



PINHOLE KAMERA

Tehnika

Raziskovalna naloga

Avtorici: Lenka Rojs, Maja Hajšek

Mentor: dr. Andrej Šafhalter

Makole, 2023

ZAHVALA

Zahvaljujeva se mentorju Andreju Šafhalterju za pomoč, strokovne nasvete in predloge pri izdelavi raziskovalne naloge. Hvala učiteljici Barbari Gmeiner Kline za lektoriranje tega besedila in učiteljici Nataši Kosajnč za angleški prevod povzetka.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD.....	6
2 TEORETIČNI DEL	6
2.1 Camera obscura.....	6
2.2 Zgodovina camere obscure	7
2.3 Pinhole kamera.....	8
2.4 Navodila za izdelavo kamere	9
2.5 Ostrina slike.....	10
2.6 Fotografski papir	11
2.7 Vrednost ISO.....	12
2.8 Razvoj fotografije	13
3 RAZISKOVALNI DEL	14
3.1 Raziskovalna vprašanja.....	14
3.2 Raziskovalne metode.....	14
3.3 Namen raziskave	14
3.4 Izračuni	14
3.5 Izdelava pinhole kamer in postopek fotografiranja.....	15
3.6 Razvijanje fotografij.....	21
3.7 Velikost luknjice in ostrina slike	22
3.8 Debelina kartona in ostrina slike	29
4 RAZPRAVA	30
5 ZAKLJUČEK.....	30
6 VIRI IN LITERATURA.....	31
7 PRILOGE.....	32

KAZALO SLIK

Slika 1: Camera obscura z ogledali. Pridobljeno z Wikipedije.....	6
Slika 2: Camera obscura kot pripomoček umetnikom	7
Slika 3: Princip poteka žarkov v pinhole kameri.....	8
Slika 4: Prikaz goriščne razdalje (f)	9
Slika 5: Napaka ostrine.....	11
Slika 6: Kontaktni odtis	12
Slika 7: Fotografija z visokim ISO.....	12
Slika 8: Analogni fotoaparat (levo) in digitalni fotoaparat.....	13
Slika 9: Pokrov kamere.....	15
Slika 10: Ohišje pinhole kamere z ukrivljeno geometrijo	16
Slika 11: 3D-natisnjena kamera, format 6 x 12 cm, izdelana januarja 2023	16
Slika 12: Prva fotografija, narejena s pomočjo 3D-natisnjene kamere	17
Slika 13: Lesena pinhole kamera, format 6 x 12 cm.....	17
Slika 14: Fotografija hiše ob šoli, izdelana z leseno kamero z ravno geometrijo pokrova	18
Slika 15: Slika hiše, izdelana z leseno kamero z ravno geometrijo pokrova (izrez osrednjega dela fotografije)	18
Slika 16: Slika hiše ob šoli, izdelana z valjasto kamero iz kartona.....	19
Slika 17: Pinhole kamera iz kartona valjaste oblike s premerom 11 cm	19
Slika 18: Fotografija hiše od blizu.....	20
Slika 19: Lesena kamera z ukrivljeno geometrijo pokrova	20
Slika 20: Slika hiše ob šoli, izdelana z leseno kamero z ukrivljeno geometrijo pokrova	21
Slika 21: Provizorična temnica	21
Slika 22: Prvi poskus v učilnici in spremenljive svetlobne razmere.....	22
Slika 23: Prenosni foto studio, preizkus ostrine	23
Slika 24: Delovno mesto med preizkusom ostrine.....	24
Slika 25: Na levi so svedri, ki si sledijo od velikosti 0,1 mm do 1,0 mm, na desni so vsi svedri velikosti 0,25 mm	24
Slika 26: Fotografija, izdelana skozi luknjico 0,20 mm, osvetlitveni čas: 1 min. 30 s.....	25
Slika 27: Fotografija, izdelana skozi luknjico 0,20 mm, osvetlitveni čas 2 min. 15 s.....	25
Slika 28: Fotografija, izdelana skozi luknjico 0,25 mm, osvetlitveni čas 2 min.	26
Slika 29: Fotografija, izdelana skozi luknjico 0,30 mm, osvetlitveni čas 2 min.	26
Slika 30: Fotografija, izdelana skozi luknjico 0,40 mm, osvetlitveni čas 1 min. 45 s.	27
Slika 31: Primerjava fotografij, izdelanih skozi luknjico 0,30 mm (levo) in 0,40 mm (desno)	27
Slika 32: Fotografija, izdelana skozi luknjico 0,50 mm, osvetlitveni čas 1 min. 30 s.....	28
Slika 33: Fotografija, izdelana skozi luknjico 0,60 mm, osvetlitveni čas 1 min. 20 s.	28
Slika 34: Notranjost fotoaparata pred fotografiranjem skozi luknjico v aluminijasti foliji.....	29
Slika 35: Fotografija, izdelana skozi luknjico 0,40 mm v aluminijasti foliji, osvetlitveni čas 1 min. 45 s.	29
Slika 36: Fotografija, izdelana skozi luknjico 0,40 mm v kartonu (levo) in skozi luknjico 0,40 mm skozi aluminijasto folijo (desno).....	30

KAZALO TABEL

Tabela 1: Optimalno razmerje med goriščno razdaljo in velikostjo luknjice.....	10
---	----

POVZETEK

V teoretičnem delu raziskovalne naloge sva se osredotočili na nastanek in razvoj pinhole kamere. Podrobnejše sva žeeli ugotoviti, kako deluje in kako se uporablja. Opisali sva camero obscuru in omenili njen pomen skozi zgodovino. Zapisali sva nekaj podatkov o različnih fotopapirjih in opisali različne vrste, ki so se uporabljale skozi zgodovino. Nekaj besed sva namenili še razvoju fotografije ter omenili sestavo in delovanje fotoaparatov.

V praktičnem delu raziskovalne naloge sva izdelali štiri pinhole kamere. Z vsako od kamer sva pridobili boljše rezultate. Na fotografijah sva žeeli izpopolniti kvaliteto in ostrino fotografije. Izvedli sva kar nekaj izračunov glede goriščne razdalje, velikosti luknjice, zornega kota in osvetlitvenega časa. Med fotografiranjem sva uporabljali različne osvetlitvene čase in velikosti luknjice. Zanimalo naju je tudi, ali debelina papirja, v kateri leži luknjica, vpliva na ostrino fotografije in kako sama velikost luknjice vpliva na ostrino fotografije. Prav tako sva žeeli ugotoviti razlike v fotografijah med ravnim in ukrivljenim zaslonom, na katerega sva polagali fotopapir.

Ključne besede : pinhole kamera, goriščna razdalja, alternativna fotografija

ABSTRACT

In the theoretical part of the research assignment, we focused on the creation and development of the pinhole camera. We wanted to find out in detail, how it works and how it is used. We described the camera obscura and also mentioned its importance throughout history. We listed the different photo papers and described the different types that have been used throughout history. Furter more, we devoted a few words to the development of photography and mentioned the composition and operation of cameras.

In the practical part of the research assignment, we made four pinhole cameras. We got better results with each of the cameras. In the photos, we wanted to perfect the quality and sharpness of the photo. We performed quite a few calculations regarding focal length, pinhole size, viewing angle and exposure time. During photography, we used different exposure times and pinhole sizes. We were also interested in whether the thickness of the paper, in which the hole lies, affects the sharpness of the photo and how the size of the hole itself affects the sharpness of the photo. We also wanted to find out the differences in the photos between the flat and the curved screen on which we placed the photo paper.

