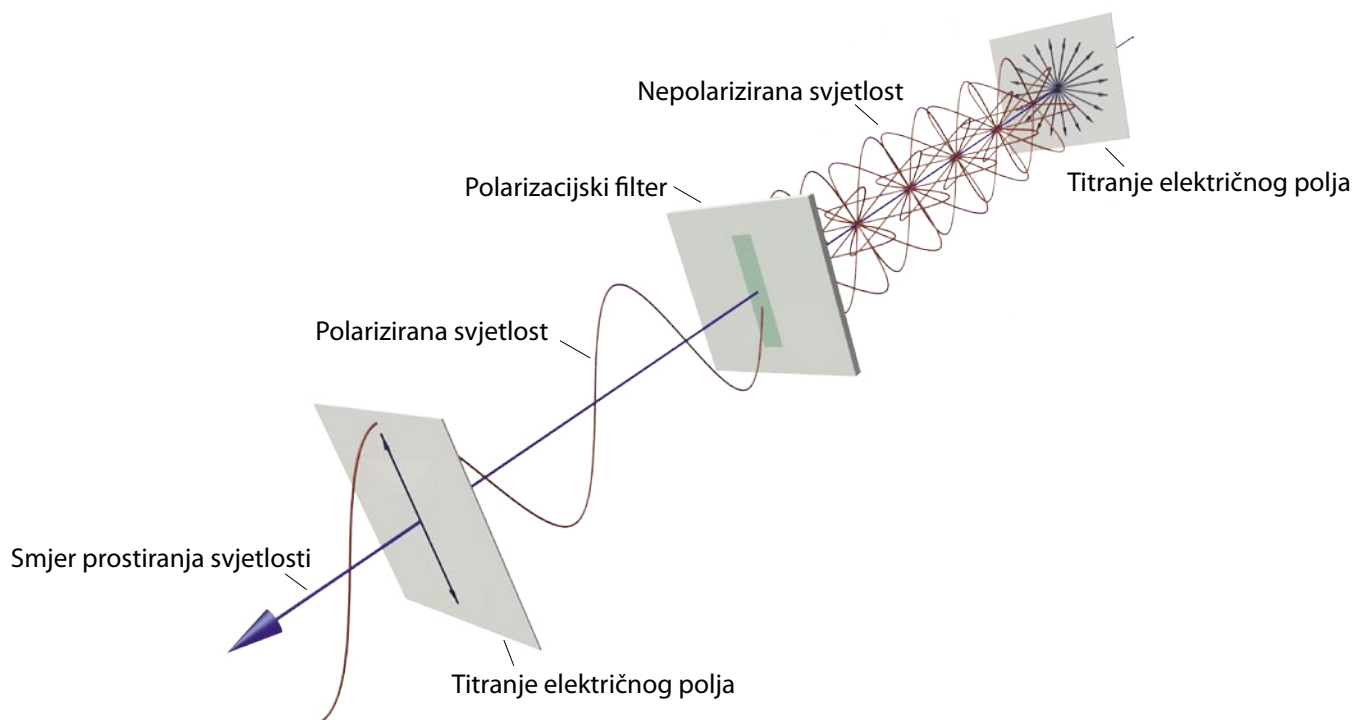




**Računalno generirani drveni autići-igračke na stolu.**

Osim za prikaz fotografija, anaglifska metoda se koristila i za prikaz filmova, ali u ovom području puno češće se primjenjivala metoda polarizirane slike. Naime, svjetlost osim svoje jakosti i boje ima i svojstvo koje se naziva polarizacijom. Svjetlost je val ili titranje električnih i magnetskih polja u prostoru, a ta polja, osim što se prostiru u smjeru zrake, titraju i u ravnini okomitoj na smjer prostiranja svjetlosti (zraku svjetlosti). Elektromagnetska polja mogu titrati po cijeloj toj okomitoj ravnini podjednako – takvu svjetlost nazivamo nepolariziranom. Ako polja titraju duž samo jednog pravca u ravnini, svjetlost zovemo (linearno) polariziranom svjetlošću. Gledamo li golim okom gotovo je nemoguće primijetiti razliku između polarizirane ili nepolarizirane svjetlosti. Kao što postoje filteri za boje svjetlosti tako postoje i filteri za polarizacije svjetlosti koji do oka propuštaju samo onu svjetlost koja je ispravno polarizirana, tj. čija električna i magnetska polja titraju duž određenog pravca. Takvi filteri izrađuju se od posebnih materijala, a uporabom dvaju različitih filtera ispred dva oka, moguće je do svakog oka poslati različitu

sliku ukoliko je svjetlost koja dolazi do promatrača pripremljena tako da jedna njena polarizacija nosi informaciju o lijevom dijelu stereoskopske slike a druga o desnom.



