

# Matematika u op-artu s primjenom u tekstilnom i modnom dizajnu

---

Curman, Klaudia

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Textile Technology / Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:201:539961>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-26**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Textile Technology University of Zagreb - Digital Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

MATEMATIKA U OP-ARTU S PRIMJENOM U TEKSTILNOM I  
MODNOM DIZAJNU

Student:

Klaudia Curman

Zagreb, rujan 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET  
ZAVOD ZA TEMELJNE PRIRODNE I TEHNIČKE ZNANOSTI

ZAVRŠNI RAD

MATEMATIKA U OP-ARTU S PRIMJENOM U TEKSTILNOM I  
MODNOM DIZAJNU

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Mirna Rodić

Student:

Klaudia Curman, 0130328105

Zagreb, rujan 2022

## DOKUMETACIJSKA KARTICA

- Zavod za temeljne prirodne i tehničke znanosti, Zavod za dizajn tekstila i odjeće
- Broj stranica: 55
- Broj slika: 31
- Broj literaturnih izvora: 24
- Broj likovnih ostvarenja: 23
- Članovi povjerenstva:
  1. doc. art. Josipa Štefanec, predsjednica
  2. izv. prof. dr. sc. Mirna Rodić, članica
  3. doc. dr. sc. Karla Lebhaft, članica
  4. izv. prof. art. Koraljka Kovač Dugandžić, zamjenik članice
- Datum predaje završnog rada: \_\_\_\_\_
- Datum obrane završnog rada: \_\_\_\_\_
- Ocjena: \_\_\_\_\_

## SAŽETAK

Matematika je znanost koja je nezaobilazna u svim područjima umjetnosti i dizajna. Od samih početaka razvoja civilizacija Egipta i Grčke pa sve do danas, koristi se u arhitekturi, slikarstvu, kiparstvu te modnom i tekstilnom dizajnu. Kroz povijest inspirirala je razne tehnike tkanja, pletenja, prošivanja, raznih vezova pa do izrade turskih i drugih tepiha kao i ćilim. Naglasak ovog rada bit će na op-artu, umjetničkom pravcu koji je nastao 60-ih godina 20. stoljeća. To je razdoblje u povijesti umjetnosti koje koristi poznavanje geometrije, matematičkih pravilnih oblika i optike te djelovanje boje na čovjekov vid kako bi se dobila iluzija kretanja i treperenje. Matematički obrasci glavni su element u stvaranju umjetničkih djela op-arta te će se prikazati i njihova primjena u tekstilnom i modnom dizajnu.

KLJUČNE RIJEČI: matematika, op-art, tekstilni i modni dizajn

## **Summary**

Mathematics is a science that is indispensable in all areas of art and design. From the very beginnings of the development of the civilizations of Egypt and Greece until today, it is used in architecture, painting, sculpture and fashion and textile design. Throughout history, it has inspired various techniques of weaving, knitting, quilting, various embroideries, and even the production of Turkish and other carpets as well as rugs. The emphasis of this work will be on op-art, an artistic direction that arose in the 60s of the 20th century. It is a period in the history of art that uses knowledge of geometry, mathematical regular forms and optics and the effect of color on human vision to create the illusion of movement and flicker. Mathematical patterns are the main element in the creation of op-art works of art, and their application in textile and fashion design will also be shown.

**KEYWORDS:** mathematics, op-art, textile and fashion design

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. MATEMATIKA JE SVUDA OKO NAS.....	2
3. MATEMATIKA KOD DREVNIH CIVILIZACIJA.....	5
4. PRIMJENA MATEMATIKE U UMJETNOSTI.....	6
4.1. Matematika u slikarstvu.....	6
4.2. Matematika u arhitekturi.....	12
4.3. Matematika u kiparstvu.....	13
5. MATEMATIKA U TEKSTILNOM I MODNOM DIZAJNU.....	13
5.1. Tkanina.....	14
5.2. Čilim.....	17
5.3. Korištenje matematike u modnom dizajnu.....	17
6. O OP-ARTU.....	18
6.1. Povijesni kontekst.....	18
6.2. Početak optičke umjetnosti.....	18
6.3. Karakteristike.....	19
6.4. Predstavnici.....	20
6.4.1. Victor Vasarely.....	20
6.4.2. Bridget Riley.....	21
6.4.3. Maurtis Cornelis Escher.....	22
6.5. Op-art u tekstilnom i modnom dizajnu.....	23
7. MATEMATIKA U OP-ARTU.....	24
7.1. Kako je M.C. Escher koristio matematiku?.....	24
7.2. Kako je Vasarely koristio matematiku?.....	26

8. ANALIZA KOLEKCIJE.....	28
9. LIKOVNA MAPA .....	29
9.1. Kolekcija tekstila.....	29
9.2. Kolekcija modnih ilustracija.....	42
10. LITERATURA.....	52
11. POPIS SLIKA.....	54



## 1.UVOD

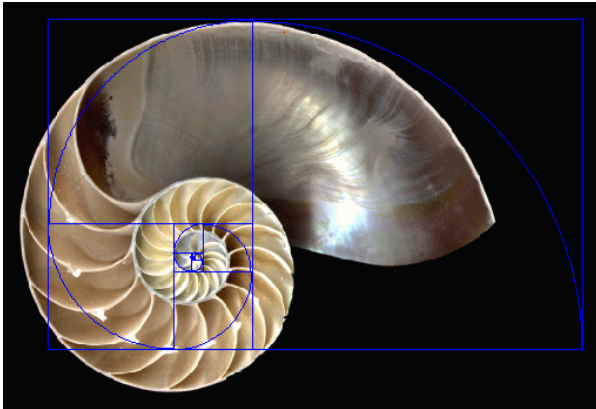
Gledajući svijet oko nas, priroda je dizajnirana na najsavršeniji način, te čovjek pokušava imitirati ponašanja, strukture i oblike iz prirode tako da sam sebi olakša život. Čovjekova fascinacija i znatiželja prema znanju i učenju dovela ga je do raznih otkrića bez kojih čovječanstvo ne bi poprimilo današnji oblik. Svojim zanimanjem za prirodu čovjek je uspio stvoriti današnji svijet koji možemo vidjeti.

Matematika je jedna od znanosti koja živi u sinergiji s prirodom i od svog samog početka olakšava čovjeku rješavanje svakodnevnih problema s kojima se suočava. Svojom dugom poviješću dokazuje svoj značaj i važnost. U vrijeme starog Egipta pojavljivali su se prvi pisani zapisi matematičkih zadataka i rješenja. Kako je čovjek postajao sve kreativniji i inovativniji, počeo se suočavati s novim problemima koji su zahtijevali kompleksnija rješenja. Nova dostignuća stvarala su se iz stoljeća u stoljeće te je matematika time postala jedna od temeljnih znanosti koja se počela primjenjivati u svim ostalim područjima znanosti pa i dizajna, osobito u tekstilnom i modnom dizajnu gdje se koristila i u izradi turskih tepiha ćilima. Matematika ne poznaje granice i može stvarati nove koncepte razmišljanja i svjetove za koje ljudi smatraju da nisu mogući.

Upravo te karakteristike, od inovativnosti do pronalaženja drugih svjetova, krasi umjetnost. Mnogi smatraju da su matematika i umjetnost dvije krajnosti, ali kad se pogleda njihovu srž, one dolaze iz istog aspekta znatiželje, inovativnosti, fascinacije i kreativnosti. Umjetnički pokret koji je baziran na matematici je op-art. To je umjetnički pravac koji je nastao u šezdesetim godinama 20. stoljeća. Geometrija, osobito geometrijski likovi, jedni su od najvažnijih elemenata koji krasi taj pokret. Drugi element su optičke iluzije. One su bazirane na ispreplitanju boje i tekstu linija te pravilne mreže i, naravno, geometrijski likovi. Često ponavljanje boja i ritam likova te pozadina uvelike doprinose na to kako će iluzija izgledati. Cilj je da čovjek izgubi percepciju o onome što vidi, te da uđe u taj imaginarni svijet koji, na neki način, stvara u čovjeku nemir. Tromost ljudskog oka stvara ovdje iluziju koja će ga još dodatno zbuniti i time neće biti siguran što je stvarno. Mnogi modni dizajneri poput Alexander McQueena i Jean Paul Gaultiera iskoristili su op-art kao polazište za stvaranje svojih kolekcija. U izradi svojih kolekcija kreacija tekstila i odjeće fokus im je bio na matematičkim elementima poput geometrijskih likova napravljenih od krugova, kvadrata i pravokutnika. Preklapanjem tih likova i njihovom repetitivnošću stvorile su se optičke iluzije koje su esencija op-art-a.

## 2. MATEMATIKA JE SVUDA OKO NAS

Matematiku možemo vidjeti svuda oko nas, iako je možda nismo na prvu ni svjesni. Nalazi se u prirodi, u gradu, u našoj kući i okolici. Kratko rečeno, možemo reći da je matematika dio naše svakodnevice. Primjer gdje možemo pronaći matematiku u prirodi su posebna školjka pod nazivom Indijska lađica (Nautilus) (Sl. 1) te ostale biljke poput suncokreta (Sl. 2) i češera. [1]

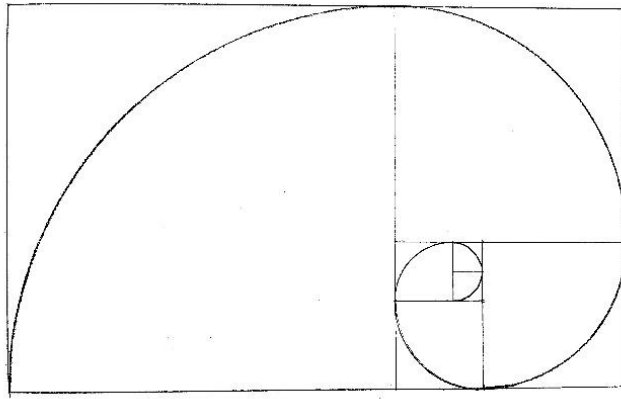


Sl. 1: Indijska lađica (Nautilus)



Sl. 2: Suncokret

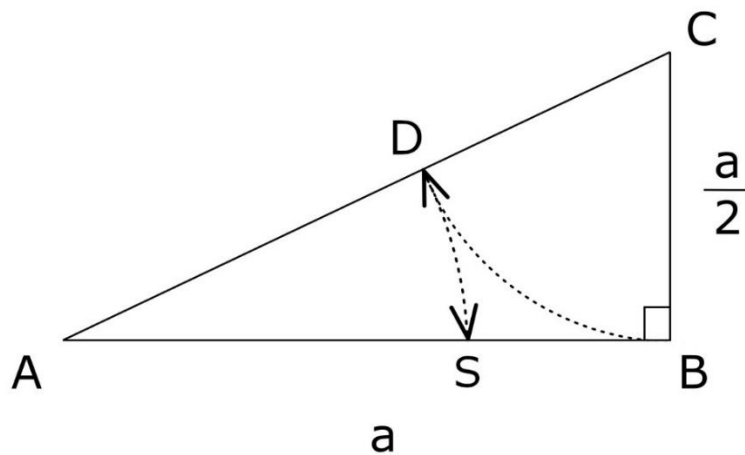
Pojmovi koji se 'kriju' iza svih tih oblika u prirodi su zlatni rez i Fibonaccijev niz. U matematičkom rječniku Ivica Gusića Fibonaccijev niz je definiran kao: „...niz 1,1,2,3,5,8,13... u kojem je svaki član jednak zbroju dvaju prethodnih.” [2] Početkom 18.st. D. Bernoulli sastavio je formulu pomoću koje se može dobiti  $n$ -ti Fibonaccijev broj:  $f_n = \frac{1}{\sqrt{5}} \left[ \left( \frac{1+\sqrt{5}}{2} \right)^n - \left( \frac{1-\sqrt{5}}{2} \right)^n \right]$ . [2] Niz Fibonaccijevih brojeva može se slikovno prikazati pomoću Fibonaccijevih pravokutnika u koje se može upisati takozvana Fibonaccijeva spirala (Sl. 3). Ta je spirala vrlo bliska zlatnoj spirali, spirali nastaloj primjenom omjera zlatnog reza.



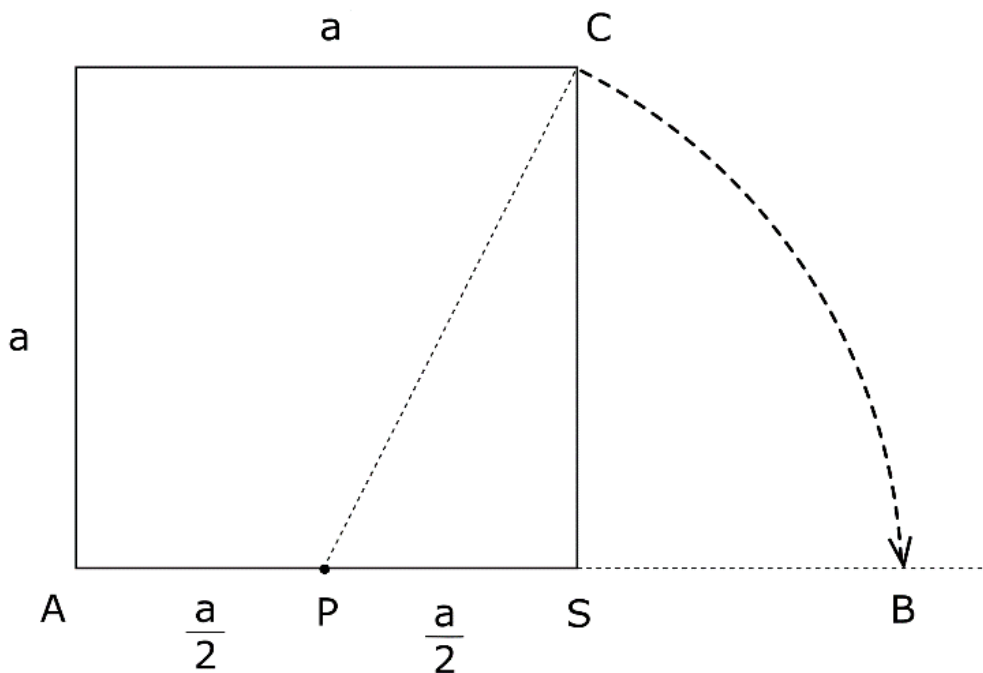
Sl. 3: Fibonaccijeva spirala

Biljke i životinje uvijek u svojoj suštini 'biraju' najjednostavniji i najbolji matematički dizajn koji bi im pomogao u opstanku u prirodi. Priroda uvijek živi i traži međusobni sklad. Tu skladnost pronalazimo pod pojmom zlatni rez. Taj savršen odnos u prirodi dovodi do nekih prekrasnih oblika kod biljaka te i sama čovjekova građa sadrži zlatni rez.

Zlatni rez je odnos dijelova neke dužine kod kojeg se cijela dužina odnosi prema većem dijelu kao što se veći dio odnosi prema manjem. Brojeva vrijednost zlatnog reza naziva se zlatni broj, označava se grčkim slovom  $\Phi$  (fi) i iznosi  $\frac{1}{2}(\sqrt{5} - 1)$  odnosno 1,618033988...[3] Na sljedećim slikama prikazan je postupak konstrukcije podjele dužine u zlatnom rezu. Kod konstrukcije unutarnjeg zlatnog reza (Sl. 4) tražimo točku S koja dijeli zadanu dužinu  $\overline{AB}$  u omjeru zlatnog reza, a kod konstrukcije vanjskog zlatnog reza (Sl. 5) tražimo točku B tako da je dužina  $\overline{AB}$  bude podijeljena točkom S u omjeru zlatnog reza.



Sl. 4: Unutarnji zlatni rez



Sl. 5: Vanjski zlatni rez

Osim zlatnog reza i Fibonaccijevih brojeva u prirodi se pojavljuje i fenomen fraktala. Ono što je bitno za fraktale je to, što ih krasi svojstvo samosličnosti. To znači da je neki geometrijski objekt sastavljen od sve manjih i manjih kopija samoga sebe koji se mogu ponavljati u beskonačnost. Taj jedinstven fenomen koji na prvu ne bismo mogli zamijetiti, u prirodi pronalazi svoj oblik u pahuljicama snijega, cvijeću, drveću, u mrežama rijeka pa sve do grananja neurona u mozgu. [1]

Geometrijski likovi jedni su od najjednostavnijih elemenata u matematici. Upravo ta jednostavnost odigrala je ključnu ulogu u čovjekovom dizajnu svijeta kakvog mi danas poznajemo. Svaki predmet koji je čovjek ikad izradio sastoji se od jednostavnih elemenata kao što su trokut, kvadrat, pravokutnik ili krug. Tako, na primjer, te elemente možemo pronaći i u gradu. Na semaforu možemo primijetiti tri kruga u kojima se osvjetljavaju različite boje svjetla, odnosno crvena, žuta i zelena. Duge serije cesta izgledaju poput linija tj. dužina, a kvartovi iz visina mogu izgledati poput kvadrata i pravokutnika koji su u repetitiji. Zgradu uvijek asociramo s oblikom kvadra, a kuću s kockom. Na temelju svega toga može se zaključiti kako je čovjek, promatrajući prirodu, preuzeo njezine ideje i tako stvorio svoj svijet baziran na matematici.

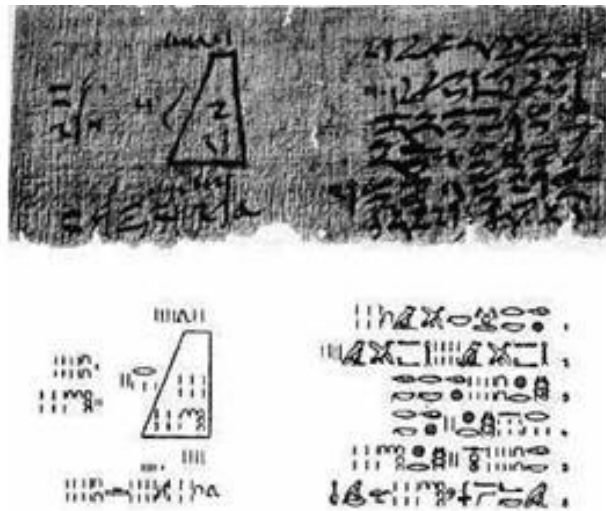
### 3. MATEMATIKA KOD DREVNIH CIVILIZACIJA

Matematiku su počele primjenjivati prve civilizacije poput Sumerana, Babilonaca, Egipćana i Grka. Njezinim proučavanjem uspjeli su doći do novih, boljih i inovativnijih otkrića u arhitekturi, poljoprivredi, astronomiji i sl.