Keywords: pinhole camera, focal length, alternative photography

1 UVOD

Fotoaparat je eden izmed izumov, brez katerih si verjetno življenja ne bi mogli več predstavljati. Z njim namreč shranujemo najpomembnejše dogodke našega življenja in se jih skozi fotografije ponovno spominjamo.

Ob pritisku na gumb se velikokrat sploh ne zavedamo, kaj vse se odvija v ozadju in kakšna znanja so potrebna, da se prikaže fotografija, ki jo lahko trajno shranimo.

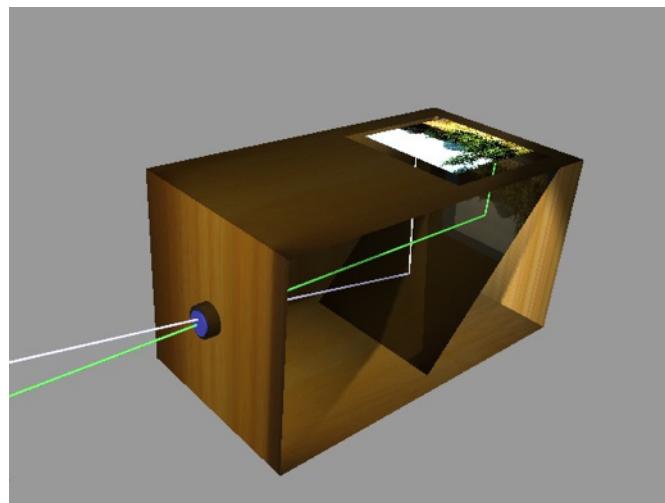
Kaj sploh je fotografksa kamera? Kaj se dogaja v notranjosti fotografiske kamere, kadar mi fotografiramo? Kako je fotografksa kamera sestavljena? Kakšne formate fotografij poznamo? Vse to sva žeeli razumeti bolj natančno, zato sva se odločili, da izdelava lastno kamero.

2 TEORETIČNI DEL

2.1 Camera obscura

Način delovanja camere obscure je zelo podoben načinu delovanja pinhole kamere. Postopek poteka v temnem prostoru z zelo majhno luknjico, ki prepušča svetlobo v notranjost. Na nasprotni strani luknjice se prikaže slika, ki pa je narobe obrnjena. Manjša kot je luknjica, večja in temnejša je nastala slika. Camero obscuro so večinoma uporabljali umetniki pri preslikavi in je najosnovnejša optična naprava za zajemanje slik.

Če z G označimo velikost predmeta, ki ga zajamemo, in z g oddaljenost od luknjice ter z B velikost slike predmeta in z b oddaljenost od slike, potem velja: $\frac{B}{G} = \frac{b}{g}$. Enačba je uporabljena tudi s pomočjo podobnih trikotnikov. Naprednejše kamere namesto luknjice uporabljajo leče, ki so bolj primerne za slikanje. Preprosto camero obscuro pa lahko dopolnimo tudi z ogledali, kot prikazuje slika 1. Za luknjico je postavljeno ogledalo pod kotom 45 stopinj in slika se projicira na zgornjo ploskev škatle, tako da jo lahko vidimo pravilno obrnjeno.



Slika 1: Camera obscura z ogledali. Pridobljeno z Wikipedije.

Pridobljeno 18. 2. 2023 s

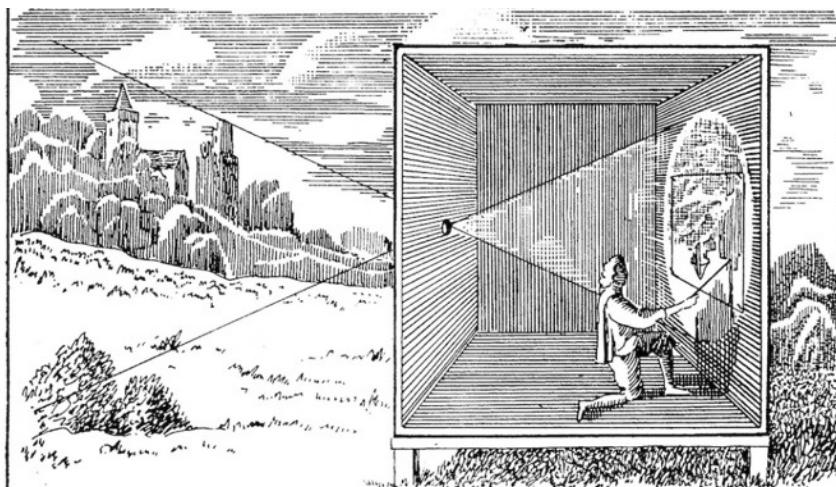
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/26/Camera_obscura_box.jpg

Luknjica, skozi katero pride svetloba v škatlo, je zelo pomembna, saj predstavlja glavni dejavnik za kakovost slike. Čim manjša je luknjica, ostrejša je slika, ki pa hkrati postaja tudi temnejša. Kadar je luknjica zelo majhna, pa lahko slika spet postane neostra. (Camera obscura. Wikipedia, 2022)

2.2 Zgodovina camere obscure

Camera obscura je bila prvič omenjena v 5. stoletju pr. n. št. O njej je pisal kitajski filozof Mozi. V temni sobi je opazil princip delovanja kamere ter pravilno napovedal, da je slika narobe obrnjena, ker svetloba potuje v ravni črti od prikazanih predmetov. Kamero je omenil tudi grški filozof Aristotel med 384 in 322 pr. n. št. ter svoja opažanja opisal v zapisih Problemata Physica. Ponovno je bila kamera omenjena okoli leta 300 pr. n. št. s strani Evklida, ki je dejal, da se svetloba premika v ravni črti. Kasneje je islamski znanstvenik Alhazen opisal temno sobo in izvajal poskuse s svetljobo. Za eksperiment je uporabil 3 sveče in ugotovil, da svetloba z leve sveče konča na desni strani zaslona. Za uspešno delovanje eksperimenta mora biti luknjica dovolj majhna in na tej podlagi je razvil teorijo o uklonu svetlobe. Njegovo znanje je uporabil Leonardo da Vinci (1452–1519) in izvedel študijo optike in človeškega vida, svoje ugotovitve pa je napisal v Codex Atlanticus, s čimer je bil napravljen prvi jasen opis camere obscure. Roger Bacon je v 13. stoletju ugotovil, da lahko s kamero obscuro opazujemo tudi sončne mrke, brez direktnega gledanja v Sonce. (Camera obscura. Wikipedia, 2022)

Preden se je veda fotografije sploh pričela, se je princip fotografiranja uporabljal v umetnosti. Takrat so umetniki za svoje risbe uporabljali camero obscuro. Tako so svoje risbe izpopolnili in dopolnili. Princip camere obscure je zelo preprost. Skozi majhno luknjico na sprednji strani temne škatle preide v prostor svetloba (slika 3) in na zadnji ploskvi se prikaže slika, ki je narobe obrnjena.