**Principi djelovanja polarizacijskog filtera ili polarizatora (gore) i metode za prikaz trodimenzionalnih filmova uporabom dvaju projektor s polarizacijskim filterima različitih usmjerenja (dolje).**

Ovo se može učiniti uporabom dvaju projekcijskih uređaja koji na projekcijsko platno koordinirano šalju slike za lijevo i desno oko. Ispred svakog od uređaja postavljaju se onakvi polarizacijski filteri kakve imaju i gledatelji (najčešće su polarizacije koje propuštaju lijevi i desni filter

međusobno okomite). Prolaskom svjetlosti iz projektor kroz filter ona postaje polarizirana. Stoga dva projekcijska uređaja proizvode dvije slike na platnu sačinjene od svjetlosti različitih polarizacija. Nakon odbijanja svjetlosti od platna, slika stiže do naočala gledatelja gdje se razdvaja na slike za lijevo i desno oko zbog polarizacijskih filtera koji propuštaju samo željenu sliku.

Za primjenu ovakve tehnologije projekcije platno mora biti izrađeno od posebnog materijala. Najbolje podloge za projekciju su tzv „silver screens“ (srebrno filmsko platno) – platna s ugrađenim srebrnim česticama koje jako odbijaju svjetlost ne mijenjajući pritom njenu polarizaciju. Takva platna korištena su u samim počecima filmske industrije. Većina svjetlosti koja dolazi do nas nije polarizirana, no to se mijenja kad se svjetlost raspršuje na objektima, a pogotovo na prijelazu iz zraka u vodu ili staklo. Zato je svjetlost koja se odbija od vode (npr. oceana) značajno polarizirana i ovu razliku možemo primijetiti gledajući površinu vode uz pomoć polarizacijskog filtera. Već spomenuti David Brewster je otkrio da postoji poseban kut upada nepolarizirane svjetlosti na površinu vode ili stakla takav da je svjetlost koja se od te površine odbija potpuno polarizirana. Po njemu se taj kut zove Brewsterov kut. Polarizacijski filteri koriste se u fotografiji pogotovo kad se fotografira scena s vidljivim nebom. Uporaba polarizacijskog filtera čini nebo znatno tamnijim, a fotografiju kontrastnijom zato jer je određeni dio svjetlosti koja se raspršuje u atmosferi također polariziran. Kad gledamo kroz dva polarizacijska filtera moguće je potpuno zabraniti prolazak svjetlosti do oka jer prvi filter propušta samo dio svjetlosti određene polarizacije, dok se drugi filter može jednostavnim okretanjem podesiti tako da propušta samo svjetlost polarizacije okomite na onu koju propušta prvi filter. Ovaj efekt je u suštini funkcioniranja LCD monitora (liquid crystal display – monitor od tekućeg kristala).

Zlatno doba polarizacijske stereoskopske tehnologije za izradu filmova bilo je u pedesetim godinama prošlog stoljeća. U Los Angelesu je 27. studenog 1952. godine prikazan niskobudžetni avanturistički film „Bwana Devil“ čija je zarada iznosila oko 100000 američkih dol-



ara. Taj popriličan iznos za ono vrijeme označio je proboj stereoskopskog filma. Zapaženiji filmovi snimljeni u pedesetim godinama bili su i „Čudovište iz Crne lagune“ („Creature from the Black Lagoon“), „Došlo je iz svemira“ („It Came from Outer Space“), „Poljubi me Kato“ („Kiss me Kate“) i „Labirint“ („The Maze“). Oduševljenje gledatelja stereoskopskim filmom nije dugo trajalo dijelom i zbog šlampavosti u njihovoj izradi i projekciji kao i uštedama na kvaliteti stereoskopskih naočala tako da je trodimenzionalni efekt bio slab. U osamdesetim godinama pojavilo se nekoliko filmova izrađenih u 3D tehnologiji, uključujući i treći dio filma strave „Petka trinaestog“.



Najavni plakat za film „Čudovište iz Crne lagune“ („Creature from the Black Lagoon“).