Najstariji matematički izvori datiraju još od starog Egipta. Ta dva izvora zovu se: *Rhindov papirus* i *Moskovski papirus*. Na tim papirusima nalaze se matematički zadaci vezani za praktične probleme gdje su se koristile prve četiri operacije, linearne jednadžbe i računanje dimenzija. Rhindov papirus dobio je ime po egiptologu koji ga je 1858. godine kupio u Luxoru, Alexanderu Henryju Rhindu. Nakon njegove smrti, papirus je dopremljen u *British Museum* u Londonu. Taj papirus je vjerojatno napisan oko 1650. g. pr. Kr., a pisar koji ga je napisao bio je Ahmes. Sadrži 84 zadataka koji su namijenjeni školama pisara i uglavnom su to bili zadaci vezani za aritmetičke i geometrijske nizove. Moskovski papirus nabavio je egiptolog Vladimir Goleniščev 1892. ili 1893. i doveo ga u Moskvu. Ovaj papirus sadrži 25 zadataka. Ti zadaci prikazuju računanje površine kruga. [4]



Sl.6: Rhindov papirus



Sl. 7: Moskovski papirus

U Mezopotamiji Sumerani su razvili seksagezimalni sustav u kojem je baza broj 60. Također sastavljene su pomoćne tablice množenja s cijelim brojevima i recipročnim vrijednostima te tablice kvadrata i kvadratni brojevi. Odredili su drugi korijen te su poznavali aritmetički i geometrijski red. Rješavali su kvadratne i linearne jednadžbe te jednadžbe trećeg stupnja. [5]

Stari Grci preuzeli su matematička znanja od Egipćana i mezopotamskih civilizacija. Prvi grčki matematičari bili su Euklid, koji je napisao djelo *Elementi*, Pitagora te nakon nekog vremena pojavili su se Demokrit i Arhimed. Grci su uglavnom smatrali kako svaki matematički problem uvijek mora imati neko logično rješenje. Grci nisu razvili svoj brojevni sustav, nego su svoja promatranja prenosili u geometrijsku formu. [5]

#### **4. PRIMJENA MATEMATIKE U UMJETNOSTI**

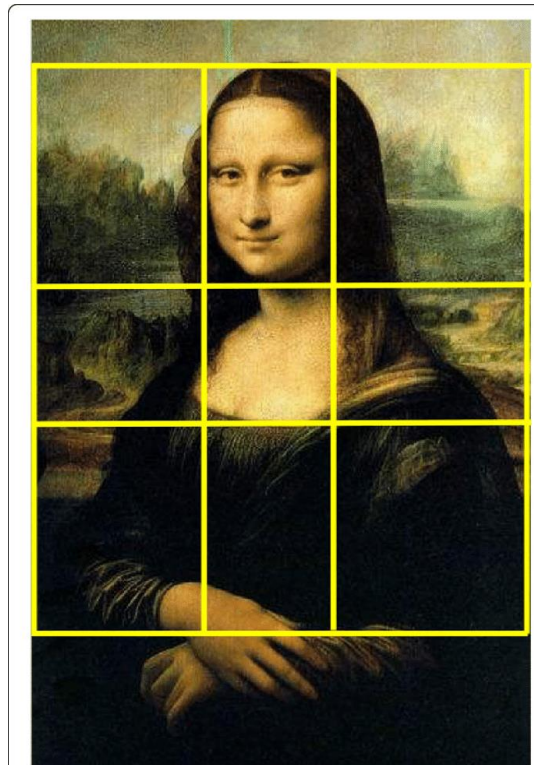
Na pitanje što je to umjetnost teško je odgovoriti. Svaki umjetnik ima svoju definiciju i poimanje umjetnosti. Neki bi rekli da je umjetnost neka vrsta bijega od svakodnevice, razgovor i dijalog između umjetnika i gledatelja ili način izražavanja kojim umjetnik doživljava svoju okolinu. No, rijetko kad će nečiji odgovor biti matematika. Na prvi pogled čine se te dvije stvari kao totalna suprotnost, ali u svojoj suštini one su povezane i koriste isti kreativni proces razmišljanja.

Ideja da se umjetnost temelji na matematici nije nova ni na koji način. Još u vrijeme starog Egipta i Babilona, ljudi su koristili složene matematičke procese kojima su rješavali probleme s kojima su se suočavali. Miješanje boja također zahtijeva poznavanje omjera kojima se dobiva neka točno određena boja.

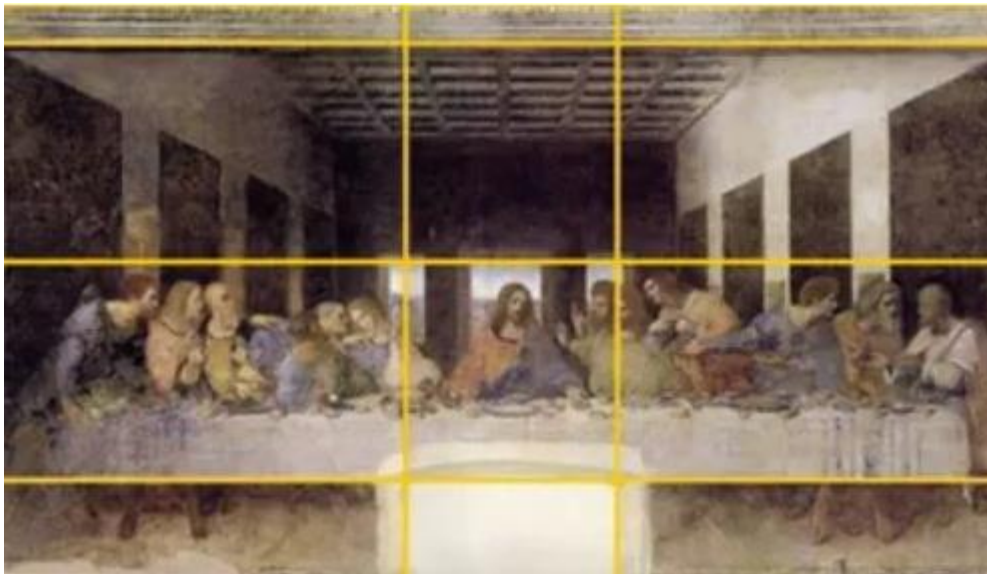
##### **4.1. Matematika u slikarstvu**

Matematika se uvijek primjenjivala u slikarstvu, ali svoj vrhunac postigla je u razdoblju predrenesanse i renesanse. Poznati umjetnici koji su pomoću geometrije i zlatnog reza uspjeli napraviti poznata djela bili su Leonardo da Vinci, Michelangelo Buonarroti, Sandro Botticelli i Rafael.

Leonardo da Vinci (1452.-1519.) rođen je u Italiji u današnjem gradu Vinciju. Još od svojeg djetinjstva bio je veoma znatiželjan. U svojim ranim godinama poslan je u školu kod također poznatog umjetnika tog vremena, Andree del Verrocchia. Verrocchio ga je učio o osnovama i tehnikama u slikarstvu i ostalim područjima u umjetnosti. Kasnije, kad je usavršio svoje vještine, radio je za poznate vladare u Italiji. U svojim slikarskim djelima često je primjenjivao svoja matematička znanja. Koristio je zlatni rez i geometriju kako bi prikazao savršenu proporcionalnost likova na slici. Njegova poznata djela koja su sastavljena pomoću matematike i geometrije su *Mona Lisa* (Sl. 8) i *Posljednja večera* (Sl. 9). [6]



Sl. 8: Leonardo da Vinci, *Mona Lisa*, 1503.

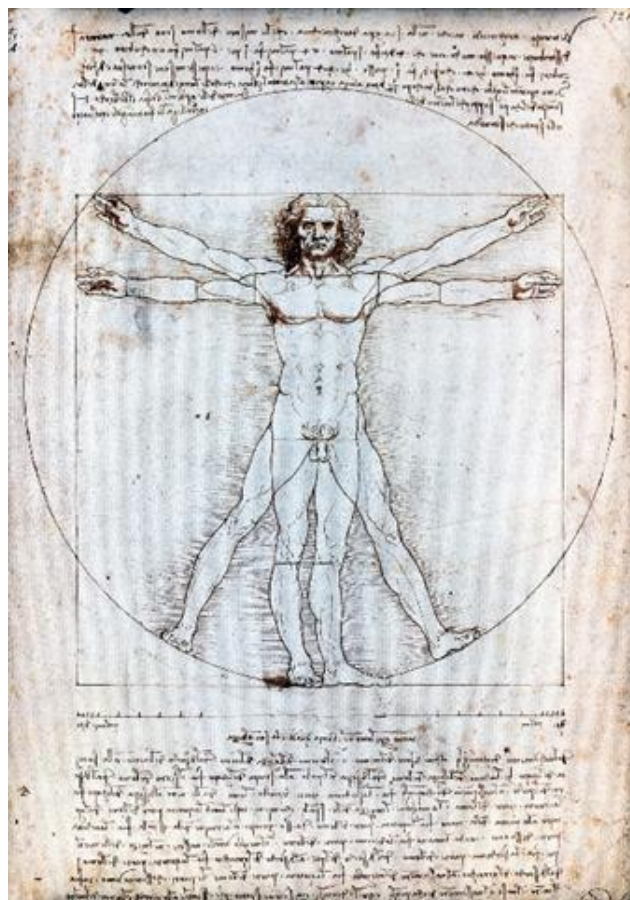


Sl. 9: Leonardo da Vinci, *Posljednja večera*, 1498.

Kada dolazi do umjetnosti i matematike, da Vinci je u svojim djelima uvijek koristio matematičke principe linearne (geometrijske) perspektive. Tri elementa koja su potrebna za linearnu perspektivu su paralelne linije, horizont te nedogled („vanishing point“). Leonardova „Posljednja večera“ vrhunski je primjer korištenja matematike u perspektivi. Pored primjene same perspektive, Leonardo da Vinci tu koristi i zlatni rez za pozicioniranje različitih elemenata

na slici. Upravo korištenjem matematičkih načela, da Vinci uspijeva spojiti različite elemente na slici. [7]

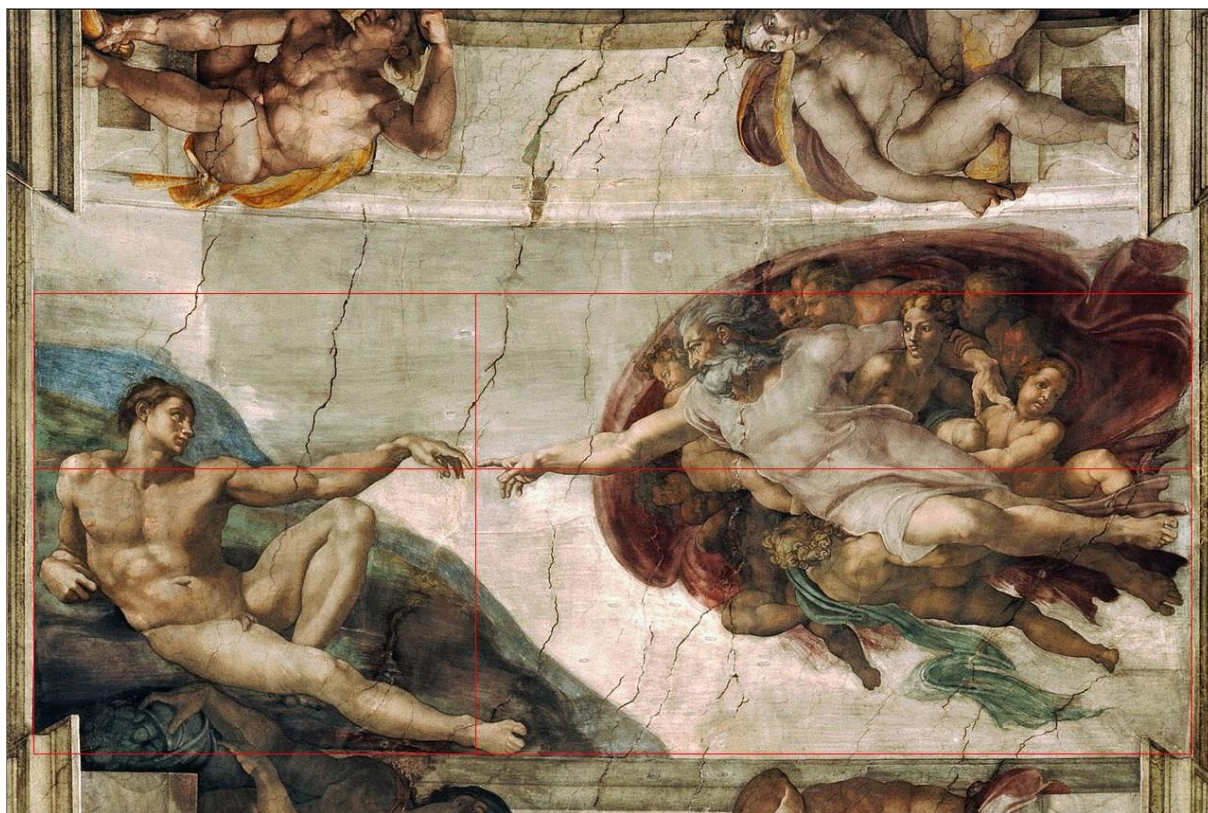
Kako bi unaprijedio svoje znanje i umjetnost, Leonardo da Vinci je nacrtao brojne crteže s prikazom ljudskog tijela i njegovih proporcija. Jedan od najpoznatijih je crtež Vitruvijevog čovjeka (Sl. 10). Njime je slikovno prikazao proporcije ljudskog tijela koje spominje još rimski arhitekt Vitruvije u 1. st. prije Krista, smještanjem čovjeka u krug i kvadrat. Koristeći pupak kao središte opisao je krug oko ljudskog tijela s raširenim rukama i nogama. A kako je prema tim proporcijama udaljenost između raširenih ruku jednaka čovjekovoj visini – čovjeka je smjestio i u kvadrat. Daljnjom analizom ovoga djela na njemu se mogu pronaći razni omjeri, a između ostalog i omjer zlatnog reza. Ovaj crtež prikazuje veliku Leonardovu zainteresiranost za proporcije, a prezentira i stapanje čovjeka i prirode. U toj skici Leonardo da Vinci je uspio spojiti matematiku, religiju, filozofiju, arhitekturu i umjetničku vještinu svog doba.



Sl. 10: Leonardo da Vinci: *Vitruvijev čovjek*, 1490.

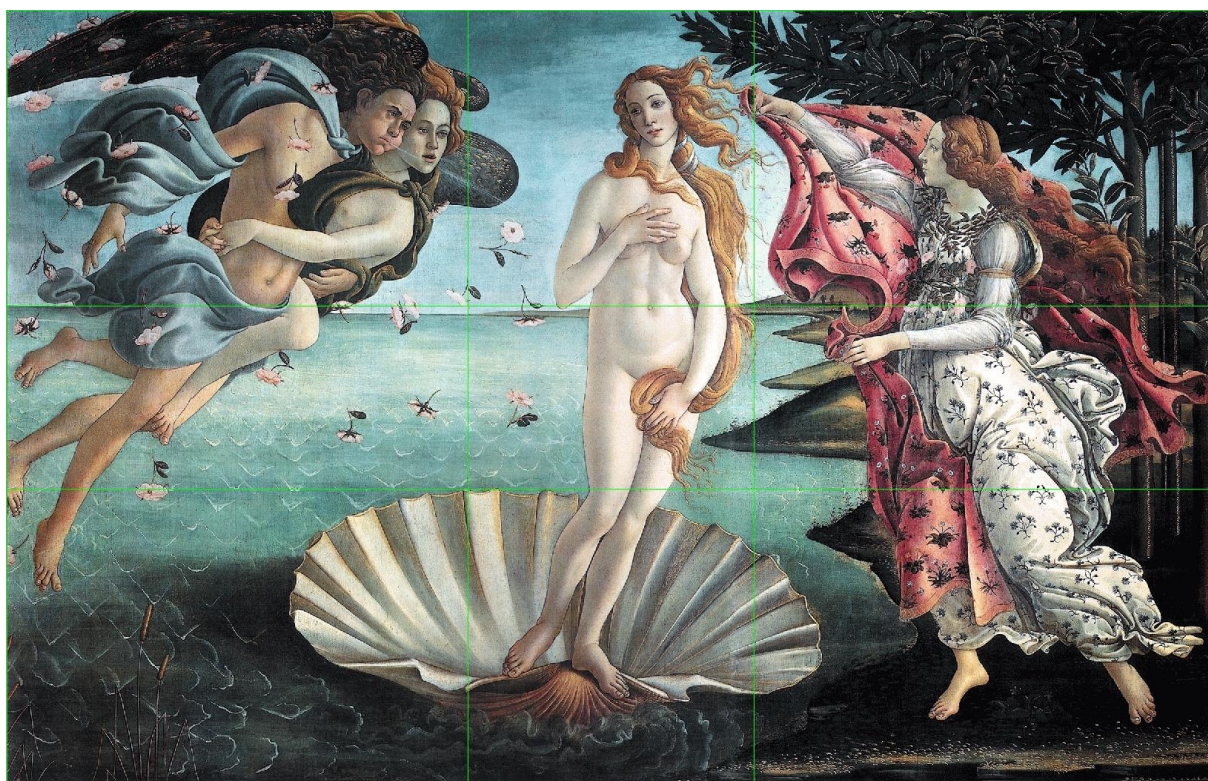


Michelangelo Buonarroti (1475.-1564.) rođen je u naselju Caprese Michelangelo. Kao slikar, poznat je po slikanju Sikstinske kapele u Rimu. Većinu svog života tamo je proveo slikajući. Njegova poznata freska *Stvaranje Adama* (Sl. 11) prikazuje Boga kako svijet koji je stvorio daruje Adamu. U tom poznatom djelu također je primijenjen zlatni rez. Kada bi potegnuli linije zlatnog reza, mogli bismo uočiti kako se te linije sijeku točno između dvaju kažiprsta gdje se dodiruju Bog i Adam. [8]