Slika 2: Camera obscura kot pripomoček umetnikom

Pridobljeno 15. 1. 2023 s <https://magazine.artland.com/agents-of-change-camera-obscura/>

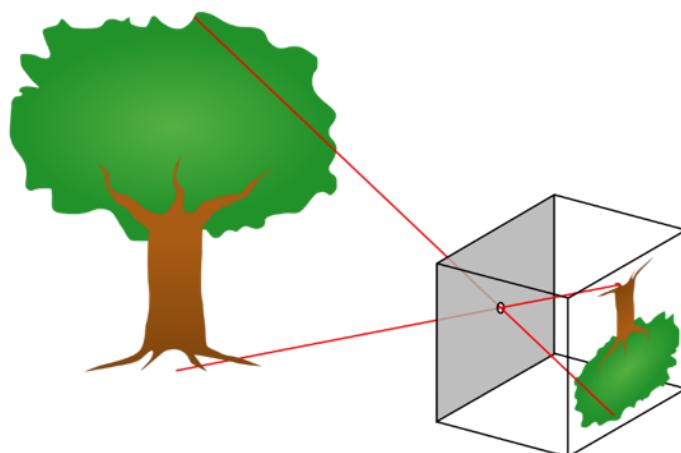
V 16. stoletju je k boljši kakovosti slike pripomogla tudi konveksna leča, kasneje pa je bilo dodano še ogledalo, da je bila slika pravilnejše oblike. Samo ime kamere je bilo uporabljeno tudi v začetku 17. stoletja, ko je Johannes Kepler uporabljal majhen črn šotor za geodetska opažanja v Zgornji Avstriji. Ko se je med 17. in 18. stoletjem velikost kamere zmanjšala, je prišla bolj do izraza in mnogi umetniki so jo uporabljali za pripomoček pri risanju. Množično pa se je camera obscura začela uporabljati med renesanso. (Zgodovina Camere obscure. Celje Fokus, 2019)

Leonardo da Vinci je kamero primerjal s človeškim očesom. Umetniki so si nato domislili lažjo verzijo camere obscure in namesto da bi transportirali celotno sobo, so transportirali le manjšo škatlo, v angleščini imenovano peep show box. (Renner, 2015)

2.3 Pinhole kamera

Enak postopek je uporabljen tudi v pinhole kameri, le da je slika prikazana na svetlobno občutljivi snovi (fotopapirju, filmu ...). Slika ne nastane v prostoru, ampak se ustvari kot fotografija. Pinhole kamere so zelo preproste naprave.

Delovanje pinhole kamere si lahko predstavljamo na način, kot da bi bili v temnem prostoru z majhno luknjico na eni strani, skozi katero nekdo sveti s svetilko. V prostoru, v katerem se nahajamo mi, se ta svetlobni žarek vidi kot pika na nasprotni strani. Kadar bo oseba spremnjala kot, skozi katerega sveti v ta prostor, se bo tudi pika v prostoru začela premikati. Manjša kot je luknjica (v določenih mejah), bolj ostra bo prikazana pika. Pri pinhole kamери prej omenjen prostor predstavlja škatla, svetlobo baterijske svetilke pa naravni svetlobni žarki. Vsak predmet odbija vpadno svetlubo. Ti odbojni žarki pa preidejo skozi luknjico v našo škatlo. Ker hkrati skozi luknjico preide več teh žarkov, se na zadnji strani prostora prikaže narobe obrnjena fokusirana slika (slika 3). Ker je luknjica zelo majhna, je slika relativno slabo osvetljena, vendar jo lahko vidimo, če je notranjost dobro zatemnjena.



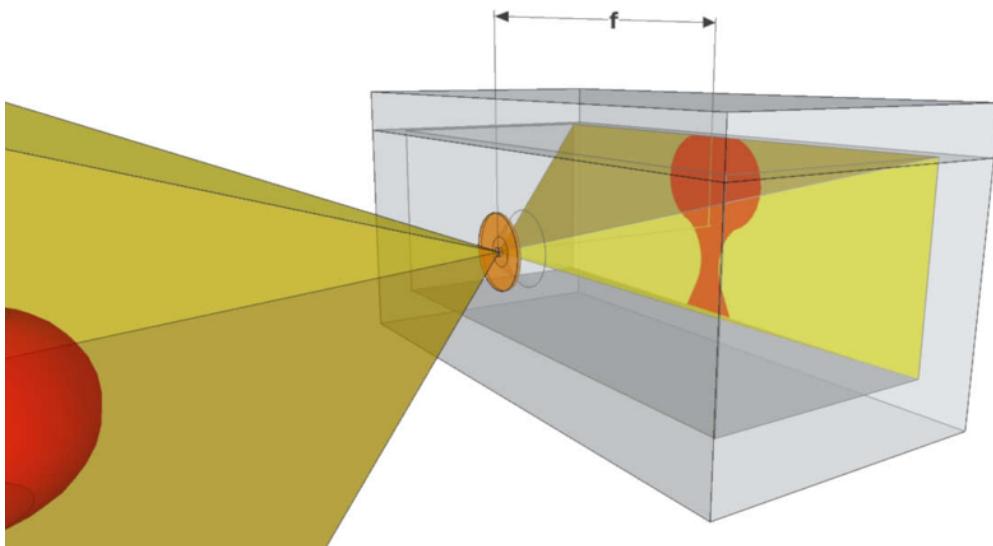
Slika 3: Princip poteka žarkov v pinhole kameri

Pridobljeno 15. 1. 2023 s https://en.wikipedia.org/wiki/Pinhole_camera_model#/media/File:Pinhole-camera.svg

Osnovni del fotografiske kamere je luknjica, skozi katero pride svetloba v škatlo. Luknjica v kameri deluje kot leča, ki vsako točko, ki odbija svetlubo, prikazuje kot majhno točko na fotopapirju ali filmu. Ta na videz preprosta luknjica pa mora biti popolna, da fotografija dobro uspe. Luknjica ne sme biti izrezana na debelem materialu, tako da bi tvorila tunel, zato mora biti material tanjši. Za ustvarjanje luknjice lahko najdemo veliko pripomočkov. Ker je luknjica zelo majhna, je potrebno najti ustrezен pripomoček, s katerim jo lahko naredimo. Nekateri si te pripomočke izdelajo sami kot tanke iglice z raznimi debelinami premera, od 0,2 mm do 0,5 mm. Z iglo oz. pripomočkom je potrebno previdno izvrnati luknjico, pri čemer je potrebno paziti, da se velikost luknjice ne spremeni in da je površina še vedno gladka. Na sami površini ne sme biti nobenih odrezov, tako da luknjica ne vpliva na obliko slike. (Smets, 2012)

Obstaja veliko različnih modelov pinhole kamер, ki so jih razvili za izvajanje različnih tipov fotografij. Značilnosti, na katere je potrebno biti pozoren pri izdelavi pinhole kamere, so: goriščna razdalja, premer luknje, geometrija ravnine filma, število luknjic, format slike in material, iz katerega je fotografiska kamera.

Goriščna razdalja je razdalja med luknjico in fotoobčutljivim nosilcem, kar je prikazano na sliki 4. Pinhole kamere imajo različne goriščne razdalje, ki določajo njihovo uporabo.



Slika 4: Prikaz goriščne razdalje (f)

Pridobljeno 21. 2. 2023 s <https://www.auloma.com/en/resources/learning/p-how-choose-pinhole-camera.html>

Premer luknje pa je povezan tudi z goriščno razdaljo. V teoriji velja, da manjša kot je luknja, bolj je fotografija ostra, vendar je v tem primeru tudi osvetlitveni čas daljši. Za pridobitev ostrih fotografij mora biti premer luknjice približno 1/100 dimenzije goriščne razdalje.