Početak ovog stoljeća ponovno je živnuo interes za 3D filmove. Robert Rodriguez je 2003. godine režirao film „Spy Kids 3D: Game Over“ koristeći anaglifsku stereoskopsku tehnologiju. Disney studiji su

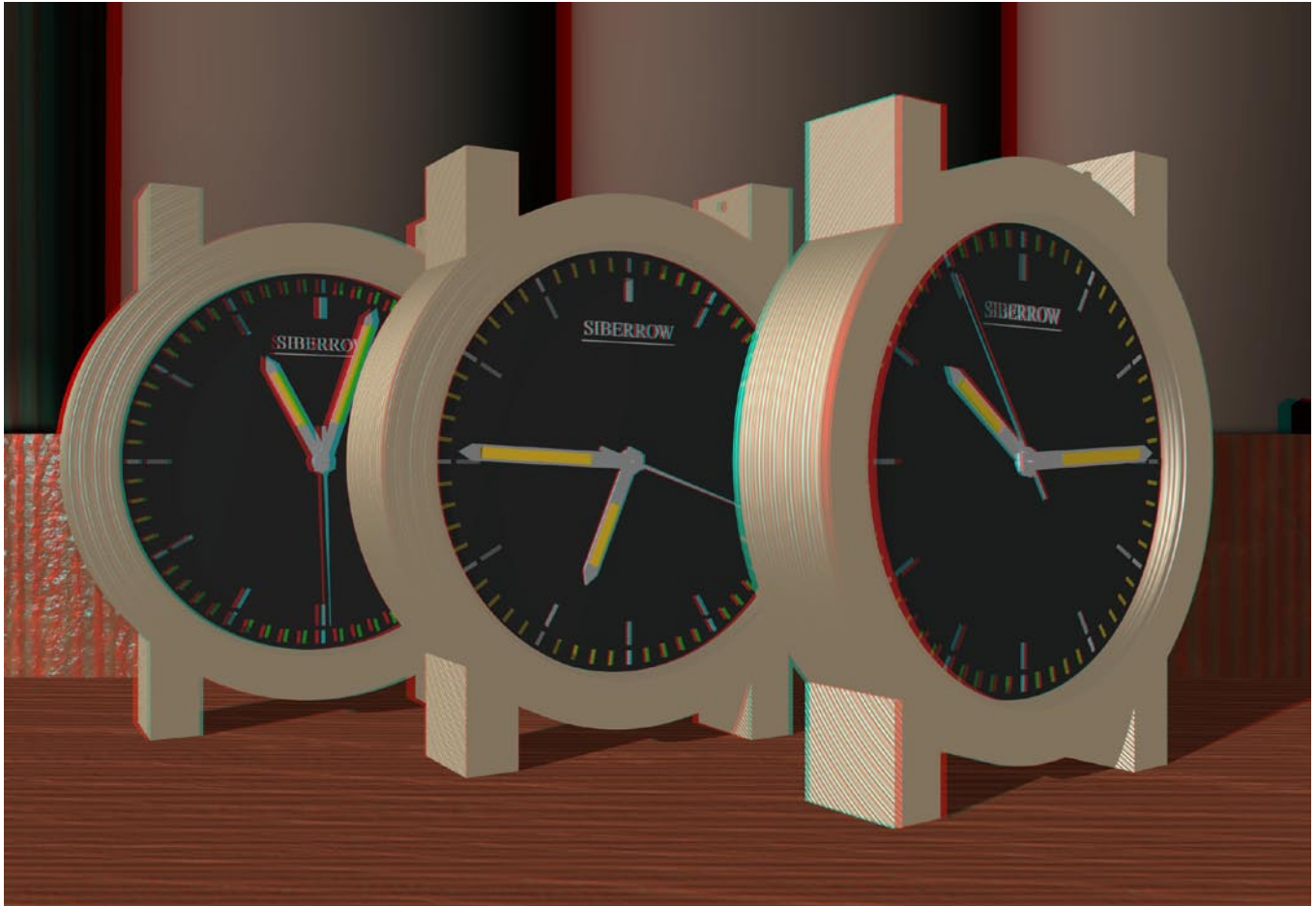
2005. godine izdali film „Chicken Little“ (prevedeno kod nas kao „Žuta minuta“) načinjen i prikazivan uporabom polarizacijske stereoskopske digitalne tehnologije. Kompanija Walt Disney ima i cijeli program izrade stereoskopskih filmova pod nazivom „Disney Digital 3-D“. Osim „Chicken Little“, pod ovim imenom izdani su i filmovi „The Nightmare Before Christmas“ („Božićna pustolovina“) i „Meet the Robinsons“ („Obitelj Robinson“).