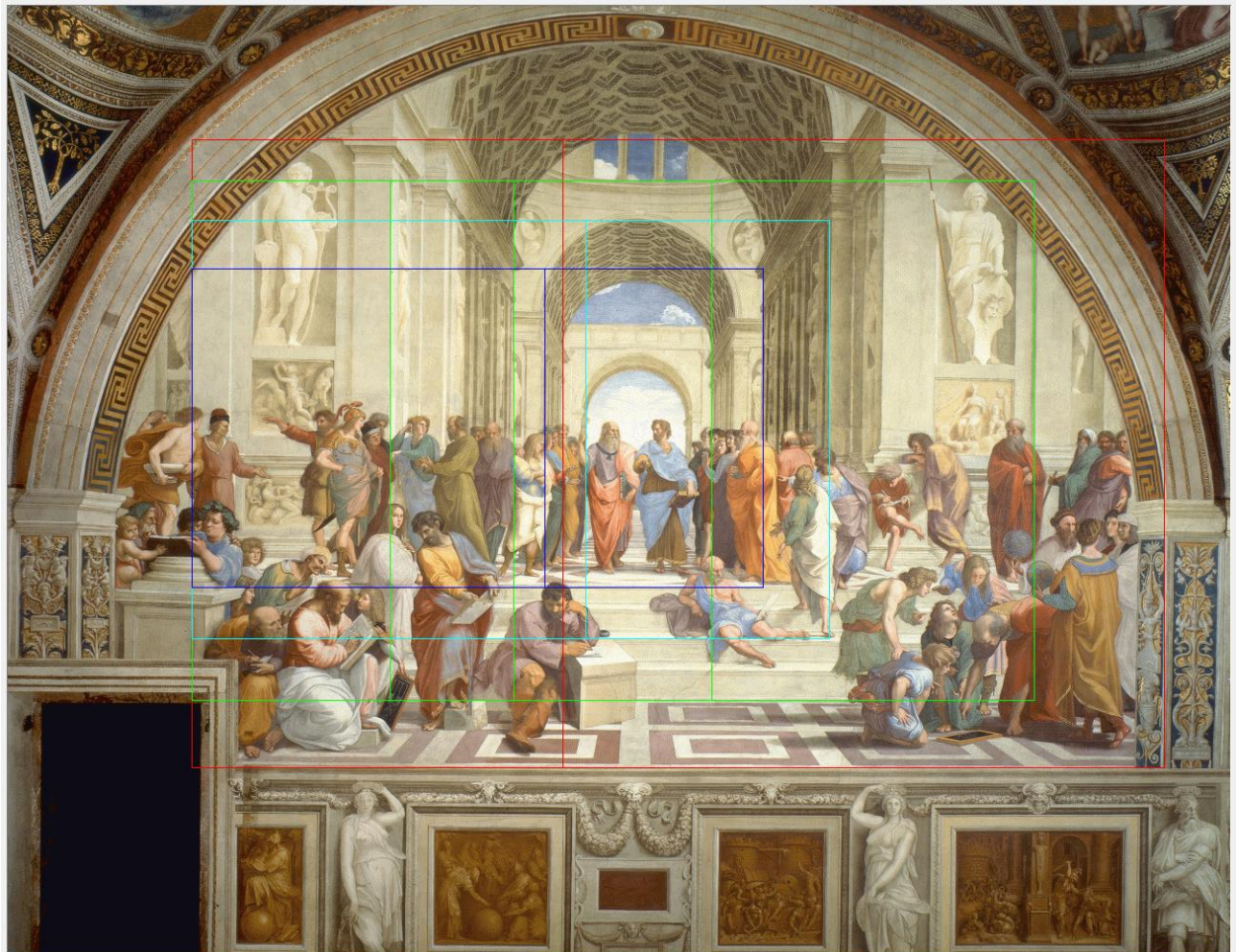
Sl. 11: Michelangelo Buonarroti, *Stvaranje Adama*, 1512.

Sandro Botticelli (1445.-1510.) rođen je u Firenci. Jedan je od najznačajnijih renesansnih slikara. Slikao je za poznatog toskanskog vojvodu, Lorenza il Magnifica (Lorenza Veličanstvenog). Također je slikao freske za papu Siksta IV. u Sikstinskoj kapeli. Njegova poznata slika je *Rođenje Venere* (Sl. 12). Rođenje Venere također sadržava zlatni rez. Zlatni rez se može i sam primijetiti kako se linije dotiču s predmetima i stvarima na slici. [9]



Sl. 12: Sandro Botticelli, *Rođenje Venere*, 1486.

Rafael bio je jednako poznat renesansni slikar te je njegovo poznato djelo *Atenska škola* (sl. 13). Na toj slici jasno se može vidjeti zlatni rez koji prati zidove i likove. Može se također primijetiti kako je slikar koristio i renesansnu perspektivu gdje se dijagonalne linije sijeku u jednoj točki.



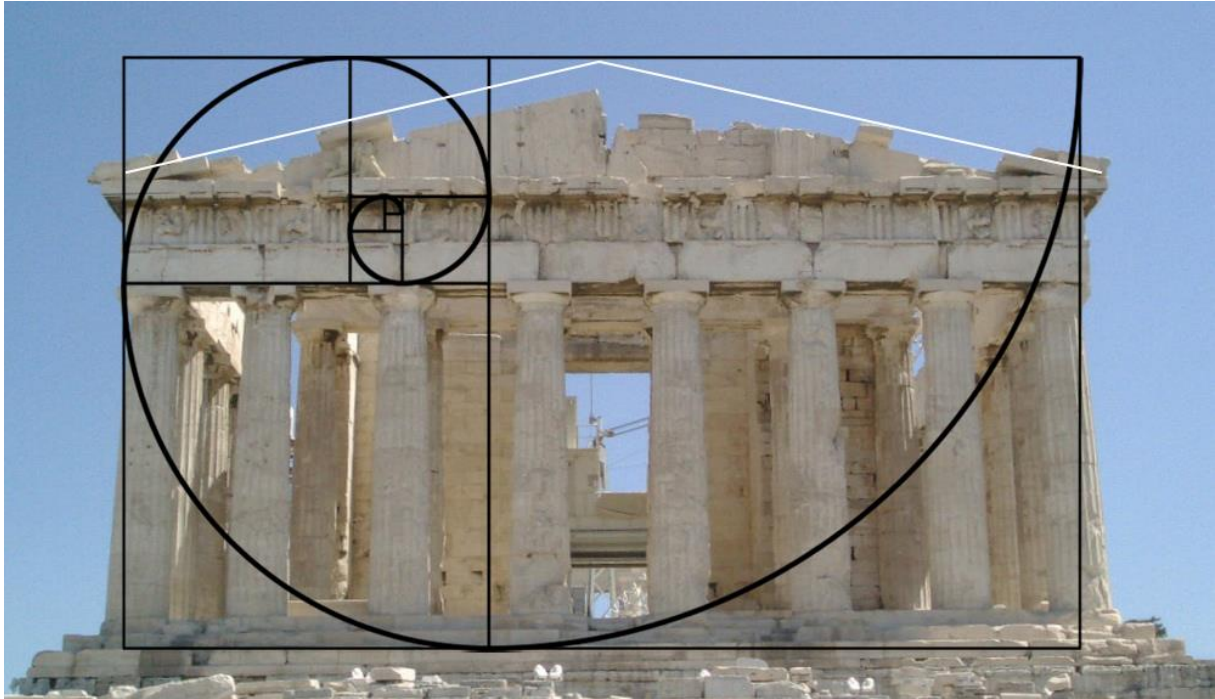
Sl. 13: Rafael, *Atenska škola*

## 4.2. Matematika u arhitekturi

Znanje matematike i geometrije se također primjenjivalo i u arhitekturi. Prvi puta su Egipćani koristili precizne omjere i orijentirali se pomoću Sunca i zvijezda kako bi napravili građevine, npr. piramide. Saznali su kako je geometrijski lik trokut najstabilniji te su i njega češće primjenjivali u arhitekturi. Poznati predmet koji je napravljen uz pomoć zlatnih omjera je Tutankamonova zlatna maska (Sl. 14.). Saznanja o građevinarstvu i matematici usavršili su Grci. Usto su oni bili ti za koje se smatra da su otkrili zlatni rez. Uz pomoć njega građevine su napravljene kako bi stajale stabilno i kako bi prikazali tu proporcionalnost i simetričnost koja je zadovoljavala njihovu religiju. Primjer takve građevine je Partenon (sl. 15.). Može se vidjeti kako je taj hram napravljen uz dosta veliku preciznost i izračune. Lijepo se uklapa u zlatni pravokutnik. Ako bi se uzele mjere iz različitih ukrasa iznad stropova, zlatni omjer se stalno pojavljuje. Ostali primjeri zlatnog reza mogu se još pronaći kod Keopsove piramide u Gizi, kod piramida Inka i Maya, japanskim pagodama te čak u Stonehengeu.



Sl. 14: Tutankamonova zlatna maska



Sl. 15: Partenon

#### **4.3. Matematika u kiparstvu**

Matematika se također primjenjivala i u kiparstvu. U antičkim civilizacijama poput Sumerana i Egipćana skulpture su se radile bez ikakvih proporcija. Na čovjeka se nije obaziralo jer su skulpture imale religijski značaj. Kasnije u Grčkoj čovjeku se više posvećuje pozornost. Grci su savršeno prikazali omjere i proporcionalnosti čovjekovog tijela. Ustanovili su da čovjekovo tijelo čini sedam njegovih glava. Kasnije u renesansi pojavio se i pokret humanizma gdje je čovjek bio u središtu pozornosti i više pažnje se na njega posvećivalo.

#### **5. MATEMATIKA U TEKSTILNOM I MODNOM DIZAJNU**

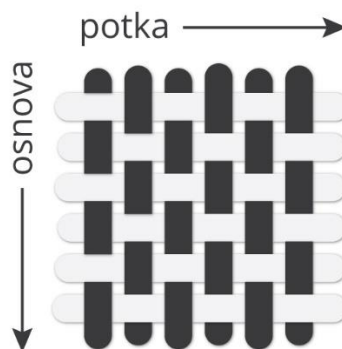
Matematika koja se koristi u tekstilnoj industriji zove se tekstilna matematika. Koncepti koji se koriste u tom dijelu matematike su teorija brojeva, algebra, geometrija, aritmetički niz i sl. [9] Proračune koje radi tekstilni tehnolog uglavnom su jednostavnije prirode i ne zahtijevaju kompleksnu matematiku. S druge strane, znanstvenici u tekstilnoj industriji moraju koristiti nešto kompleksniju matematiku. Ta činjenica je veoma važna tokom izvođenja eksperimenata ili mjerenja jer rješenja koja ponude za određen problem moraju biti precizna i točna. [10]

Jedan od jednostavnijih primjera korištenja matematičkih obrazaca u tekstilu su tkanine koje mogu biti izrađene od različitih vrsta vezova.

## 5.1. Tkanina

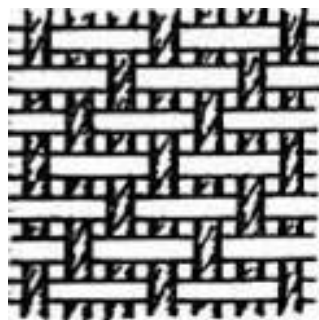
Tkanina se definira kao tekstilni plošni proizvod koji se dobiva tkanjem. Sastoji se od dva sustava niti koji se međusobno isprepliću pod pravim kutom. Uzdužni sustav niti naziva se osnova, a poprečni potka. Pojedinačne niti osnove i potke međusobno se križaju (povezuju) po određenim pravilima što se postiže procesom tkanja na tkalačkom stanu. Gornja strana tkanine naziva se lice, a donja strana naličje tkanine. Vrsta i način povezivanja osnovinih i potkinih niti tijekom tkanja naziva se vez tkanine. Postoji veliki broj mogućnosti međusobnog povezivanja osnovinih i potkinih niti u tkanju tj. veliki broj vezova tkanina. Međutim, svi se oni izvode iz tri temeljna veza: platno vez, keper vez i atlas vez. [11]

Kod tkanine u platno vezu niti osnove i potke naizmjenično se izmjenjuju na način da potkina nit prolazi naizmjenice iznad jedne, pa zatim ispod druge niti osnove. (Sl. 16)



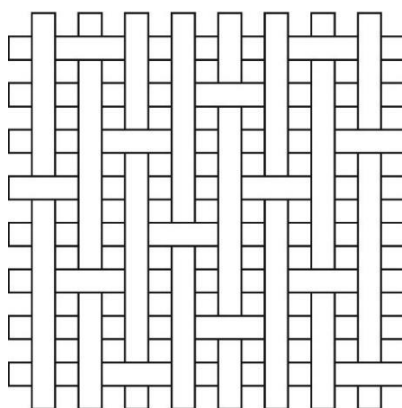
Sl. 16: Platno vez

Keperni vez je prepoznatljiv po svojem kosom položaju, tj. rebrastim prugama. Nit potke u jednom redu prvo prolazi ispod jedne niti osnove pa zatim iznad dvije do tri te tako do kraja reda. U sljedećem redu postupak je isti s time da se nit potke pomiče za jednu nit osnove ulijevo ili udesno. (Sl. 17)



Sl. 17: Keper vez

Kod tkanina u atlas vezu nit osnove povezuje svaku petu potku, što znači da u jednom redu prolazi iznad najmanje četiri potkine niti, zatim ispod jedne, pa ponovno iznad četiri niti potke itd. (Sl. 18)



Sl. 18: Atlas vez

Brojenje niti izračunava se dvama sustavima: sustav direktnog brojanja i sustav indirektnog brojanja.

Sustav direktnog brojanja izračunava se sljedećom formulom:

$$N = \frac{W \cdot l}{w \cdot L}$$

N - označava broj pređe

W - označava težinu uzorka

l - označava jediničnu duljinu sustava

w - označava jediničnu težinu sustava

L - označava duljinu uzorka

Što je rezultat veći, to je pređa grublja. Taj sustav koristi se većinom kod jute, sintetičkih vlakna i svile. [12]

Sustav indirektnog brojanja izražava se formulom:

$$N = \frac{w \cdot L}{W \cdot l}$$

Kod izračunavanja ove formule, ako je veći rezultat, onda je pređa finija. Ovaj sustav koristi se za lan, pamučna vlakna i sl. [12]

U proizvodnom procesu veoma teško će se naći dva ista artikla zbog toga što, npr. pređa nije konzistentna cijelo vrijeme tokom svoje izrade. Varira u čvrstoći, ravnomjernosti, duljini i ostalim varijablama. Vlakna se razlikuju unutar jedne bale, bale se razlikuju među sobom, a naravno, i vremenski uvjeti igraju veliku ulogu u građi vlakna. Kvaliteta proizvoda u svakom stadiju varira ovisno o korištenoj sirovini, kvaliteti strojeva za obradu i ljudskom faktorom. Svi ti faktori mogu izazvati probleme u nastanku konačnog proizvoda pa da bi se smanjili ti učinci, može se pomoću matematike doći do optimalnog rješenja kojim bi svaka od tih varijabli imala najmanji mogući utjecaj na gotovi proizvod. [10]

Statistika je važan dio u tekstilnoj matematici. I. Gusić definira statistiku kao „matematičku disciplinu koja primjenjuje teoriju vjerojatnosti u problemima obrade podataka (dobivenih eksperimentima u različitim područjima, poput fizike, kemije, biologije, medicine, psihologije, književnosti itd.); provjerava (prihvaća ili odbacuje) hipoteze, procjenjuje pogreške itd." [2] Znanstvenici tako mogu provesti ispitivanje otpornosti između dva uzorka proizvoda sa različitim strojeva radi poboljšanja kvalitete i performansa.

U tekstilnoj industriji koriste se i vektori. Oni pomažu u izračunavanju brzine namotaja i kuta pod kojim će se poprečnim putem pređa namotati, tijekom raznih analiza gdje je važno kolika sila djeluje na neki uzorak, za izračunavanje lomnog opterećenja ili za izračunavanje sile koja djeluje na naslon tkalačkog stana uslijed napetosti osnovne. [10]

Matrice se upotrebljavaju kako bi se dobili potrebni podaci o različitim sastavima npr. bojila, te njihovom intenzitetu, koncentraciji i cijeni. Zajedno s maticama koriste se i faktoriijeli koji u ovom primjeru mogu dati podatak koliko kombinacija može odgovarati određenoj nijansi te koje su od njih ekonomične. [10]



## 5.2. Čilim

Čilim (Sl. 19) je tekstilni proizvod koji služi kao prostirač, prekrivač ili zastor. Izrađuje se od vune te je izrađen posebnim tehnikama tkanja. Uzla se tvorbom perzijskoga ili turskoga čvora. Razvoj čilimarstva dospio je do proizvodnje čilima i sagova za molitvu ili za ukrašavanje palače. Velik broj se uglavnom pojavljivao u džamijama, crkvama i bogatim kućama. Najpoznatiji turski čilimi su *karamani* i *smirna*. Na njima su uglavnom prikazani floralni i geometrijski motivi gdje prevladavaju plava, crvena, žuta, zelena i bijela boja. Na njihovim krajevima mogu se nalaziti i resice. [13]



Sl. 19: Čilim

## 5.3. Korištenje matematike u modnom dizajnu

U svakom aspektu dizajna nužno je korištenje matematike pa tako i u modnom. Kod konstrukcije modela nekog odjevnog predmeta važno je točno izračunati tjelesne mjere koje se prilagođavaju modelu. Svaka konstrukcijska mjera koristi određene matematičke formule. Problem koji je prisutan u tom području je precizna dvodimenzijaska izrada konstrukcije krojnih dijelova koji na kraju trebaju dati trodimenzijski odjevni predmet. Matematika se također koristi za izračunavanje dobiti. Za svaki odjevni predmet potrebno je izračunati iznos potrebnog materijala te tako odrediti njegovu cijenu. [12]

## 6. OP-ART

### 6.1. Povijesni kontekst

Nakon Drugog svjetskog rata Velika Britanija i druge europske zemlje doživjele su postupni pad i slabljenje, dok je ratna industrija potaknula potpuni procvat američkog gospodarstva te tako izvukla Ameriku iz depresije koja ju je zadesila tridesetih godina 20. stoljeća. Najveći rast gospodarstva dogodio se tijekom pedesetih. Cravetto u svojoj knjizi opisuje pedesete godine 20. stoljeća sljedećim riječima: "'Mirne pedesete godine' često su označene kao razdoblje naglašenog društvenog koncenzusa, zahvaljujući brzom gospodarskom rastu, jakom osjećaju nacionalnog ponosa, širenju potrošnje koja je počela tijekom dvadesetih godina 20. stoljeća, a sad je obuhvatila i etničke socijalne skupine, odnosno one podrijetlom iz zemalja Južne ili Istočne Europe." [14]

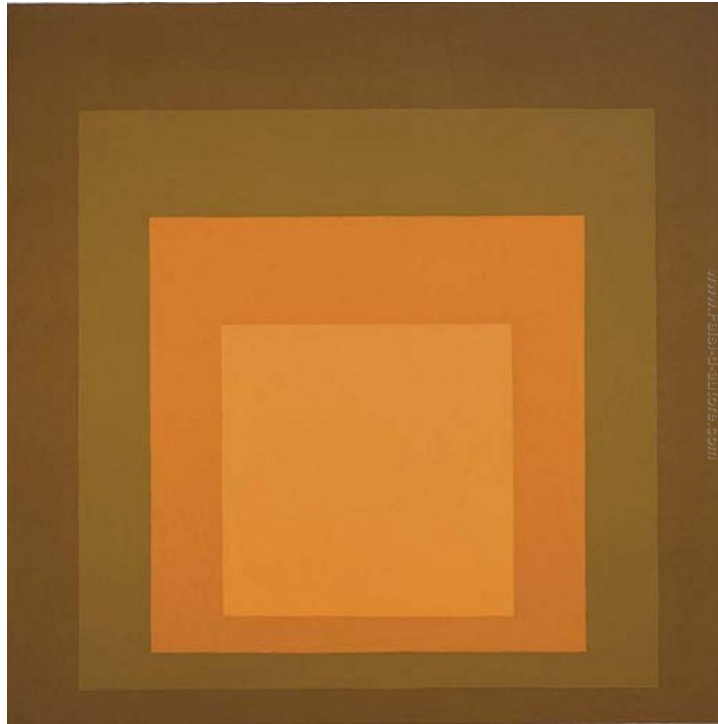
Upravo taj nagli porast gospodarstva omogućio je viši društveni standard i početak masovne potrošnje. Razvoj pogotovo automobilske industrije predstavljao je novu sliku čovjeka kao pojedinca koji teži višim ciljevima i sam svojim radom zaslužan je za financijsku stabilnost. Mladi ljudi su se pritom ugledali na velike zvijezde koje su im davale nove ideje i ideale. Te zvijezde većinom su bile dio filmske industrije (Marlon Brando, James Dean, Marilyn Monroe) ili glazbene (Elvis Presley). Ali iza 'prekrasne' slike Amerike koju je predstavljao Hollywood, nalazi se sasvim druga stvarnost koja je bila obilježena protestima, marševima i pobunama.