Področje filma je lahko ravno ali ukrivljeno. Pri širokokotni kameri s kratko goriščno razdaljo je bolje uporabiti ukrivljen film. Število luknjic ne spremeni funkcij kamere, ampak daje fotografu zgolj možnost, da ima več izbiре pri kadriranju z različnim položajem črte obzorja. Vse to ima za posledico pozicioniranje na različnih višinah v istem okvirju glede na luknjico, uporabljeno v ta namen. Pinhole kamere so po navadi dimenzionirane za standardno uporabo filmov ali fotografskega papirja. Uporabljeni standardni formati so 35 mm, 6 x 6 cm, 6 x 9 cm, 6 x 12 cm, 6 x 17 cm, 4 x 5", 5 x 7", 8 x 10". Večji kot bo format slike, boljša bo ločljivost. Obstaja veliko primerov lastno izdelanih pinhole kamer, pridobljenih iz recikliranih materialov, kot so: kartonska škatla, pločevinka za pijačo, cev za štedilnik ali hladilnik, kombi in celo vlak. Profesionalne luknjičaste kamere so narejene predvsem iz lesa in umetnih snovi. Zaklopi pri pinhole kamerah se večinoma aktivirajo ročno. Pri nekaterih pinhole kamerah pa se lahko uporabljajo tudi magnetni zaklopi. (How working a pinhole camera. Auloma, 2022)

2.4 Navodila za izdelavo kamere

Pinhole kamera je lahko izdelana iz različnih materialov, pomembno je samo, da ne prepušča svetlobe. Kamera je lahko narejena tudi iz navadne pločevinke. Pri lastni izdelavi lahko uporabimo tudi druge uporabne predmete ali embalažo. Kadar je posoda v obliki kvadra, leži film na ravni površini, kadar pa fotografiramo z ukrivljeno kamerom, je tudi film ukrivljen. Izdelava ukrivljene kamere je pravzaprav zelo preprosta. Na začetku moramo preveriti, ali skozi posodo prodira svetloba. Če svetloba prodira skozi posodo, jo je potrebno prebarvati s črno barvo oz. jo dodatno prelepiti na točkah, kjer bi morebiti lahko uhajala svetloba. Nato je dobro, da v kameri naredimo držalo za fotografski papir, če je to potrebno. Nekatere posode so namreč primerno ukrivljene, da papir lepo leže vanje. Nato je na posodo potrebno izvrtati luknjico, ki se mora nahajati na nasprotni strani fotografskega papirja. Ko je večja luknjica na posodi narejena, je potrebna še ena manjša luknjica, skozi katero bo prodirala svetloba. Premer luknjice je praviloma manjši kot 1 mm in je odvisen od goriščne razdalje. Obstaja optimalno razmerje med ostrino slike, goriščno razdaljo ter velikost luknjice, kar je prikazano v tabeli 1.

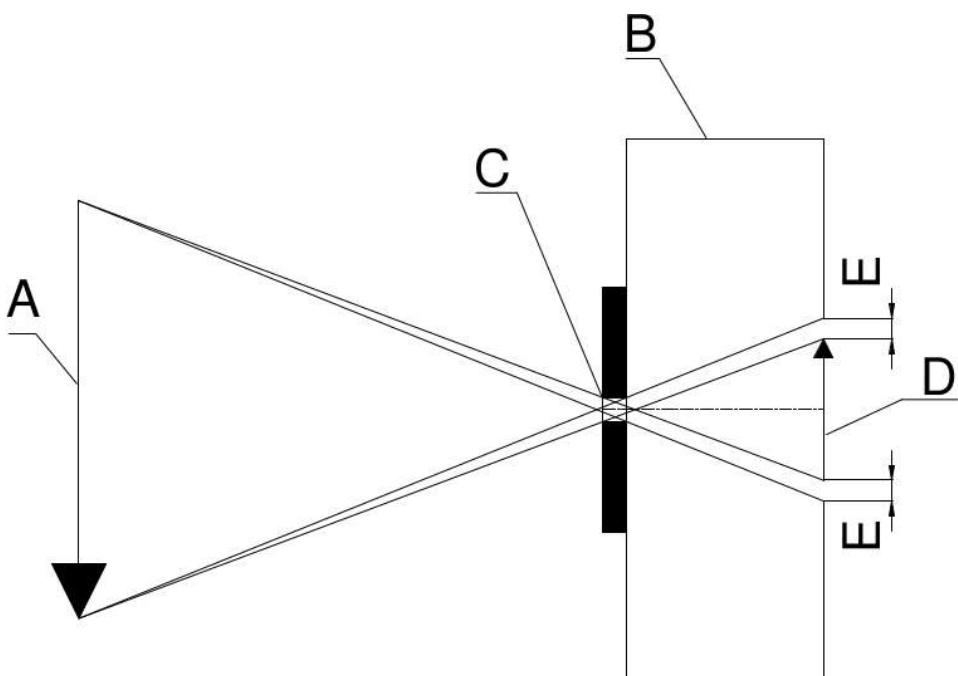
Tabela 1: Optimalno razmerje med goriščno razdaljo in velikostjo luknjice

Goriščna razdalja	Optimalen premer luknjice v mm	Velikost zaslone
10	0,117	85
20	0,166	121
30	0,203	148
40	0,235	171
50	0,262	191
60	0,287	209
70	0,310	226
80	0,332	241
90	0,352	156
100	0,371	270
150	0,454	330
200	0,524	381
250	0,586	426
300	0,642	467
350	0,694	505
400	0,742	539
450	0,787	572
500	0,829	603

Za izdelavo luknjice lahko uporabimo zelo majhne, v ta namen izdelane svedre. Ko je luknjica narejena, je potrebno v kamero vstaviti še fotografski papir. Luknjico je po vstavitvi fotografskega papirja potrebno prekriti, da zaščitimo fotografski papir pred vdorom svetlobe pred samim fotografiranjem. Fotografira se tako, da kamero oz. fotografski papir za določen čas, ki je odvisen od jakosti svetlobe, izpostavimo svetlobi. (Fabbri, Fabbri, Wiklund, 2009)

2.5 Ostrina slike

Fotografije, ki jih pridobimo s pomočjo pinhole kamere, so vedno enako ostre skozi celotno globino polja, a še vedno manj ostre kot fotografije, pridobljene z objektivom. Ta ostrina je odvisna od svetlobnih žarkov, ki preidejo skozi luknjico, kar je prikazano na sliki 5. Svetlobni žarek se od ene točke na predmetu, ki ga fotografiramo, odbije skozi luknjico, kjer pa se ta enaka točka projicira na dve točki na zaslunu zaradi samega prehoda svetlobe skozi luknjico. Čeprav sta obe točki zelo blizu, da razlika skoraj ni vidna, slika zaradi tega pojava ni popolno ostra.



Slika 5: Napaka ostrine

Pridobljeno 1. 2. 2023 s <https://www.auloma.com/en/pictures/blur-diagram.jpg>

Pomemben dejavnik med fotografiranjem je tudi čas osvetlitve, ki pa ga moramo izračunati samostojno ali uporabimo telefonsko aplikacijo. Čas osvetlitve je predvsem odvisen od zunanje svetlobe, občutljivosti fotopapirja ter velikosti zaslonke. Časi se tako običajno lahko gibajo med nekaj sekundami in nekaj minutami. (Characteristics of pinhole photography. Auloma, 2022)

2.6 Fotografski papir

Fotografski papir je papir, ki je prevlečen s kemijsko zmesjo, občutljivo na svetlobo. Ko je fotografski papir izpostavljen svetlobi, spremeni barvo. Kadar pa s tem papirjem fotografiramo, lahko po razvijanju vidimo negativ slike. Tisto, kar je na negativu črno, je na pozitivu svetlo. Emulzija je svetlobno občutljiv del fotografije. Če želimo iz negativa dobiti pozitiv, lahko uporabimo različne načine. Eden od teh je, da na negativ položimo fotografski papir in ga osvetljujemo z navadno žarnico. Tej metodi pravimo kontaktni odtis. Sodoben način pa je skeniranje negativa, ki ga nato računalniško spremenimo v pozitiv.