Interesantno je da je u vrijeme izlaska filma „Chicken Little“ (4. studenog 2005. godine) samo 100 kina u SAD-u bilo opremljeno da film može i prikazati, dok je u vrijeme prikazivanja filma „Meet the Robinsons“ (27. ožujka 2007. godine) već oko 600 kina moglo ispravno prikazati film. Tehnologija koju koristi Disney ne zahtijeva dva projektora koja šalju različito polarizirane slike na filmsko platno. Film je niz sličica, tipično 24 do 30 u sekundi. Disneyevi 3D filmovi koriste 144 slike u sekundi (šest puta više od uobičajenog filma), od toga su 72 namijenjene i polarizirane za lijevo oko, a 72 za desno. U svakoj dvadesetčetvrtinki sekunde prikažu se tri slike za lijevo i tri slike za desno oko. Zbog tako velike brzine prikazivanja, ni jedno oko ne uočava gotovo potpuno crne slike koje se pojavljuju u lijevom oku kad se prikazuje slika za desno oko i obratno, pa se film čini glatkim. I ovdje su potrebne polarizacijske stereoskopske naočale za gledanje filma.

Neki ljudi mogu vidjeti stereoskopsku sliku gledajući direktno u par usporednih slika pritom defokusirajući pogled. Za većinu nas ostalih to predstavlja značajan problem. Još kompliciranije za gledanje su slike koje izgledaju poput manje-više nasumičnog rasporeda točkica – nazivaju se autostereogramima. U njima je pohranjen, „kodiran“ trodimenzionalni zapis koji je moguće vidjeti uz neprirodno i za većinu ljudi prilično naporno defokusiranje pogleda. Gledanje anaglifskih slika može također nakon dužeg vremena izazvati kod nekih ljudi zamor očiju.

Stereoskopska slika bitan je sastojak virtualne stvarnosti (virtual reality). Najvidljiviji dio opreme potrebne za uranjanje u računalno

stvorenu stvarnost su stereoskopske „naočale“ koje u stvari prikazuju posebne digitalne slike za lijevo i desno oko. Prikaz slike usklađen je s pokretima korisnika što stvara dojam sudjelovanja u trodimenzionalnom okolišu. Slična oprema prodaje se danas i kao dodatak za igraće konzole, a sve je više igara koje su načinjene tako da šalju stereoskopski par slika na „naočale“ korisnika.