Nadalje, dolaskom šezdesetih godina i njezinog zaštitnog lica, tj. Johna F. Kennedyja, kulminirale su pobude i neredi u društvu. Najveća i najutjecajnija pobuna dogodila se 1963. godine. [14] Legendarni marš na Washington uzdrmao je stari način razmišljanja i označio novi koncept društva.

### 6.2. Početak optičke umjetnosti

Temelji op-arta pojavljuju se u predratnom periodu u Njemačkoj. Tada su prve ideje nastajale u dizajnerskoj školi Bauhausa. Kada se škola zatvorila 1933. godine, mnogi učitelji su otišli u Ameriku. Poznati učitelj Josef Albers napravio je poznatu seriju slika „*Počast kvadratu*“ (Sl. 20) koje su sadržavale prve karakteristike op-arta i geometrije. U međuvremenu, 1930-ih godina pojavljuje se jedan od poznatih umjetnika op-arta, Victor Vasarely. Kasnije se također pojavljuje i Bridget Riley. Umjetnost op-arta postala je konačna tek nakon izložbe „*The Responsive Eye*“ koja je održana 1965. godine u njujorškom Muzeju Moderne Umjetnosti (MoMA). [15] Stil op-arta postao je popularan tijekom druge polovice 60-ih godina i inspirirao

je ostale grane dizajna, ponajviše dizajna interijera. Tijekom godina održavalo se još izložbi, a djela najpoznatijih umjetnika op-arta nalaze se u nekoliko muzeja u Americi i Europi.



Sl. 20: Josef Albers, *Počast kvadratu*

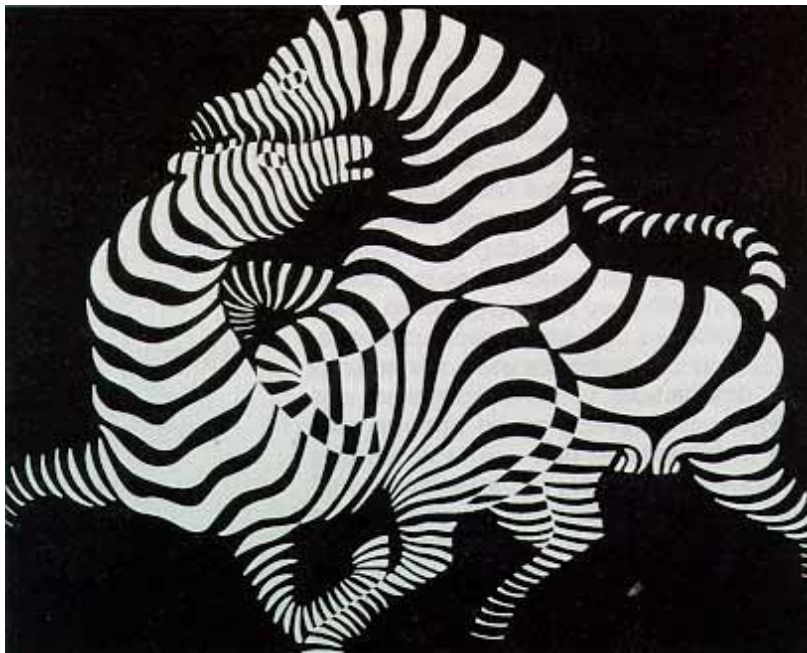
### 6.3. Karakteristike

Op-art je stil apstraktne umjetnosti koja se povezuje s iluzijama i optikom čija je uloga zbuniti ljudski um da stvori sliku o iluziji koja izgleda pokretno i dinamično. Djela op-arta prikazuju percepciju ljudskog uma da stvori optičku iluziju i kazuju pokrete i gibanja, vibracije, trodimenzionalnost, skrivene slike itd. Takva djela uglavnom se oslanjaju na kromatske boje i jednu akromatsku koje se nalaze jedna do druge i tako stvaraju određenu iluziju. Također se baziraju na vrste linija, poteze, podlogu, osvjetljenje, okoliš, prugaste oblike i vrtloge. [16] Djela su uglavnom prikazana u trodimenzionalnom obliku kako bi se promatrač uživao i doživio pravo iskustvo putujući kroz taj iluzionistički svijet. Čovjek se uvijek zanimao za takve alternativne stvari koje ga čine mističnim, znatiželjnim i željnim za daljnja iskustva i promišljanja.

## 6.4. Predstavnic

### 6.4.1. Victor Vasarely

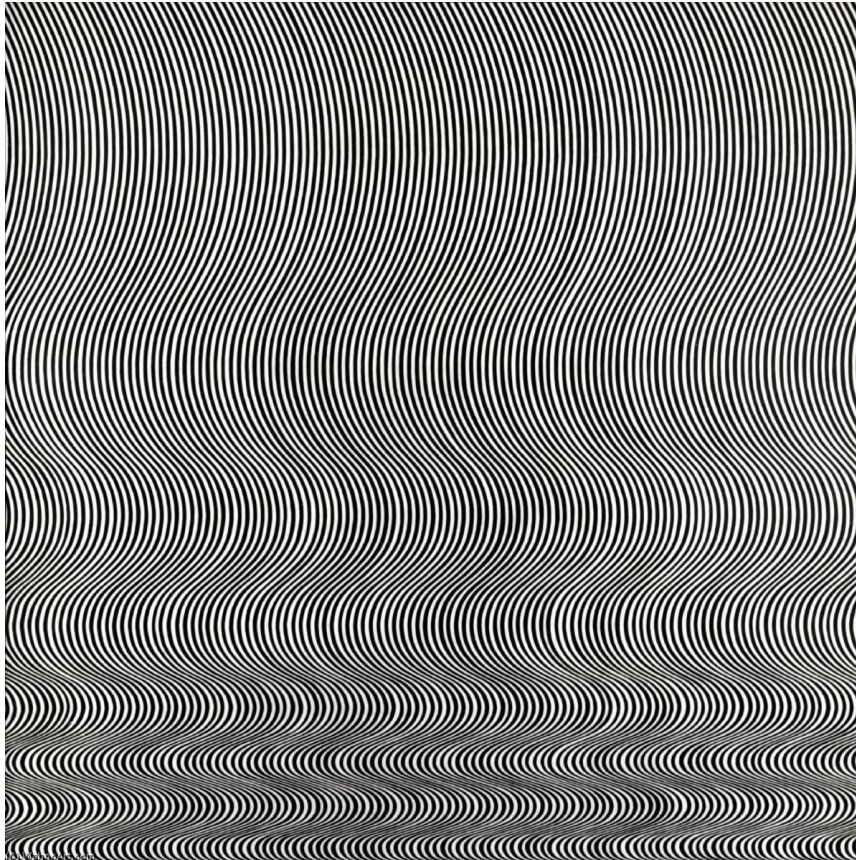
Victor Vasarely rođen je u gradu Pečuhu 1906. godine u današnjoj Mađarskoj. U svojoj mladosti pohađao je akademiju Muhely u Budimpešti, koja je prakticirala načela Bauhauasa, te nakon 1930. godine odlazi u Pariz, tadašnje središte umjetnosti. [17] Nakon njegove prve samostalne izložbe grafika i crteža, Vasarely se posebno posvećuje apstraktnom slikarstvu. Kasnije je pronašao svoj stil, koji će pratiti do kraja života, tzv. optičku umjetnost. Njegova su djela uglavnom temeljena na optičkim iluzijama u kojima su glavni motivi krugovi i mreže. Cilj tih iluzija je da, naravno, zbune čovjeka i njegovu percepciju o vidu te da ga uvedu u svoj udubljeni svijet. Najznačajnije njegovo djelo je *Zebra* (Sl. 21). Kasnije primjenjuje geometrijske oblike koji su u crno-bijeloj boji. 60-ih godina shvatio je da se optičko slikarstvo može najbolje prikazivati u boji, koja ima velik učinak na čovjekovu percepciju vida. Victor Vasarely bio je zaluden geometrijskim oblicima i bojama te ih je primjenjivao u optičkom slikarstvu sve do svoje smrti. Zbog svih svojih poznatih djela i iluzija prozvan je „ocem optičke umjetnosti“.



Sl. 21: Victor Vasarely, *Zebra*, 1937.

### 6.4.2. Bridget Riley

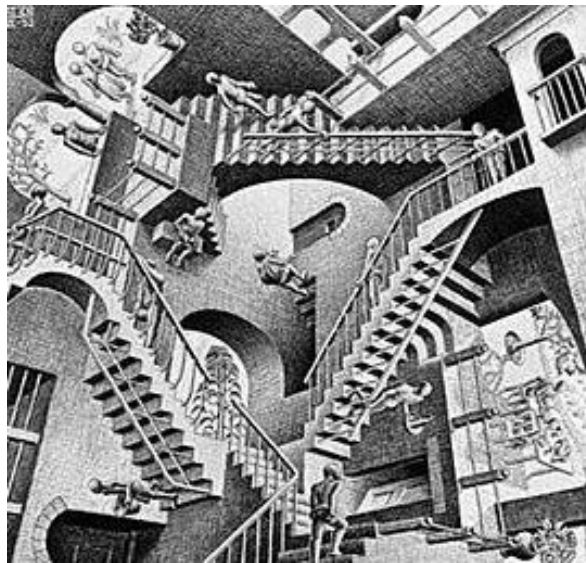
Sljedeća istaknuta predstavница op-arta je Bridget Riley. Poznata britanska umjetnica rođena je 1931. u Norwoodu u Londonu. Svoje djetinjstvo provela je u Cornwallu i Lincolnshireu. U svojoj mladosti slikala je krajobrazne dok nije otkrila svoj novi stil gdje se primjenjuju dinamični pokreti koji se pretvaraju u iluziju. Svoje prve radove slikala je u crno-bijeloj tehnici koristeći se geometrijskim oblicima. U svojim je djelima također koristila i tonove sive boje. Dobila je mnogo nagrada, ali najveću slavu postigla je na izložbi *The Responsive Eye*. [18] Kasnije je i ona koristila boju u svojim djelima. Nakon nekog vremena u svoje iluzije primijenila je ravne i valovite crte. Takvi njezini radovi inspirirani su njezinim promatranjem prirode i različitih pojava. Po takvim je djelima ona postala najpoznatija.



Sl. 22 Bridget Riley, *Fall*, 1963.

### 6.4.3. Maurtis Cornelis Escher

M. C. Escher je jedan od najpoznatijih grafičkih umjetnika. Rođen je 1898. godine u Leeuwardenu. Nakon pet godina njegova obitelj seli se u Arnhem gdje je proživio svoje djetinjstvo. Želio je studirati grafičku umjetnost uz potporu svojeg učitelja Samuela Jesseruna de Mesquite. Nakon školovanja Escher putuje Italijom. Tijekom svog života napravio je 448 litografa i drvoreza. [19] Kao grafički umjetnik, ilustrirao je knjige, dizajnirao tepihe i novčanice, zidne slike i intarzijske pločice. Njegove najpoznatije slike su *Relativnost* (Sl. 23) iz 1953. i *Vodopad* (Sl. 24) iz 1961. godine.



Sl. 23: M.C. Escher, *Relativnost*, 1953.



Sl. 24: M.C. Escher, *Vodopad*, 1961.

## 6.5. Op-art u tekstilnom i modnom dizajnu

Nakon poznate izložbe „*The Responsive Eye*“ u New Yorku 1965. godine, uzorci optičkih iluzija koristili su se u svim područjima ljudskog života. Motivi su se pojavljivali u arhitekturi, inženjerstvu, dizajnu, interijeru, tkaninama pa tako i na kraju na modnim revijama. Op-art su u modu također uveli i poznati modni kreatori poput Alexandera McQueena, Louisa Vuittona, Valentina i Jeana Paula Gaultiera. Modna revija Alexandera McQueena pod nazivom *The Horn of Plenty*, Jesen/Zima 09 (Sl. 25) poznata je po tome što je dizajner koristio smeće i 'pretvorio ga u blago' kako bi prenio poruku svijetu da je ono ponovo upotrebljivo i moguće za recikliranje te da se tada od njega može stvoriti nešto korisno. [20] Također u svojim kreacijama upotrijebio je i motive op-arta. Modna revija Jeana Paula Gaultiera *Haute Couture*, *Proljeće/Ljeto 18* (Sl. 26) bila je inspirirana filmom Williama Kleina iz 1966. godine pod nazivom *Tko si ti, Polly Maggoo?* Korišteni su motivi i kreacije op-arta koje su se pojavljivale u filmu. [20]



Sl. 25: Alexander McQueen: *The Horn of Plenty*, Jesen/Zima 09



Sl. 26: Jean Paul Gaultier: *Haute Couture*, *Proljeće/Ljeto 18*

## 7. MATEMATIKA U OP-ARTU

Matematika je oduvijek bila znanost koja je pomagala ljudima u rješavanju njihovih svakodnevnih problema kao što je izrada kuća, hramova, crkvi i sl., ali ona se može također pokazati korisnom i u umjetnosti op-arta. Umjetnikova fascinacija matematičkim elementima nadilazi granice same umjetnosti kao grane koja je po svojoj prirodi subjektivna. Spajanjem likovnih elemenata kao što su kontrast (crno-bijela), komplementarni kontrast boja (crvena-zelena, ljubičasta-žuta i plava-narančasta), repeticija, ritam, gradacija i sl. zajedno sa zakonima matematike tvore jedan novi dosad neviđeni stil koji pobuđuje sva čovjekova osjetila, ponajviše vid. Grana matematike koja se najviše koristi u tom umjetničkom pravcu je geometrija. Prvo što se zamjećuje na slikama op-art umjetnika je korištenje geometrijskih likova jer se njihovom gradacijom može stvoriti dojam dubine tj. trodimenzionalnosti. Primjeri umjetnika koji su najviše primjenjivali matematiku u svojim djelima su M. C. Escher i Victor Vasarely.

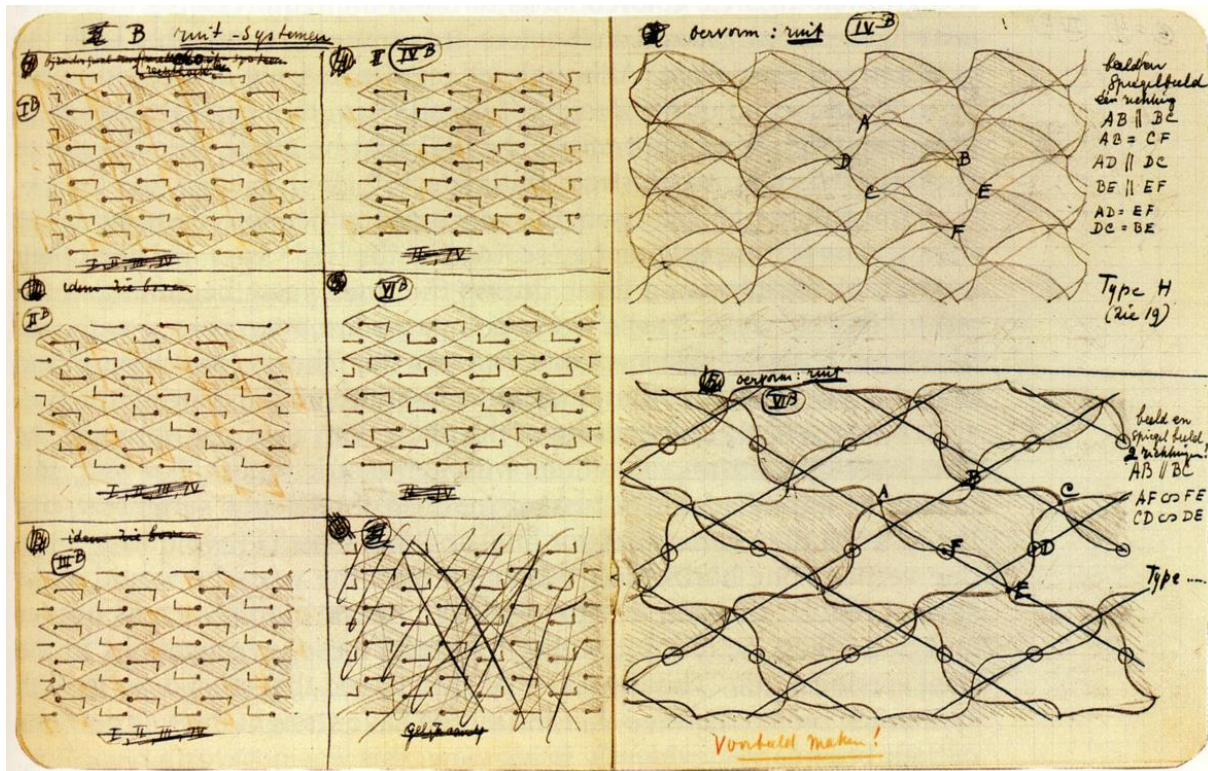
### 7. 1. Kako je M. C. Escher koristio matematiku?

Najpoznatiji element tog umjetnika su teselacije (popločavanja), raspoređi zatvorenih oblika koji prekrivaju cijelu ravninu i ne ostavljaju nikakve praznine. Oblici koji čine teselacije su poligoni i slični oblici, kao što su pločice koje se koriste na podovima. Escher je bio fasciniran pravilnom i nepravilnom teselacijom te je uživao u metamorfozama. U metamorfozama oblici se mijenjaju i međusobno sudjeluju te se čak i oslobađaju iste ravnine. Njegova zainteresiranost za teselacije počela je 1936. godine kad je putovao u Španjolsku i gledao uzorke pločica u palači Alhambri. [21] U svojim teselacijama koristio je motive poput guštera, ptica ili izobličeni ljudi, te time svojim radovima dao ljudsku i prirodnu dimenziju.