Četudi vse bolj prevladuje digitalni način fotografiranja, je fotografski papir še vedno v uporabi. Proizvaja se v različnih velikostih, teži in z različno vrsto emulzije. Lahko se razlikuje po svetlobni občutljivosti, barvnem odzivu in toplini končne slike. Način uporabe fotografskega papirja je že leta 1802 ugotovil Thomas Wedgwood. (Photographic paper. Wikipedia, 2022)



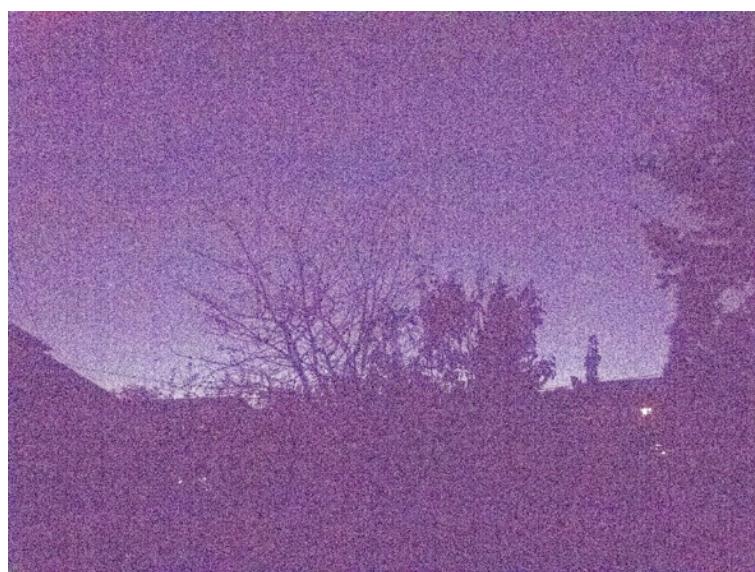
Slika 6: Kontaktni odtis

Pridobljeno 10. 2. 2023 s https://en.wikipedia.org/wiki/Contact_print#/media/File:Contact_print.jpg

2.7 Vrednost ISO

Vrednost ISO je vrednost, ki nam pove svetlobno občutljivost papirja, filma ali senzorja. Vrednost 100 je pri filmu ali senzorju dokaj nizka vrednost, ki pove, da sta manj občutljiva na svetlobo. Če fotografiramo pri višji vrednosti, npr. 1600, je občutljivost na svetlobo večja. Fotopapir ima precej nizko svetlobno občutljivost, nekje med 10 in 12, kar ima za posledico dolge osvetlitvene čase.

Vrednost ISO 100 pomeni, da ima film drobna zrnca, ki so tako majhna, da se na sliki sploh ne vidijo. Kadar povečamo vrednost ISO, se povečajo tudi zrnca, ki so posledično vidna na fotografiji, kot je prikazano na sliki 7.



Slika 7: Fotografija z visokim ISO

Pridobljeno 21. 2. 2023 s https://fotoucilmica.com/wp-content/uploads/2014/06/IMG_3523.jpg

Velikokrat se zgodi, da svetlobni pogoji niso primerni za uporabo nizkih vrednosti ISO, kar ima za posledico daljše osvetlitvene čase. Višji ISO nam omogoča, da osvetlimo za krajsi čas. Uporabimo ga pri slabših svetlobnih pogojih ali pri fotografiranju gibanja. (Simčič, 2014)

2.8 Razvoj fotografije

V človeku se že od nekdaj izraža želja po ohranjanju spominov. To so lahko spomini na otroštvo, poznane osebe ali dogodke, ki se nam zgodijo v življenju. Te spomine smo pričeli shranjevati v obliki fotografije. To nam pove že sam izraz fotografija, ki govorji o postopku, pri katerem brez čopiča ali svinčnika ustvarimo realistične podobe na nekem materialu. (Zgodovina fotografije in fotografiske tehnike. Museum.si, 2018)

O fotografiji oz. ohranjanju podob so razmišljali že pred našim štetjem. Prvi, ki se so ukvarjali s to mislijo, so bili že stari Grki, ki so opazovali gibanje svetlobe in njeno porazdelitev. Podobno so razmišljali tudi njihovi nasledniki. Enega izmed prebojev razvoja je naredil Leonardo da Vinci, ki je študiral zgradbo in delovanje očesa. S temi ugotovitvami so prišli do izuma camere obscure oz. drugače imenovane temne sobe. Ime je verjetno dobila zaradi svoje zaprte škatlaste oblike. Med camero obscurum in današnjim sodobnimi fotoaparati so se pojavile razne verzije fotoaparatov. S temi različicami se je spremenjal tudi material, na katerega so fotografirali (papir, steklo, film ...), oblika fotoaparata in s tem tudi oblika formata. Z razvojem se je bistveno skrajšal čas izpostavljanja fotoobčutljivega materiala med samim fotografiranjem. (Ačko, 2017)

O t. i. analogni fotografiji večinoma govorimo takrat, ko za fotografiranje uporabimo analogni film. Najbolj znan analogni film je 35 mm, obstajajo pa še seveda drugi, npr. 110 mm, 120 mm ipd. (Analogna fotografija. Dpoint, 2020)

Digitalna fotografija je postopek uporabe sodobne tehnologije za ustvarjanje digitalnih slik. Fotografije se shranjujejo na spominski kartici v fotoaparatu.



Slika 8: Analogni fotoaparat (levo) in digitalni fotoaparat

Pridobljeno 2. 12. 2022 s <https://lumis.hr/wp-content/uploads/filmska-ili-digitalna-fotografija-0.jpg>

3 RAZISKOVALNI DEL

3.1 Raziskovalna vprašanja

1. Kako velikost luknjice vpliva na ostrino slike?
2. Kakšna je razlika v fotografiji med papirjem, ki je bil v kameri ploščato vstavljen, in tistim, ki je bil ukrivljen?
3. Kako debelina kartona, na katerem je luknjica, vpliva na ostrino slike?

3.2 Raziskovalne metode

Zadali sva si nekaj vprašanj, na katera sva žeeli dobiti odgovore. Razmišljali sva o tem, kakšno kamero bi izdelali in kaj iz vsakdanjega življenja bi lahko uporabili kot preprosto pinhole kamero. Najina raziskovalna vprašanja sva reševali s pomočjo metode preizkušanja.

3.3 Namen raziskave

Namen najine raziskovalne naloge je bil, da ugotoviva, kateri dejavniki vplivajo na izdelavo fotografije ter kako le-ti spremenijo sliko. Želeli sva se osredotočiti na fotografiranje narave ter njene lepote. Prav tako je bil namen naloge napisati priporočila za izdelavo preproste kamere in prikazati, kaj vse vpliva na fotografijo. Nisva želeli, da bi se kvaliteta fotografije primerjala s sodobnimi fotoaparati, ampak sva hoteli približati umetniški vidik nastale fotografije in prikazati nekatera fizikalna in tehniška ozadja pri nastanku slike.

3.4 Izračuni

Odločili sva se, da bova izdelali kamero formata $6 \times 12 \text{ cm}$. V ta namen sva morali opraviti nekaj izračunov, ki so prikazani spodaj.

Zorni kot kamere

Izračunamo ga s pomočjo enačbe $a = 2 \times \arctan(d/2f)$, kjer je:

a – zorni kot,

d – diagonala slike,

f – goriščna razdalja (razdalja od luknjice do zadnje ploskve kamere).

Če vzamemo najino pinhole kamero, bi račun potekal po naslednjem postopku.

Najprej po Pitagorovem izreku izračunamo diagonalo slike $d = \sqrt{6^2 + 12^2} = 13,4 \text{ cm}$.

Goriščna razdalja kamere znaša 4 cm.

Nato izračunamo $d/2f$, kar pri najini kameri znaša 1,675. Poiščemo $\arctan 1,675$ in dobimo vrednost 59,16.