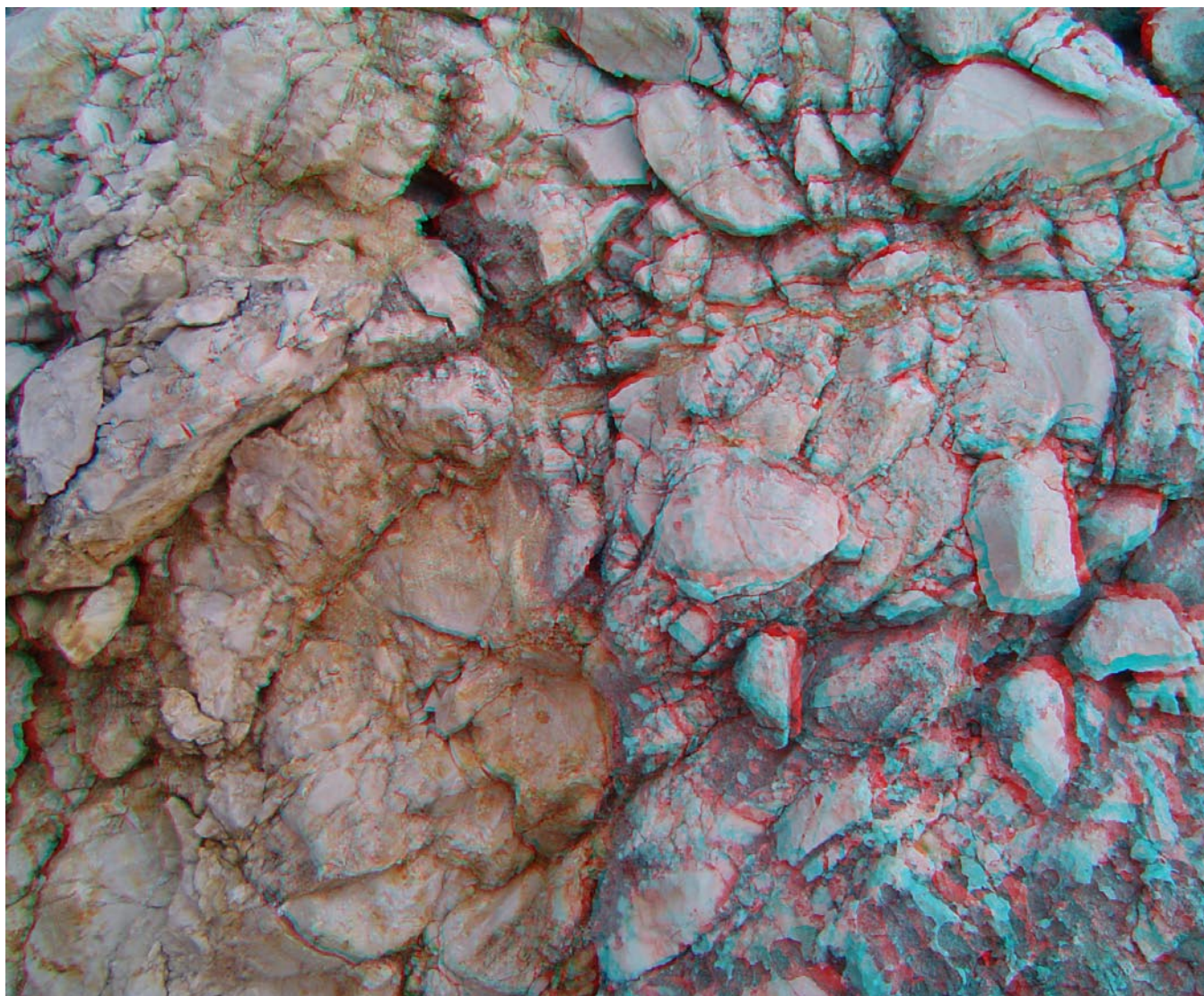


**Vrijeme je relativno. Tri ručna sata na stolu.**

Interesantno je da se stereoskopska slika često koristi i u prirodnoj znanosti. Znanstvenici koji npr. istražuju trodimenzionalnu strukturu proteina često koriste njihov stereoskopski prikaz radi boljeg uvida u trodimenzionalnost tih molekula. Pojedini znanstveni časopisi, npr. u molekularnoj biologiji, objavljuju stereoskopske parove slika struktura i molekula koje znanstvenici istražuju. Postoje i specijalizirane izdavačke kuće koje tiskaju udžbenike koristeći neku od stereoskopskih tehnika. Najčešće se radi o anatomskim atlasima, atlasima fosila, geološkim atlasima i slično. Stereoskopski uvid u objekte i zgrade koje projektiraju



vrlo je koristan i dizajnerima i arhitektima koji također često koriste različite stereoskopske tehnike gledanja. Spektakularnost stereoskopske slike, pogotovo filmske, važna im je i zbog prezentacije svog prijedloga naručiteljima i investitorima.



**Stijena na Krku. Dvije fotografije snimljene digitalnim fotoaparatom niske kvalitete i montirane tako da se dobije slika za stereoskopsko gledanje.**

Razvojem digitalne fotografije i računalnih aplikacija za obradu slike moguće je sasvim dobre anagliffe izraditi i u kućnoj radinosti. Recepte za izradu anaglifa npr. uporabom Adobe Photoshopa možete lako naći na internetu, a postoje i mali programi koji od dvije fotografije automatski izrađuju anaglifsku stereoskopsku fotografiju. Ukoliko se spremate na ovakve pothvate, započnite s nečim jednostavnim i statičnim, npr. nekoliko jabuka na stolu. Eksperimentirajte s pomakom fotoaparata i udaljenošću fotoaparata od prizora koji fotografirate. Izbjegavajte prejake boje jer je anaglifska tehnika najbolja za crno-bijele fotografije. Ako

se dovoljno potrudite, bit ćete nagrađeni 3D fotografijom koju možete pogledati kroz naočale priložene ovom broju „Drva znanja“.