Tijekom svog istraživanja pronalazaženja pravilne podjele ravnine na asimetrične sukladne poligone, pronašao je dva sustava koji to zadovoljavaju, a to su sistem četverokuta i sistem trokuta. Escher je sustav četverokuta prikazao s mrežom sukladnih paralelograma. Osjenčao je rešetke u šahovskom stilu tako da svaki paralelogram dijeli bridove samo s paralelogramima suprotne boje. Kako je fokusiran na asimetriju, u središte paralelograma stavio je točku koja je omogućila orijentaciju, dok su mali krugovi i kvadrati na rubu pločice označavali dvostruka i četverostruka središta oko kojih se pločica mogla rotirati u susjednu pločicu. Escher je bio svjestan da određene simetrije zahtijevaju posebne paralelogramske mreže i stoga je razmatrao pet različitih kategorija: proizvoljni paralelogram, romb, pravokutnik, kvadrat i jednakokrani pravokutni trokut (mreža kvadrata u kojoj su ucrtane dijagonale). [22]



Sistem trokuta ima pravilne podjele koje imaju rotacijske centre od  $120^\circ$  ili  $60^\circ$ ,  $120^\circ$  i  $180^\circ$  rotacijske centre. Nakon što je objasnio potrebno postavljanje središta rotacije, bilježi samo dvadesetak različitih popločavanja, nekoliko s dva motiva, a sve su pažljivo obojene kako bi se poštivala simetrija. Većina zahtijeva tri boje. [22]



Sl. 27 Stranica bilježnice koja prikazuje Escherovu metodu istraživanja pravilnih podjela ravnine

Osim dvodimenzionalnog svijeta, Escher je stupio i u svijet trodimenzionalnosti. Zanimali su ga poliedri. Koristio je pet vrsta poliedara koji su zapravo poznatiji pod nazivom Platonova tijela, a to su kocka, tetraedar, oktaedar, dodekaedar i ikosaedar. [23]

Nakon što je stupio u kontakt s pravim matematičarima, njegovi radovi postali su sve sofisticiraniji i zanimljiviji. Bio je fasciniran radovima Rogera Penrosea, koji je stvorio nemogući torkut, i Mobiusovom trakom. Ono što je zanimljivo kod optičkih iluzija je to da nam ukazuju da svijet nije onakav kakvog ga mi ponekad doživljavamo. Naš mozak stvara pretpostavke onoga što vidi, iako je realnost sasvim drugačija. Escher svojim radovima 'trenira' naš mozak i postavljamo si pitanja poput: "Što to ja uopće gledam?, Što ja vidim tu?" S tim pitanjima u glavi, Escher je stvorio neka od svojim najpoznatijih djela koja su veoma uvjerljiva, ali prkose logici.



Sl.28: M.C. Escher, *Gmazovi*,  
litografija, 1943.

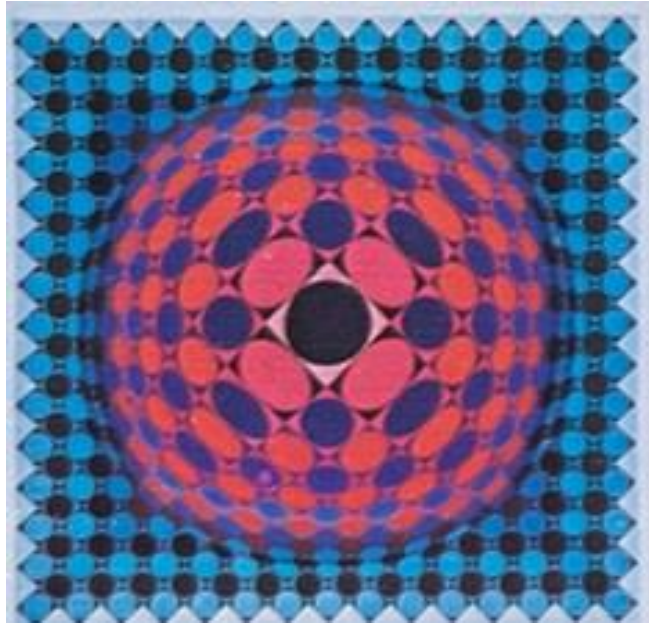


Sl.29: M.C. Escher, *Pločice u Alhambri*,  
crtež, 1936.

## 7. 2. Kako je Vasarely koristio matematiku?

Victor Vasarely bio je pod utjecajem Mondrianovih djela i proučavao je boje, percepciju i iluziju. Na primjer, u *Vega-Šahu* (Sl.30) stvorio je optičku iluziju tako da je stalno ponavljao isti motiv tj. krug te ga alternirao. Njegov trodimenzionalni rad temelji se na komplementarnim bojama koje pospješuju privid ispupčenja. Zbog svoje četverostruke rotacijske simetrije, ta se slika može objesiti na zid na bilo koji način, ali ona će i dalje biti jednaka. U svojim djelima koristio je samo geometrijske likove poput kvadrata, kruga, elipse, trokuta i dr. Upravo ti jednostavni poligoni u svojim alternacijama ili repeticiji stvaraju u čovjeku čuđenje koje ga inspirira i propitkuje sam svoje granice.

Vasarelyjev najdraži motiv bila je Koffkina kocka. Nazvana je prema gestalt psihologu K. Koffki. Posebnost te kocke leži u tome što ona tvori dvije različite slike: jednu konveksnu, a drugu konkavnu, tj. jedna slika doima se kao da gledamo u jedan rub kocke, dok druga izgleda kao da gledamo u kut neke sobe. Tu iluziju dobivamo samo ako kocku gledamo točno u smjeru glavne dijagonale. U tom slučaju, parovi bridova se podudaraju te se dobiva pravilan šesterokut.



Sl. 30: Victor Vasarely, *Vega-Šah*, 1968.-1969.



Sl. 31: Victor Vasarely, *Optical Cube*

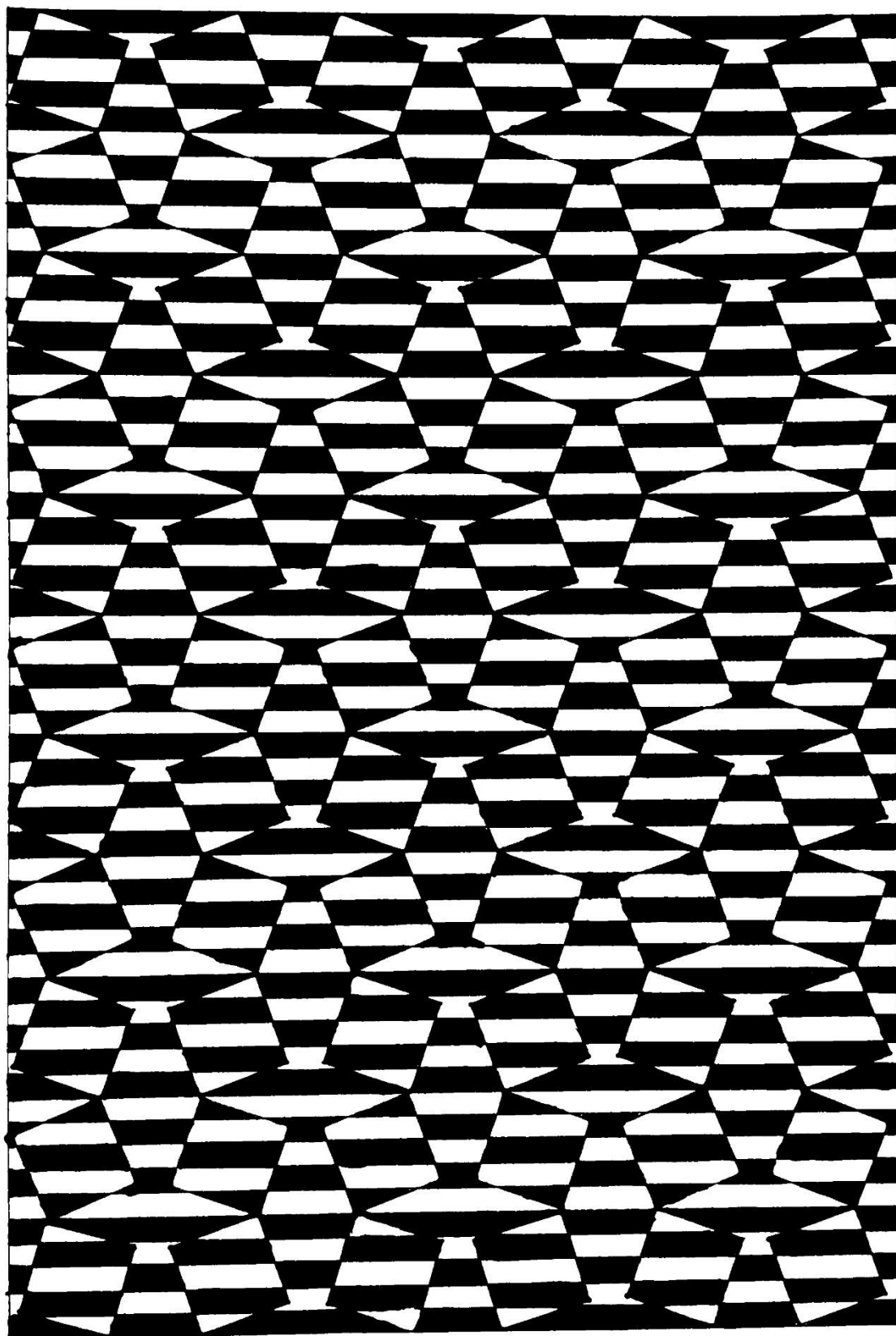
## **8. ANALIZA KOLEKCIJE**

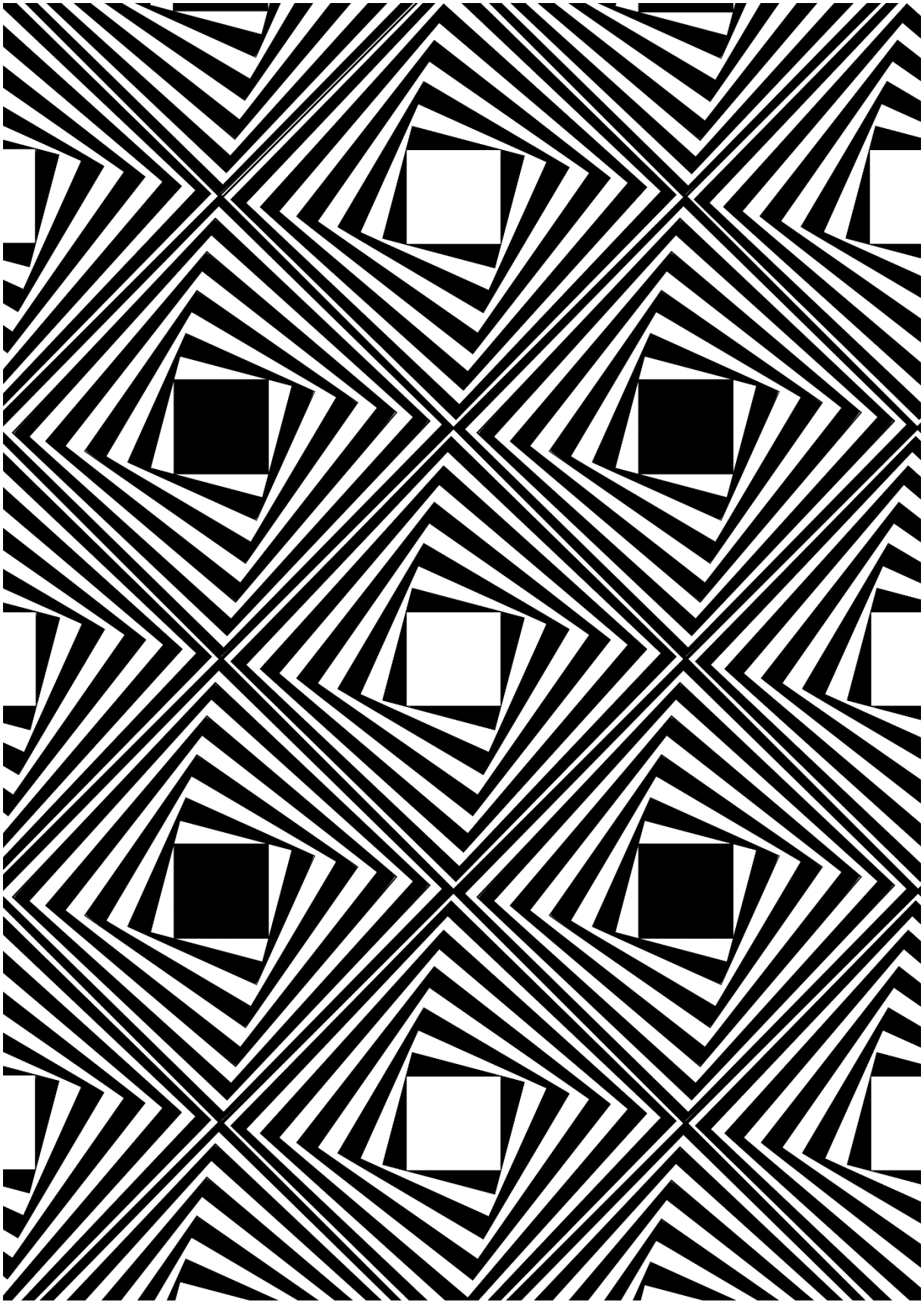
Glavna inspiracija kod izrade kolekcije bio je taj snažan kontrast bijele i crne (ne)boje. Geometrijski likovi kao što su krug, trokut, kvadrat i dr. korišteni su zajedno s elementom repeticije i interferencije između istovrsnih likova te teselacije. Upravo kaj kontrast privlači čovjekovu pozornost te zajedno s elementom optičke iluzije stvara se prostor koji ga produbljuje i uvlači u sebe. Crna i bijela dovode do čovjekove nesigurnosti u tom prostoru gdje crna, na neki način, predstavlja mržnju, mrak i zlo, dok bijela prikazuje svjetlo, nadu i mir. Na taj način one nam stvaraju pomutnju i zbunjenost. Ljudi žive u svijetu koji su sami stvorili, ali se ipak osjećaju kao da njemu ne pripadaju.

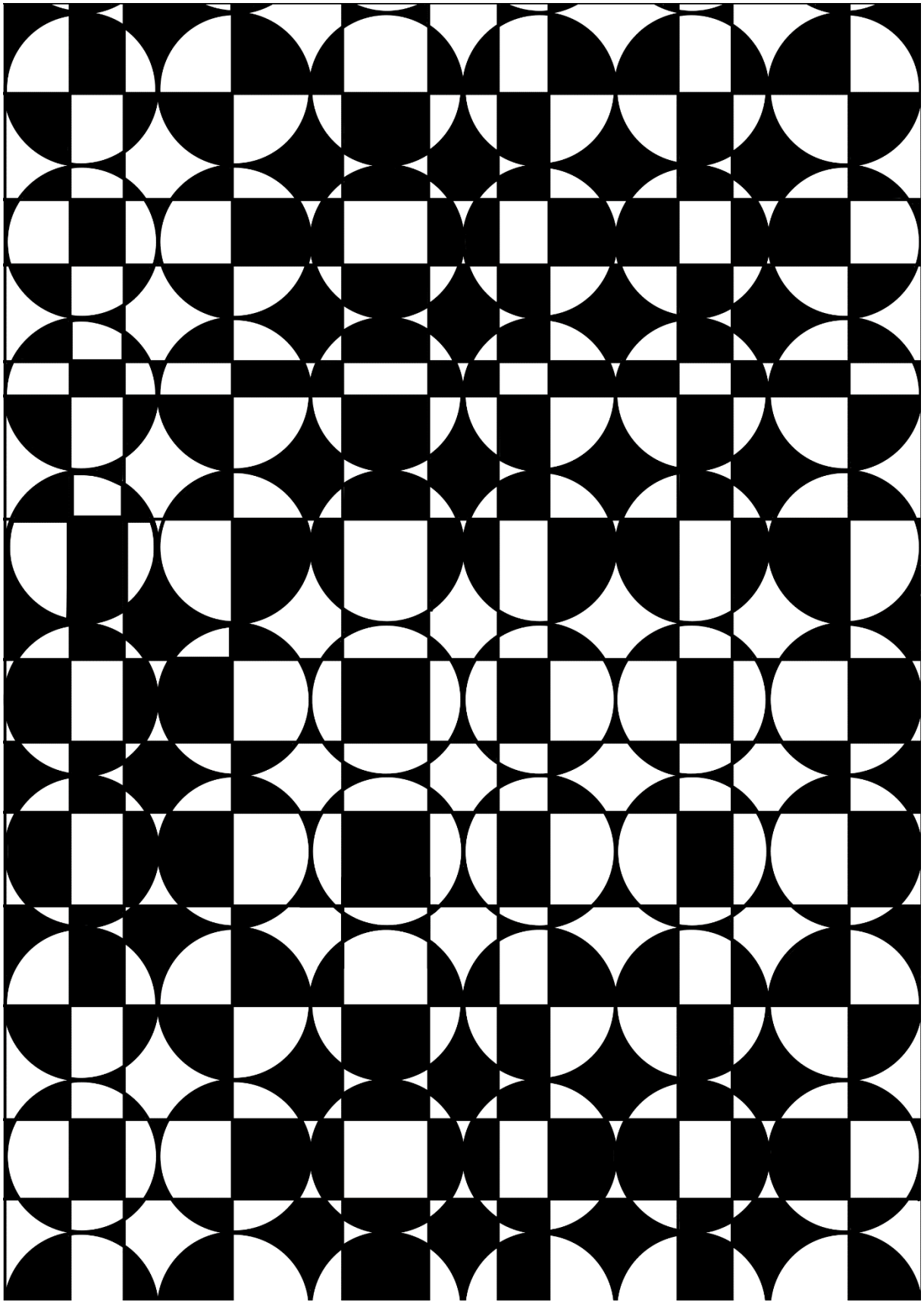
Radovi su obrađeni u programima Inkscape i GIMP.