Zadnji korak: $a = 2 \times \arctan(1,675) = 2 \times 59,16 = 118,32^\circ$.

Premer luknjice

Premer luknjice izračunamo po enačbi: $d = c \sqrt{f \times l}$, kjer je:

d – premer luknjice,

c – konstanta (1,9),

f – goriščna razdalja (4 cm),

l – valovna dolžina svetlobe.

Največkrat se uporablja valovna dolžina rumene svetlobe, ki znaša približno 0,000570 mm.

Tako dobimo: $d = 1,9 \sqrt{40 \times 0,000570} = 0,29 \text{ mm.}$

Zaslonka

Zaslonko izračunamo po naslednji enačbi f/d , kjer je:

f – goriščna razdalja,

d – premer luknjice.

Tako dobimo: $40/0,29 = 138$.

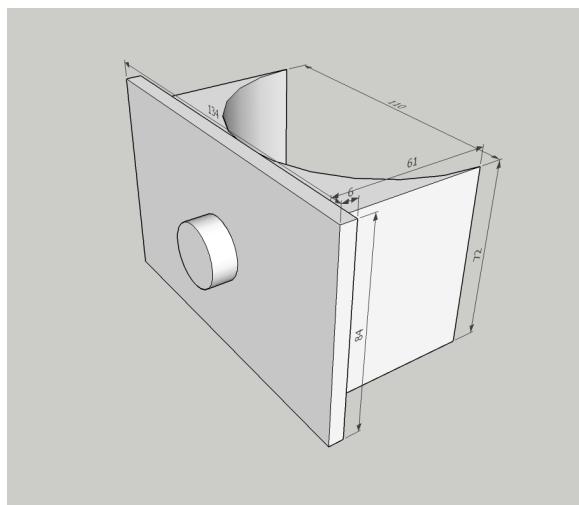
Za izračun zaslonke se lahko uporabi tudi spletni kalkulator Zero image, ki je dostopen na spletni strani <http://www.zeroimage.com/tools/fstopcal4.php>.

(Pinhole Formulae. Picto.info, 2022)

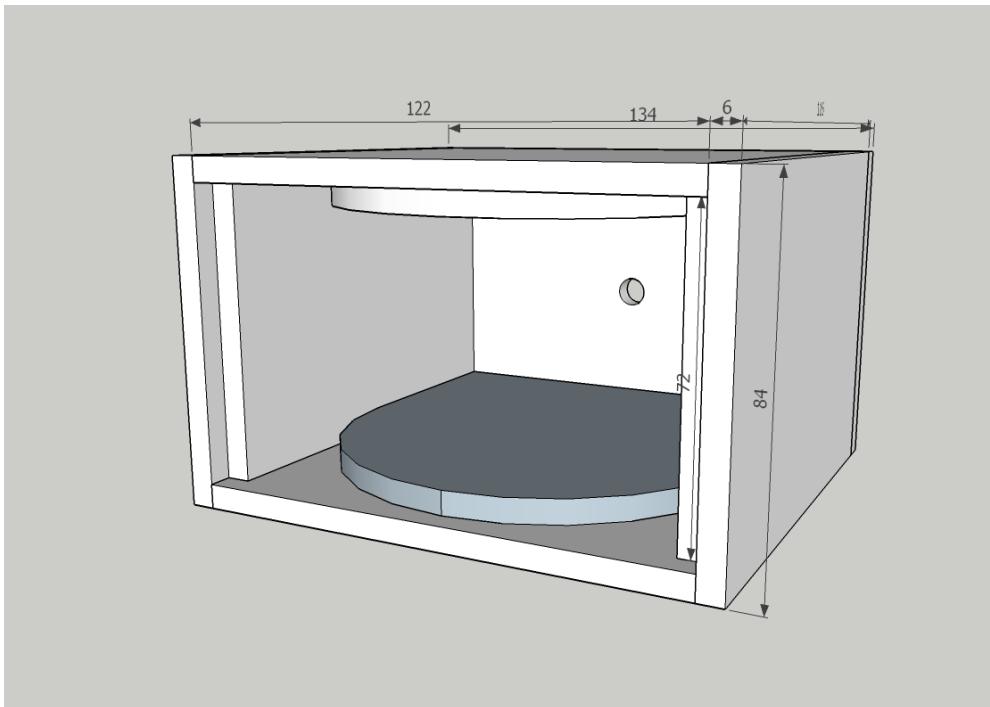
3.5 Izdelava pinhole kamere in postopek fotografiranja

Fotografirali sva s štirimi pinhole kamerami, slike pa so pri vsaki bile drugačne. Najprej sva poizkušali s kamerom, natisnjeno s 3D-tiskalnikom, ampak so bili rezultati neuporabni, saj je skozi kamerom prodiralo preveč svetlobe zaradi same tehnike 3D-tiska. Nato sva izdelali dve kamere iz lesa, eno z ravnim zaslonom in eno z ukrivljenim. Pred izdelavo kamere z ukrivljenim zaslonom pa sva kot pinhole kamero uporabili valjasto embalažno posodo.

Vse pinhole kamere sva najprej zmodelirali v programu SketchUp.



Slika 9: Pokrov kamere



Slika 10: Ohišje pinhole kamere z ukrivljeno geometrijo

Ko se je prva kamera po dolgotrajnem tiskanju le natisnila (slika 11), sva jo žeeli preizkusiti, ampak pokrov je bil nekoliko prevelik in sva ga morali zbrusiti na primerno velikost, tako da sva ga lahko vstavili v škatlico. Po preizkusu sva bili nad rezultati razočarani, saj je fotografija izgledala kot čebelji panj (slika 12). Kar nekaj časa sva ugotavljali vzrok napake, nato pa sva prišli do zaključka, da je za to bila kriva tehnika samega 3D-tiska, saj je svetloba uhajala skozi ploskve. Ko sva jo v notranjosti oblepili s črnim kartonom, je bil rezultat zelo podoben prejšnjemu.

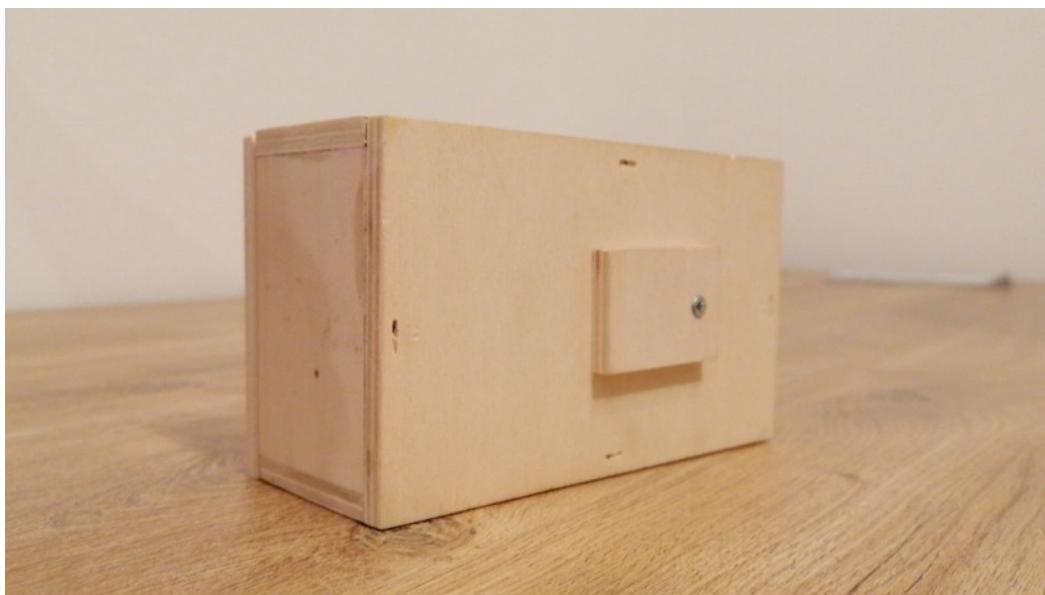


Slika 11: 3D-natisnjena kamera, format 6 x 12 cm, izdelana januarja 2023



Slika 12: Prva fotografija, narejena s pomočjo 3D-natisnjene kamere

Zaradi neuspešnih rezultatov, pridobljenih s 3D-natisnjeno kamero, sva se raje odločili za izdelavo kamere iz lesa (slika 13).