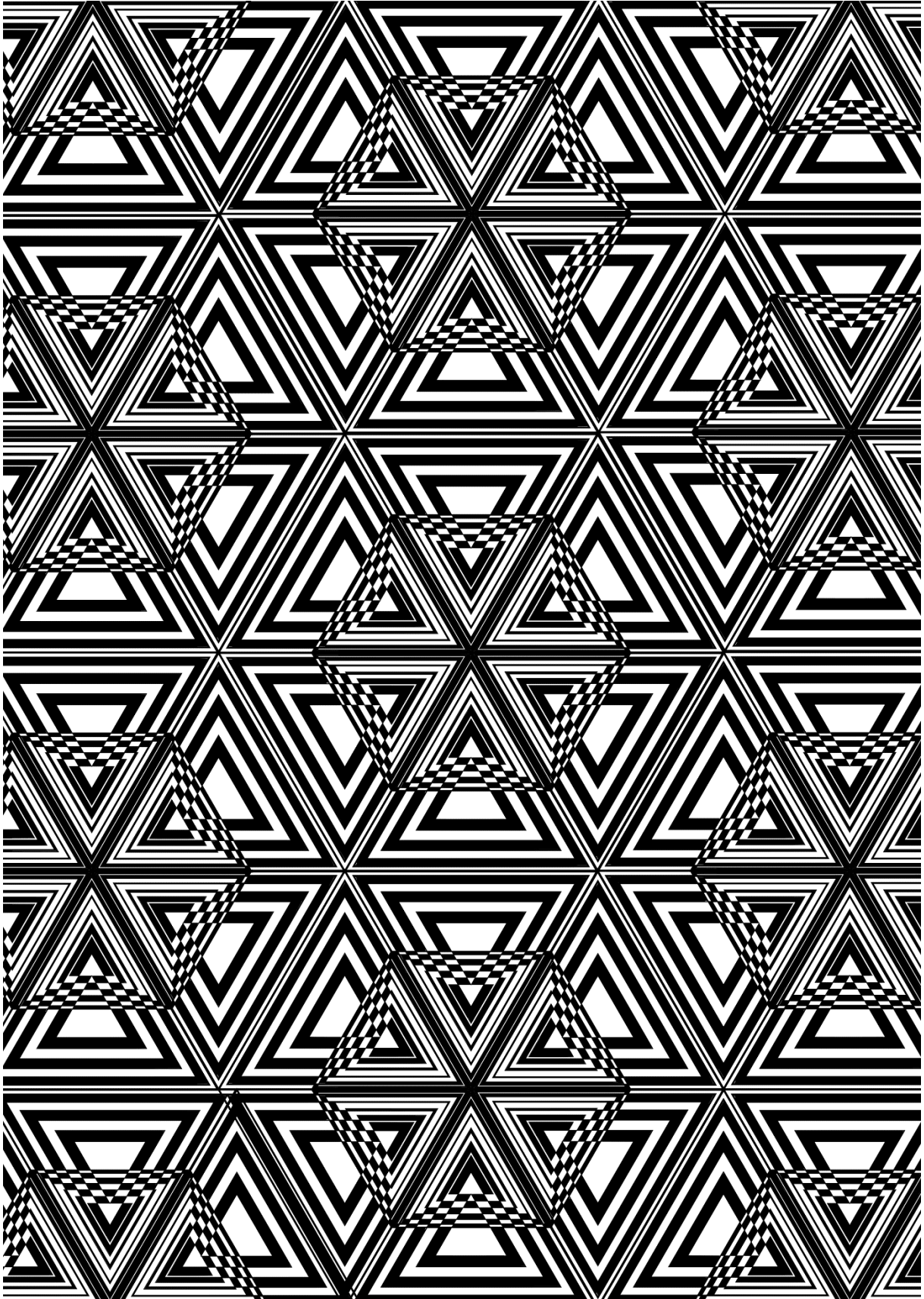
## 9. LIKOVNA MAPA

### 9.1. Kolekcija tekstila

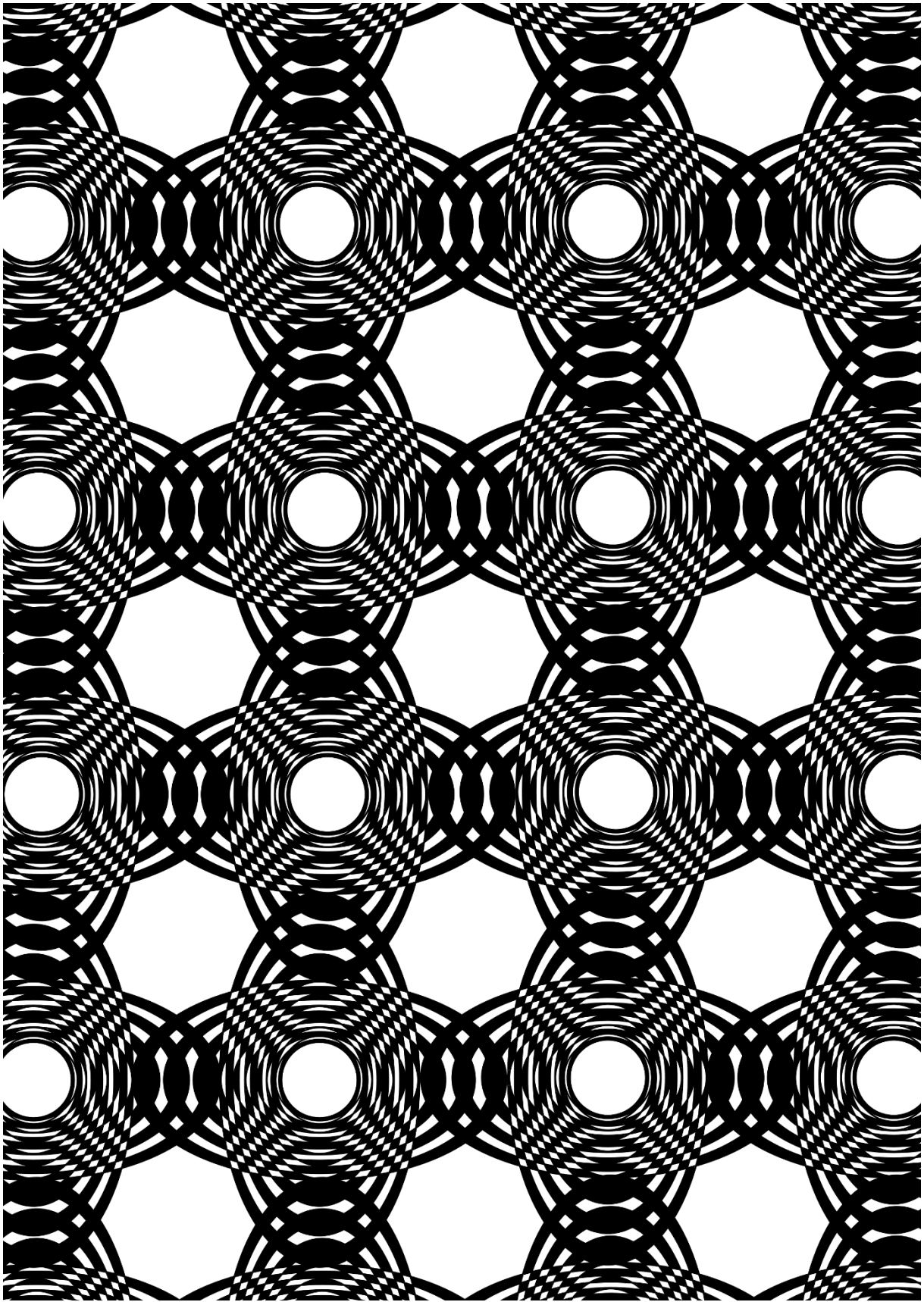


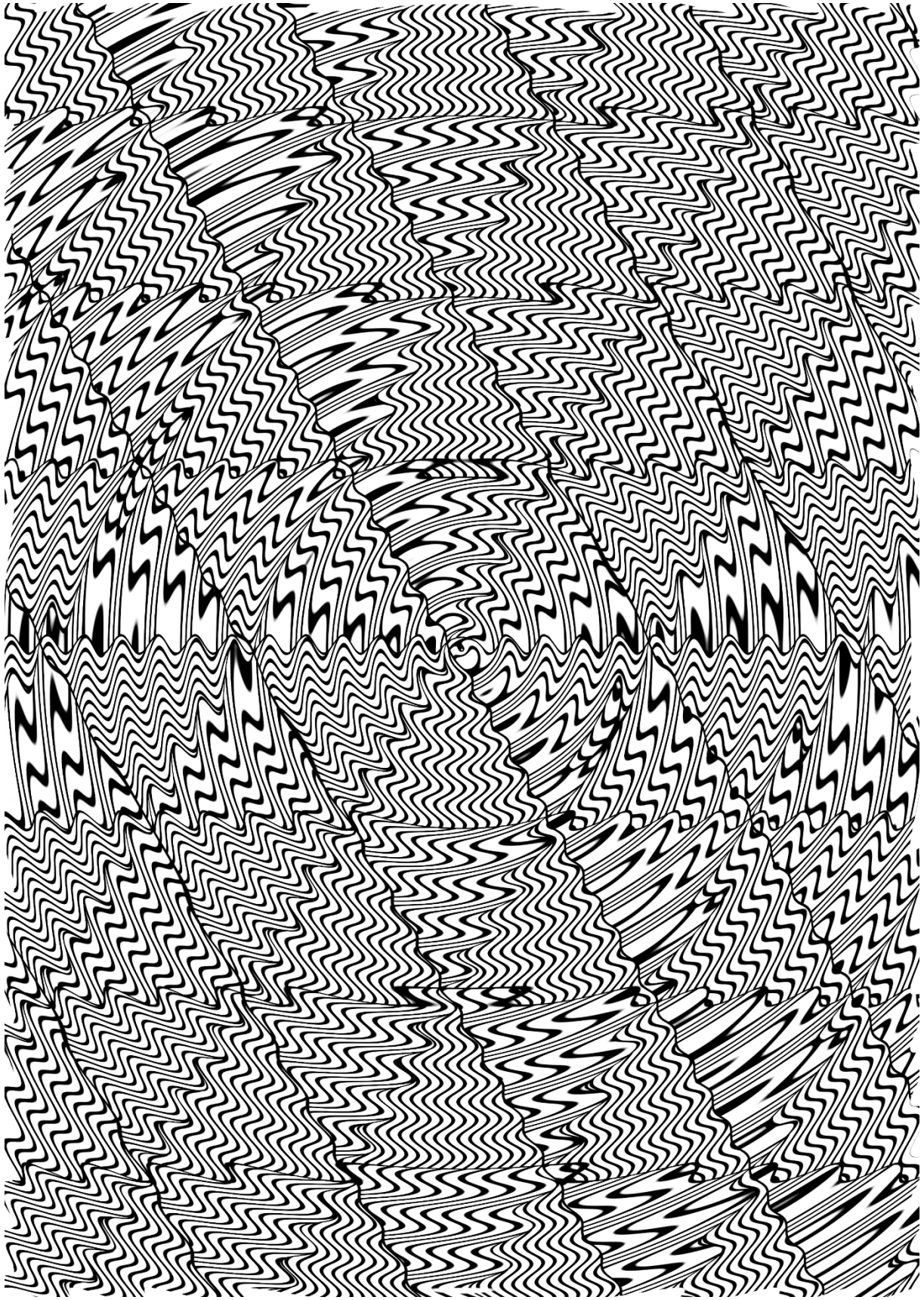


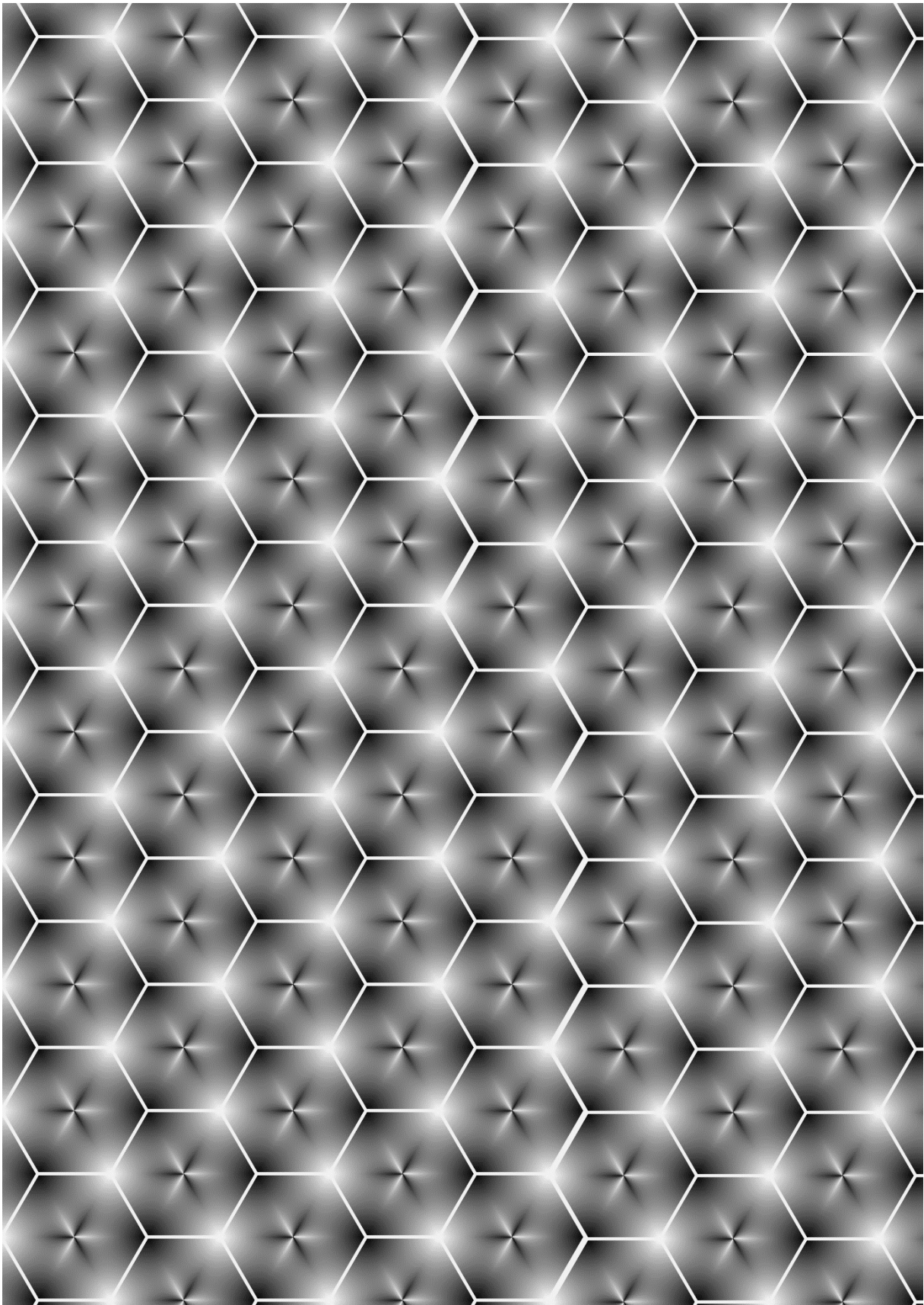


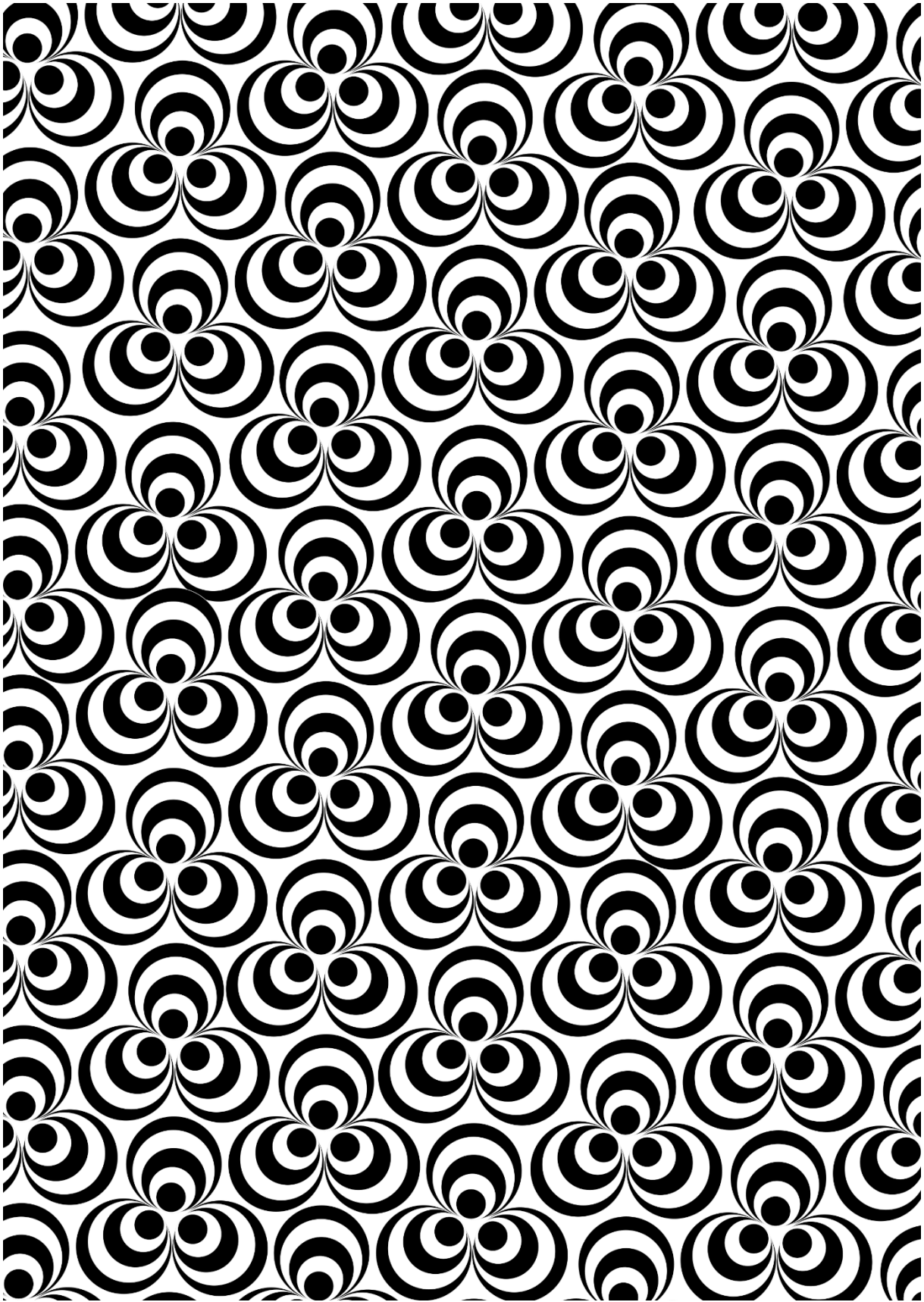


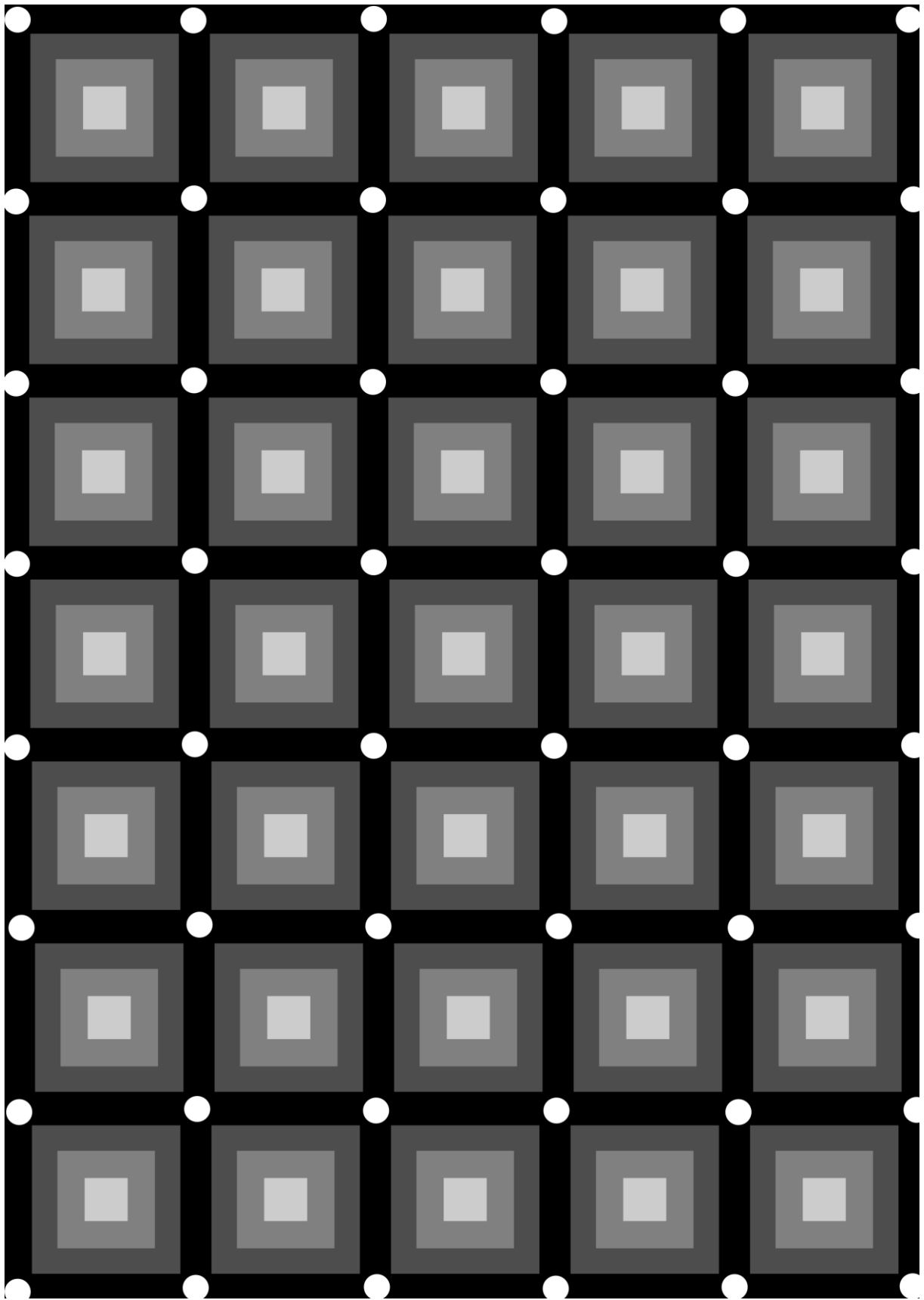


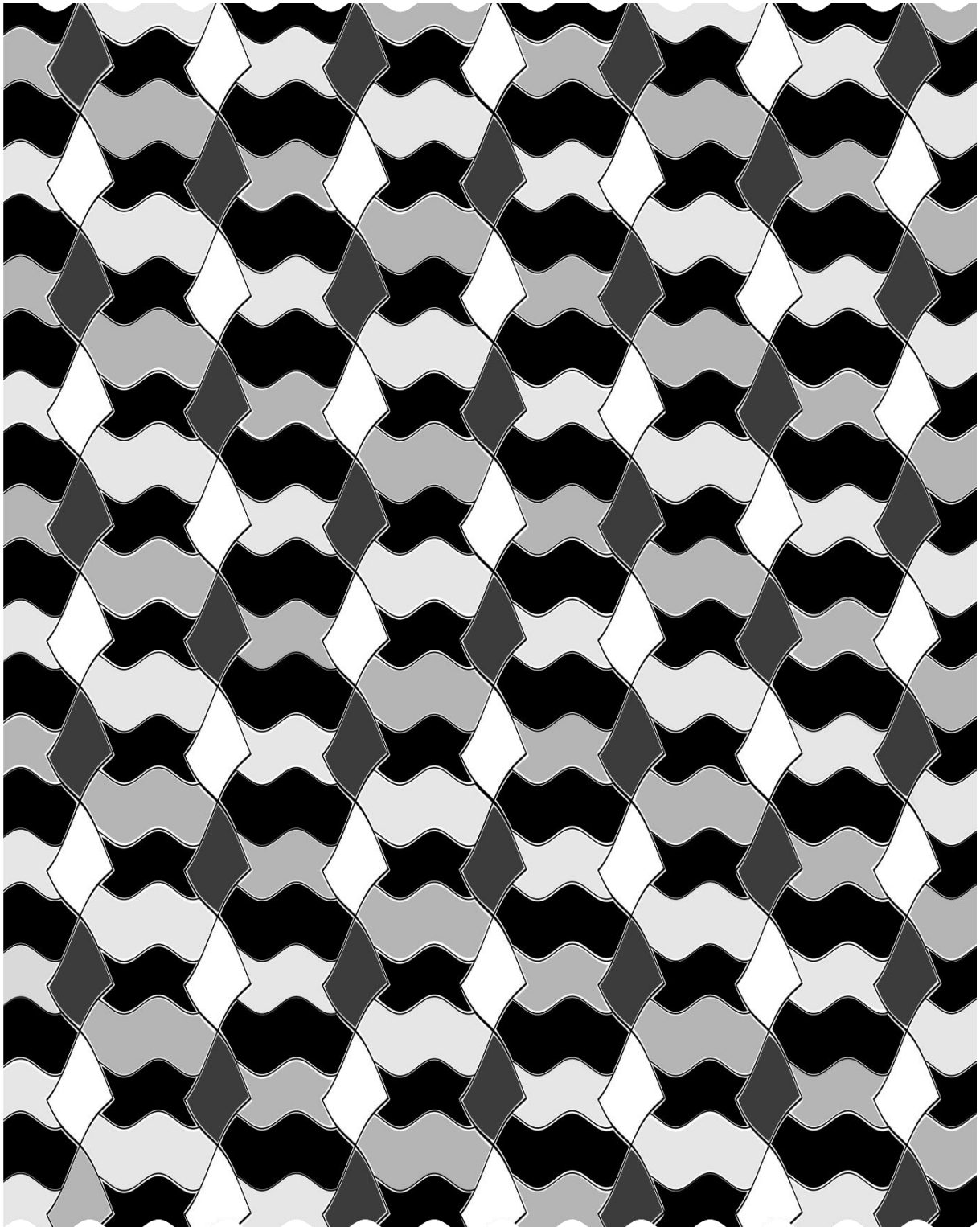








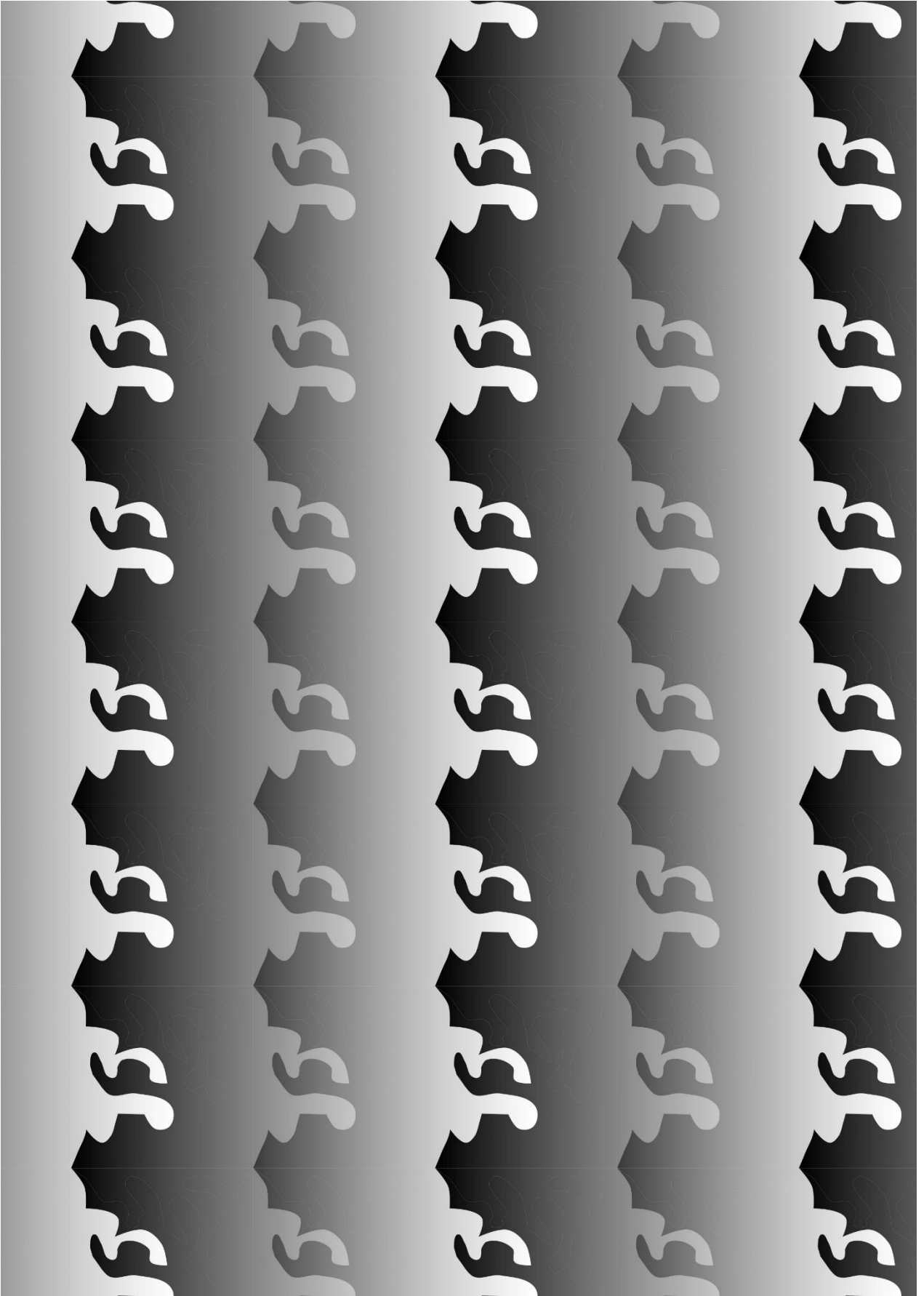




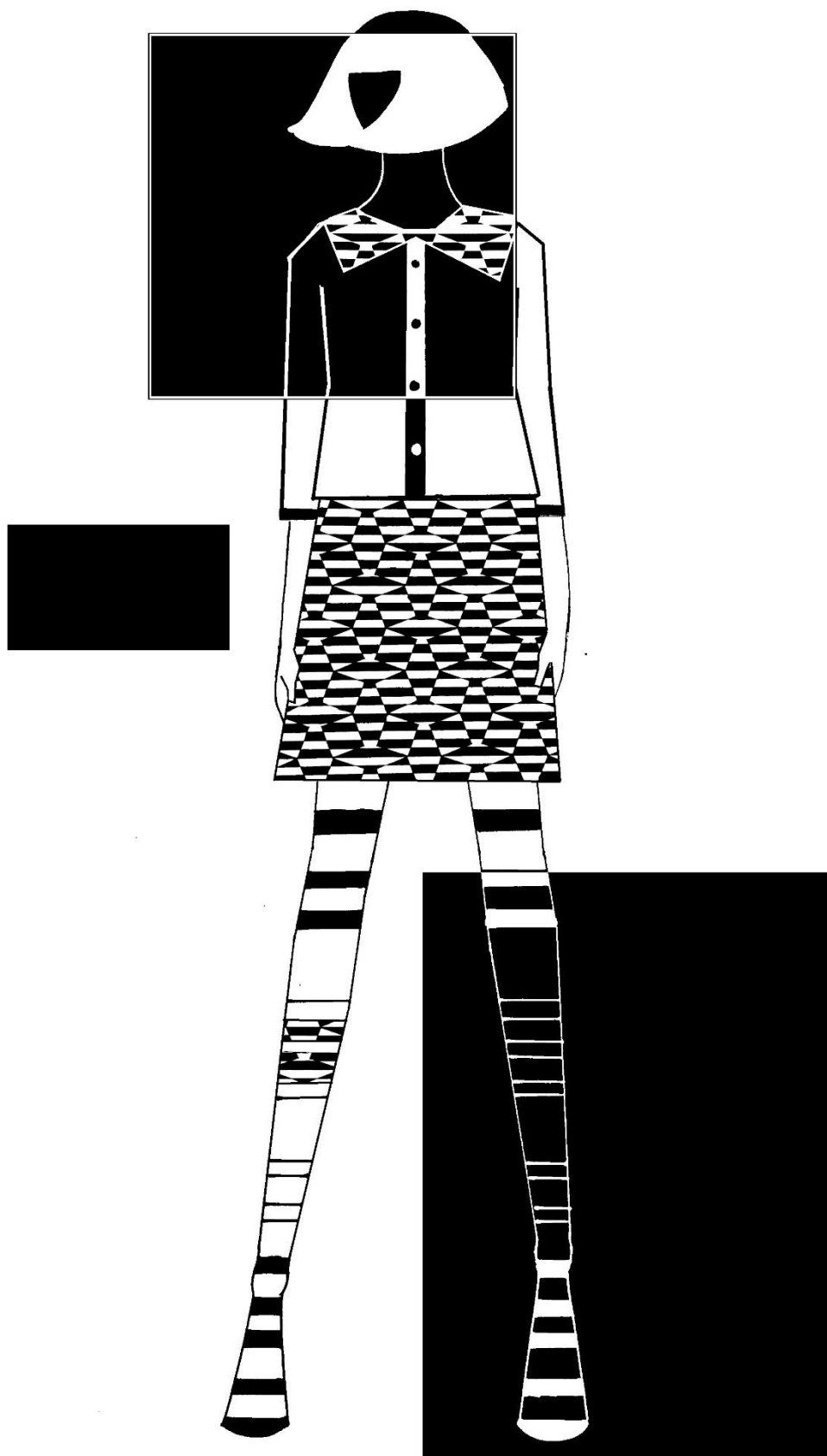


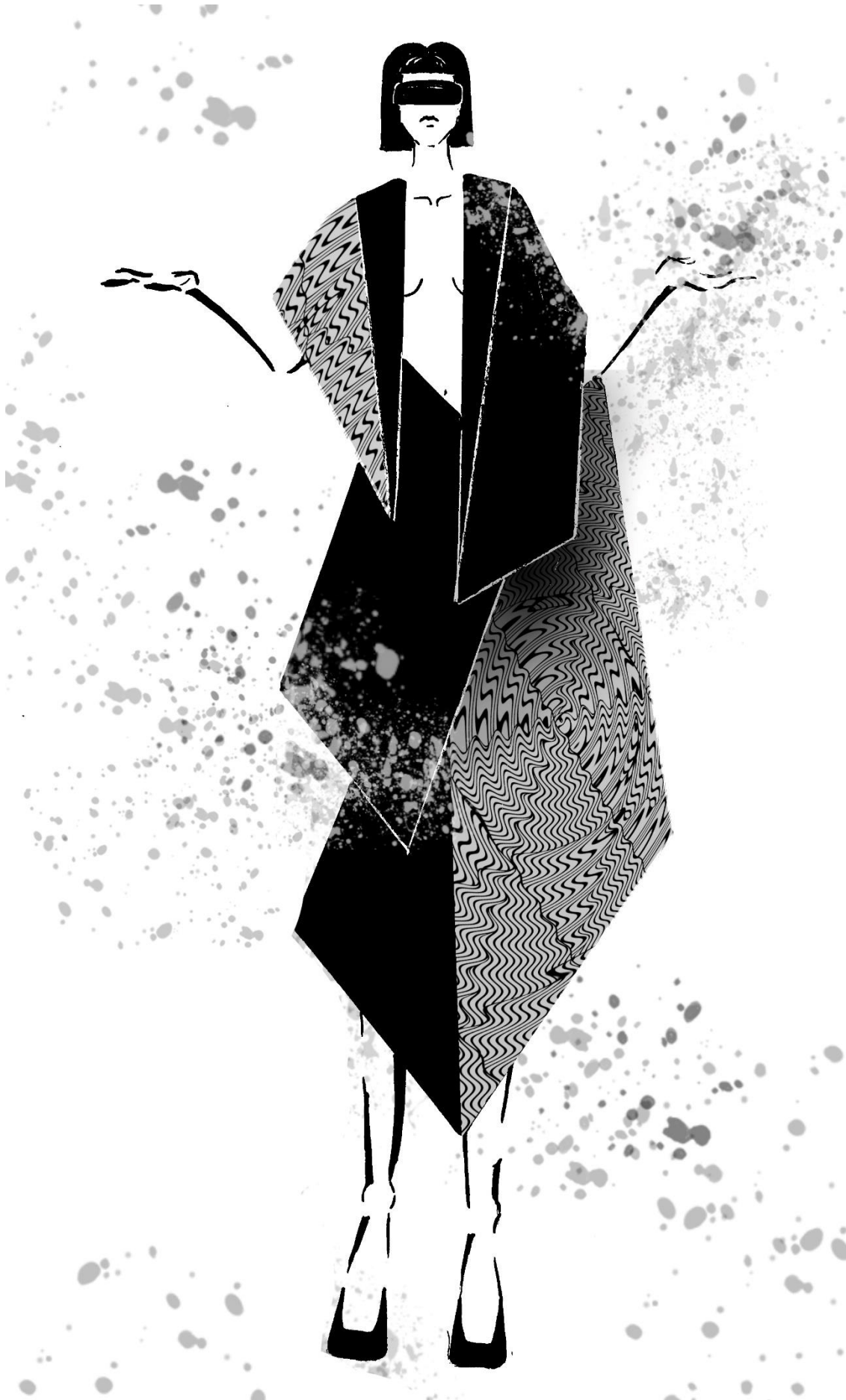


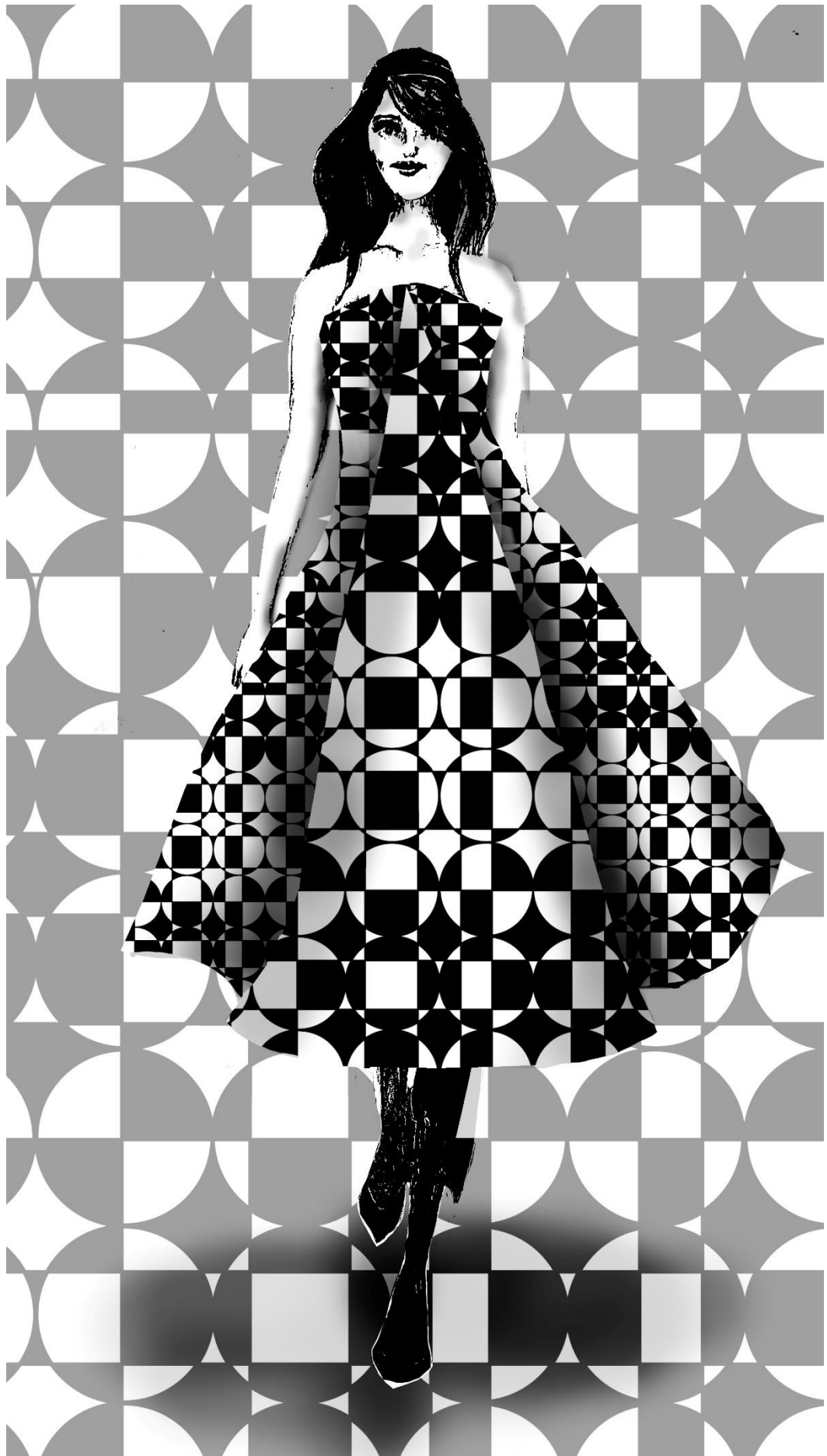




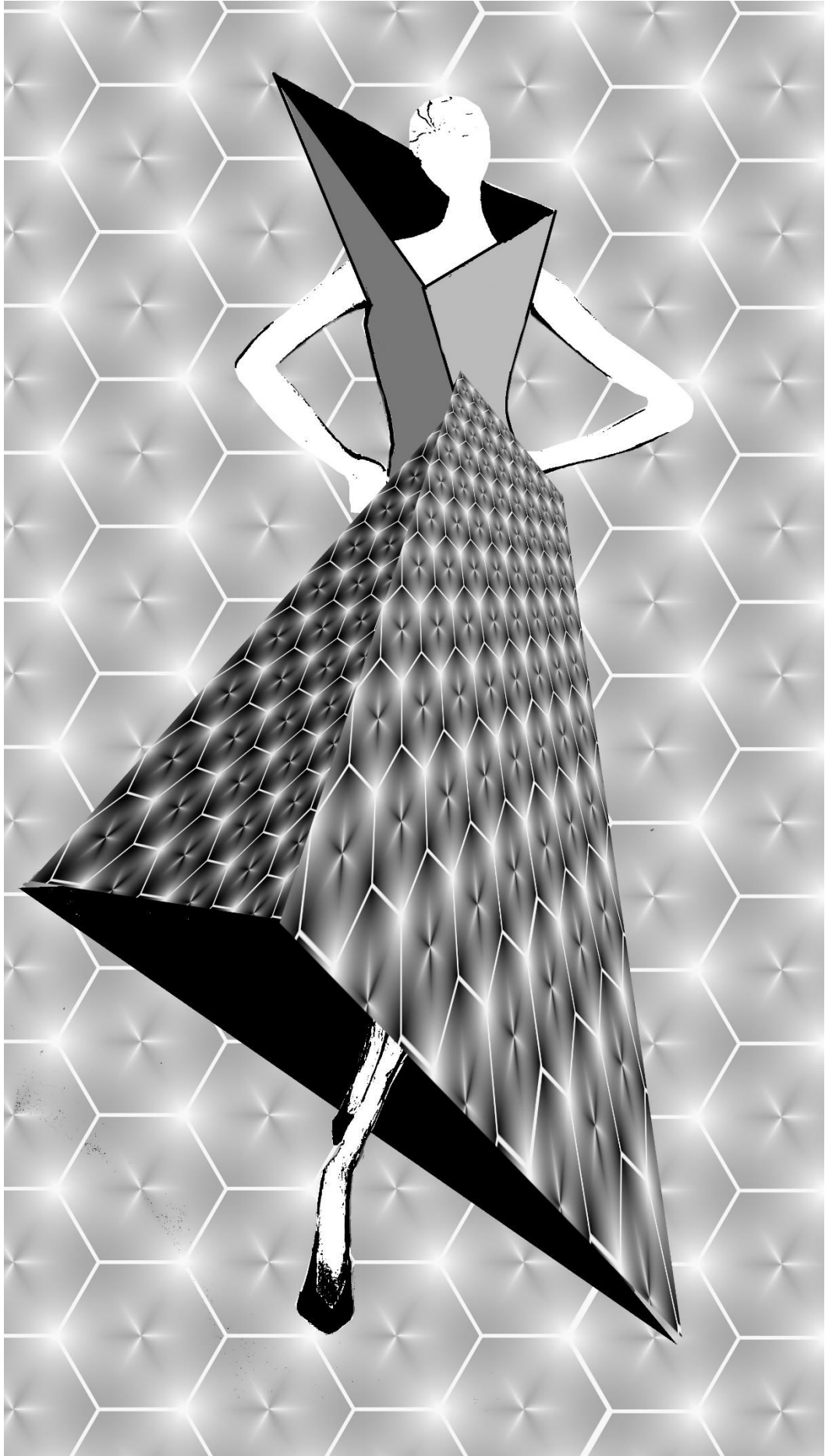
## 9.2. Kolekcija modnih ilustracija











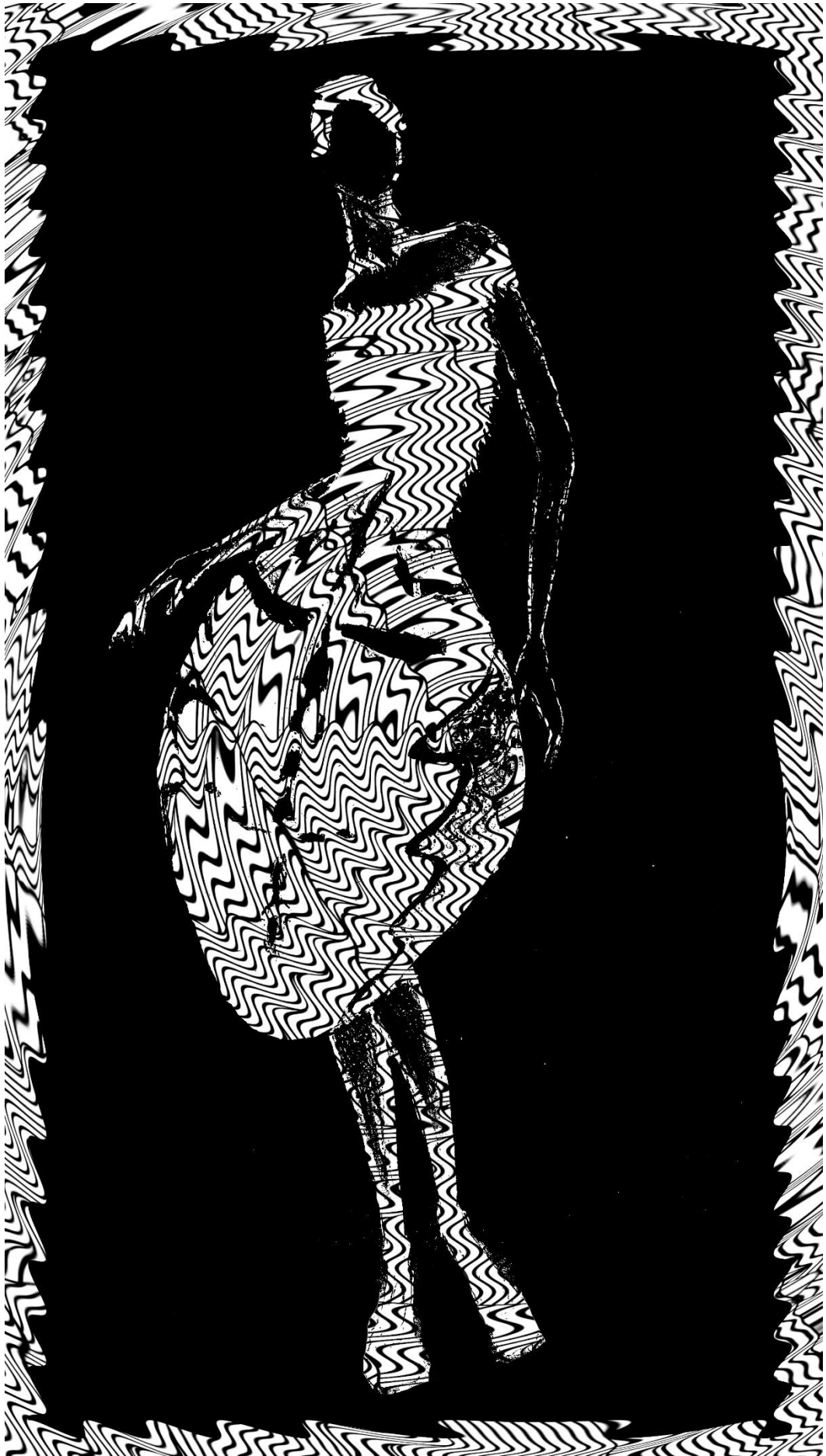












## 10. LITERATURA

- [1] Watson, Clare (2022), What if Math Is A Fundamental Part of Nature, Not Something Humans Came Up With? (<https://www.sciencealert.com/the-exquisite-beauty-of-nature-reveals-a-world-of-math>, pregledano 18.7.2022)
- [2] I. Gusić: Matematički rječnik, Element, Zagreb, Hrvatska, 1995.
- [3] Zlatni rez. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. (<https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=67302>, pregledano 18.7.2022)
- [4] Brückler, Franka Miriam: Povijest matematike I, 2014.
- [5] Trigonometrija. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. (<https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=62271>, pristupljeno 20.7.2022.)
- [6] Leonardo da Vinci. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. (<https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=36051>, pristupljeno 21.7. 2022.)
- [7] Mathematics (<https://www.leonardo-da-vinci.net/mathematics/>, pristupljeno 8.9.2022)
- [8] Michelangelo Buonarroti. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. (<https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=40550>, pristupljeno 21.7.2022.)
- [9] Meisner, Gary (2014), Botticelli, The Birth of Venus and the Golden Ratio in Art Composition (<https://www.goldennumber.net/botticelli-birth-venus-golden-ratio-art/>, pristupljeno 21.7.2022.)
- [10] N. Karthikeyan, J. Joshuva Alexander (2008), Mathematical application in textiles (<https://www.fibre2fashion.com/industry-article/3671/mathematical-application-in-textiles>, pristupljeno 9.9.2022.)
- [11] Čunko, R.; Pezelj, E.: Tekstilni materijali, Zrinski, Čakovec, 2002.
- [12] Rani K, Mercy P: Textile mathematics, Pramana Research Journal, 12 (2018) 113-117
- [13] Čilim. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. (<https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=13577>, pristupljeno 1.8.2022.)
- [14] Frontisi, C: Povijest umjetnosti, Zagreb, 2003.
- [15] Arnason H.H: Povijest moderne umjetnosti, Zagreb, 2009.
- [16] Op Art (<http://www.visual-arts-cork.com/history-of-art/op-art.htm>, pristupljeno 2.8.2022.)

- [17] Vasarely, Victor. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. (<https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=63952>, pristupljeno 2.8.2022.)
- [18] Bridget Riley (<https://www.britannica.com/biography/Bridget-Riley>, pristupljeno 2.8.2022.)
- [19] Maurtis Cornelis Escher (<https://mcescher.com/about/biography/>, pristupljeno 2.8.2022.)
- [20] Tindle, Hannah (2018), Ten Times Op-Art Crossed Over Into 21st-Century Fashion (<https://www.anothermag.com/fashion-beauty/10516/ten-times-op-art-crossed-over-into-21st-century-fashion>, pristupljeno 4.8.2022.)
- [21] B. Sidney Smith, The Mathematical Art of M.C. Escher (<https://platonicealms.com/minitexts/Mathematical-Art-Of-M-C-Escher>, pristupljeno 5.8.2022.)
- [22] Schattschneider, Doris: The Mathematical Side of M. C. Escher, Notices Of The AMS, Volume 75, Broj 6 (2010) 709-710
- [23] Polaski, Quinn, M.C. Escher: The Mathematical Artist (<https://mckreview.com/2019/09/23/m-c-escher-the-mathematical-artist/>, pristupljeno 9.9.2022.)
- [24] Radović, Jablan: Vasarely's Work– Invitation to Mathematical and Combinatorial Visual Games, Bridges 2010: Mathematics, Music, Art, Architecture, Culture, Beograd 128-129

## 11. POPIS SLIKA

Slika 1. <https://www.goldennumber.net/nautilus-spiral-golden-ratio/>

Slika 2. <https://synchronicitypc.com/on-sunflowers-golden-spirals/>

Slika 3. konstruirano pomoću ravnala i šestara

Slika 4. napravljeno u programu Inkscape

Slika 5. napravljeno u programu Inkscape

Slika 6. <http://www.educa.fmf.uni-lj.si/ro/pub/2002/ura/valentina/ag4.html>

Slika 7. <https://www.znanje.org/i/i29/09iv07/09iv0711/Matematika%20starog%20Egipta.htm>

Slika 8. [https://www.researchgate.net/figure/Golden-Ratio-example-on-The-Mona-Lisa\\_fig2\\_327447399](https://www.researchgate.net/figure/Golden-Ratio-example-on-The-Mona-Lisa_fig2_327447399)