Slika 13: Lesena pinhole kamera, format 6 x 12 cm

Kamera je bila enake velikosti in enakih karakteristik kot 3D-natisnjena kamera, vendar je v tem primeru slika uspela in na fotografiji sva zagledali pokrajino, ki sva jo slikali. Pojavila pa se je še ena težava, namreč slika se je prikazala samo v obliki kroga in uporabni del fotopapirja, na katerem je bila podoba vidna, je bil zelo majhen. Poskušali sva povečati zunanjo luknjico, a sva dobili še slabše rezultate.



Slika 14: Fotografija hiše ob šoli, izdelana z leseno kamero z ravno geometrijo pokrova



Slika 15: Slika hiše, izdelana z leseno kamero z ravno geometrijo pokrova (izrez osrednjega dela fotografije)

Pri reševanju te težave sva dobili idejo, da bi namesto pravokotne kamere uporabili posodo valjaste oblike.

Tako sva izbrali kartonasto škatlo valjaste oblike (slika 17), ki sva jo znotraj pobarvali s črno barvo. Po prvem fotografiraju so bili rezultati zelo slabi, saj je bil osvetlitveni čas prekratek. To se nama je zgodilo kar nekajkrat, a sprva nisva vedeli, kje je bila težava. Najprej sva v temnici zamenjali razvijalec ter ponovno odšli fotografirat, a so bile slike še vedno iste. Mislili sva tudi, da je morda kaj narobe s fotografiskim papirjem, ampak resnična težava je bil osvetlitveni čas. Ko sva tega podaljšali, so bile tudi slike izrazito boljše in s prvimi rezultati sva bili zadovoljni.



Slika 16: Slika hiše ob šoli, izdelana z valjasto kamero iz kartona



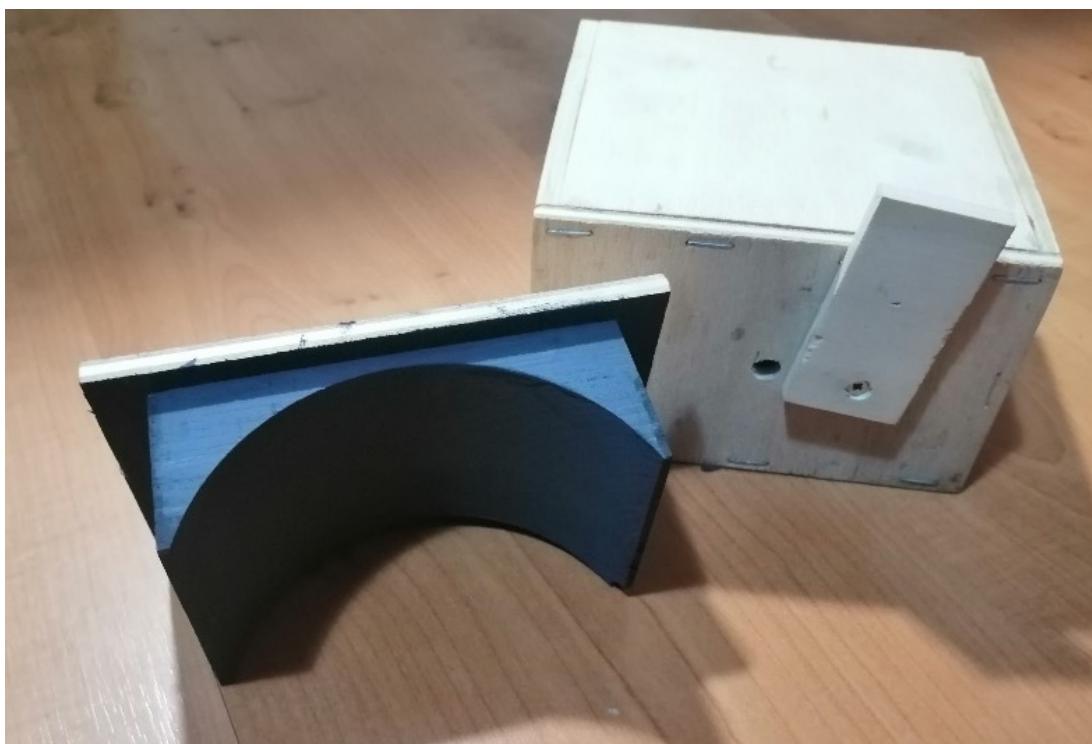
Slika 17: Pinhole kamera iz kartona valjaste oblike s premerom 11 cm

Želeli sva videti, kakšne bi bile fotografije, če bi hišo slikali od blizu. Dobili sva rezultat, prikazan na sliki 18. Slika ni bila ostra, verjetno zato, ker sva med fotografiranjem premaknili kamero.



Slika 18: Fotografija hiše od blizu

Ker pa nisva želeli fotografirati samo s kartonasto škatlo, sva izdelali še kamero iz lesa, ki je imela ukrivljen zaslon na pokrovu, kamor sva polagali foto papir. Ta kamera je tako bila nekakšna kombinacija druge in tretje kamere. Tudi ta je bila formata 6 x 12 cm. V notranjosti sva jo pobarvali s črno barvo.



Slika 19: Lesena kamera z ukrivljeno geometrijo pokrova



Slika 20: Slika hiše ob šoli, izdelana z leseno kamero z ukrivljeno geometrijo pokrova

Osvetlitveni čas slike 20 je bil okoli 20 sekund. Slika je premalo osvetljena, kar je očitno zaradi meglenega videza. Obstaja pa možnost, da je za to kriv star razvijalec.

Ko je bil dan zelo sončen, so bili osvetlitveni časi kraješi. V zelo sončnem vremenu so se gibali okoli treh sekund.

Pri vsaki izmed fotografskih kamer sva naredili eno večjo luknjo na sredini fotoaparata, v notranjost pa sva dali še karton z manjšo luknjico, večinoma premera od 0,2 do 0,3 mm. Skozi to manjšo luknjico je svetloba prodirala v fotoaparat.

3.6 Razvijanje fotografij

Fotografije sva razvijali v temnici. Vse predore svetlobe sva prekrili s črnimi vrečami za smeti in v prostor dodali še luč z rdečo svetlobo ter mizo, na kateri sva razvijali fotografije, kar je prikazano na sliki 21.



Slika 21: Provizorična temnica

Na sliki so vidne tri različne posode. V rdeči je razvijalec. Na začetku sva pripravili zmes z 250 ml destilirane vode in 11 ml razvijalca. Izkazalo se je, da je bilo to razmerje napačno, zato sva izbrali drugačno razmerje, in sicer 200 ml destilirane vode in 50 ml razvijalca. V razvijalcu fotografije dobijo svojo podobo oz. se razvijejo. Na tej stopnji se slika nahaja toliko časa, dokler se ne prikaže. Uporabili sva razvijalec za papir Adox Neutol ECO.

V sivi posodi se nahaja zmes, ki prekine postopek razvijanja. Tukaj se slika nahaja 10 s. Zmes je sestavljena iz 250 ml destilirane vode ter 13 ml stoperja. Uporabili sva Adox stop bath koncentrat.