Slika 9. <https://angelicscalliwagshomeschool.com/fibonacci-da-vinci-and-the-golden-ratio/>

Slika 10. [https://hr.wikipedia.org/wiki/Vitruvijev\\_%C4%8Dovjek](https://hr.wikipedia.org/wiki/Vitruvijev_%C4%8Dovjek)

Slika 11. <https://www.goldennumber.net/michelangelo-sistine-chapel-golden-ratio-art-design/>

Slika 12. <https://www.goldennumber.net/botticelli-birth-venus-golden-ratio-art/>

Slika 13. <https://www.goldennumber.net/raphael-golden-ratio-in-renaissance-art/>

Slika 14. <http://www.fibonacciifechart.com/blog/time-and-the-golden-ratio>

Slika 15. <https://misfitsarchitecture.com/parthenon-with-golden-ratio/>

Slika 16. <https://www.svijetmetraze.hr/blog-post/sve-o-materijalu-tkanina>

Slika 17. <http://docplayer.rs/200267487-Uko%C5%A1enje-potke-u-%C5%BEakardskoj-tkanini.html>

Slika 18. <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=4453>

Slika 19. <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=13577>

Slika 20. [https://www.falsi-d-autore.it/astratto-c-5426\\_5434/omaggio-al-quadrato-autunno-climax-p-67662.html](https://www.falsi-d-autore.it/astratto-c-5426_5434/omaggio-al-quadrato-autunno-climax-p-67662.html)

Slika 21. <https://www.wikiart.org/en/victor-vasarely/zebra-1937>

Slika 22.

<https://wikioo.org/hr/paintings.php?refarticle=AQSCRS&titlepainting=Fall&artistname=Bridget%20Riley>

Slika 23. [https://en.wikipedia.org/wiki/Relativity\\_%28M.\\_C.\\_Escher%29](https://en.wikipedia.org/wiki/Relativity_%28M._C._Escher%29)

Slika 24. [https://en.wikipedia.org/wiki/Waterfall\\_%28M.\\_C.\\_Escher%29](https://en.wikipedia.org/wiki/Waterfall_%28M._C._Escher%29)

Slika 25. <https://www.anothermag.com/fashion-beauty/10516/ten-times-op-art-crossed-over-into-21st-century-fashion>

Slika 26. <https://www.anothermag.com/fashion-beauty/10516/ten-times-op-art-crossed-over-into-21st-century-fashion>

Slika 27. <https://www.ams.org/notices/201006/rtx100600706p.pdf>

Slika 28. <https://platonicealms.com/minitexts/Mathematical-Art-Of-M-C-Escher>

Slika 29. . <https://platonicealms.com/minitexts/Mathematical-Art-Of-M-C-Escher>

Slika 30. <https://worldchesshof.org/exhibit/victor-vasarely-calculated-compositions>

Slika 31. <https://artsandculture.google.com/asset/optical-cube-victor-vasarely/5wEM9gLYA9cx2g>