Nato sva sliko prestavili v fiksir, kjer se podoba na fotopapirju fiksira oz. obdrži, tudi ko jo izpostavimo navadni svetlobi. V tej raztopini je bilo 250 ml destilirane vode in 36 ml fiksirja. V tej posodi sva sliko fiksirali približno 1 minuto. Uporabili sva Adox Adofix fiksir.

Po teh postopkih je sliko potrebno dobro izprati s tekočo vodo, kar traja vsaj 3 min., da se vse kemikalije odplaknejo.

Po prvih razvijanjih nama nikakor ni uspelo pridobiti fotografije, saj se v razvijalcu ni prikazala. Po kar nekaj poskusih sva ugotovili, da je težava v starem razvijalcu, ki je bil že predolgo odprt. Ko sva uporabili nov razvijalec, te težave več ni bilo in fotografije so se lepo razvile.

Dolžino razvijanja sva prilagajali glede na videz fotografije med razvijanjem in glede na izkušnje. Sklepali sva, da kadar sliko dlje časa osvetljujemo, bi se potem tudi dlje časa razvijala, kar pa ni držalo.

3.7 Velikost luknjice in ostrina slike

Ker sva težili k čim bolj ostri fotografiji, naju je začelo zanimati, kako velikost luknjice vpliva na ostrino, ne glede na razne tabele, ki jih lahko najdemo v knjigah ali na spletu. Zato sva se lotili tega eksperimenta. Uporabili sva kamero z ukrivljeno zadnjo ploskvijo.

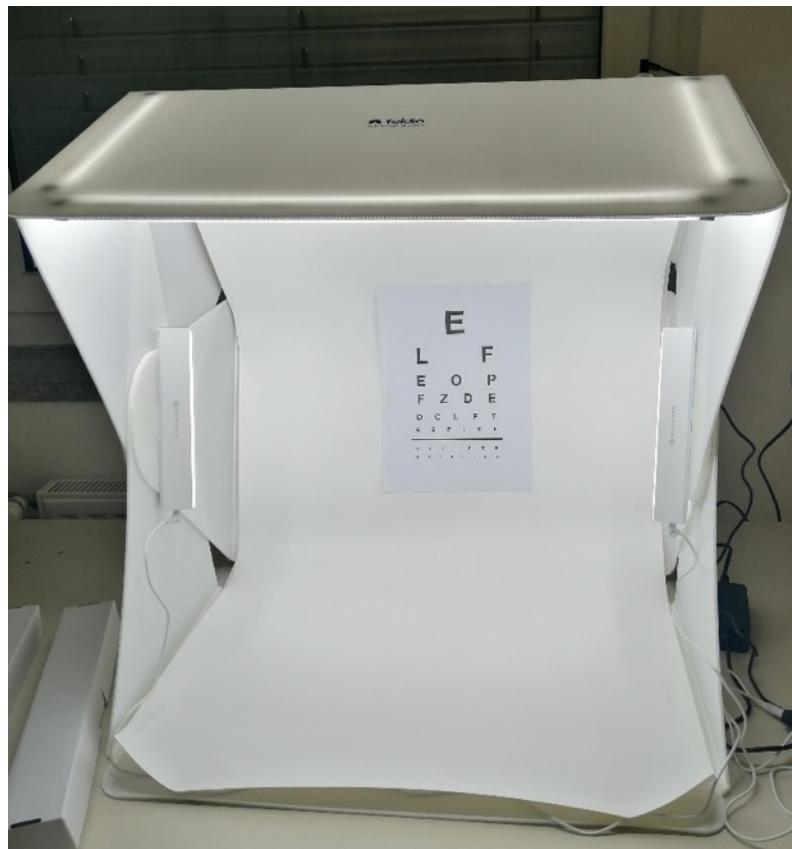
Za velikost luknjic sva izbrala velikosti 0,1 mm, 0,2 mm, 0,25 mm, 0,3 mm, 0,4 mm, 0,5 mm ter 0,6 mm.

Na začetku sva poskusili fotografirati kar ob naravni svetlobi v učilnici, kar prikazuje slika 22. Pri tem fotografiranju sva bili odvisni od naravne svetlobe, ki pa se je ves čas spremenjala.



Slika 22: Prvi poskus v učilnici in spremenljive svetlobne razmere

Ker se je ta metoda izkazala za neprimerno, sva se odločili za drugačen poskus. Učitelj nama je posodil prenosni foto studio za produktno fotografijo, v katerem je enakomerna osvetlitev, kar je prikazano na slikah 23 in 24. Označili sva tudi razdaljo med fotoaparatom in listom papirja, ki je ves čas izvajanja eksperimenta ostajala nespremenjena. Tako sva izločili vse zunanje dejavnike, ki bi lahko vplivali na ostrino fotografije. Spreminjali sva le velikost luknjic in posledično tudi osvetlitveni čas. Osvetlitveni čas sva določili s pomočjo telefonske aplikacije Light meter.



Slika 23: Prenosni foto studio, preizkus ostrine



Slika 24: Delovno mesto med preizkusom ostrine

Na fotografski kamери sva spremenjali velikost luknjice na kartonu, ki sva ga prilepili v notranjosti. Luknjico sva naredili s pomočjo zelo majhnih svedrov, ki so prikazani na sliki 25.



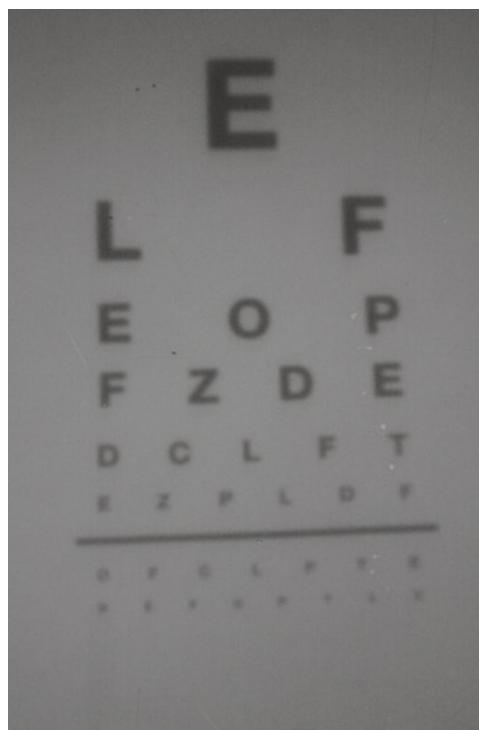
Slika 25: Na levi so svedri, ki si sledijo od velikosti 0,1 mm do 1,0 mm, na desni so vsi svedri velikosti 0,25 mm

Med fotografiranjem z luknjico 0,1 mm rezultati sploh niso bili vidni. Slika se ni prikazala. Ker je bila luknjica najmanjša, sva osvetljevali največ časa, in sicer 4 min. Prav tako sva kar 10 min. poskušali razviti fotografijo, vendar se žal podoba ni prikazala.

Nato sva poskusili z velikostjo luknjice 0,2 mm, kjer so bili rezultati že bolje vidni. Sliko sva prvič osvetlili 1 minuto in 30 sekund, kar je prikazano na sliki 26. Ker pa se nama je zdela premalo osvetljena in tudi zamegljena, sva poskus ponovili, tokrat 2 minuti in 15 sekund. Rezultati pa se niso pretirano spremenili, kar je prikazano na sliki 27. S pomočjo spletne strani Zero image sva izračunali, kakšna bi bila zaslonek ob tej luknjici. Ugotovili sva, da bi bila vrednost zaslonek 200.

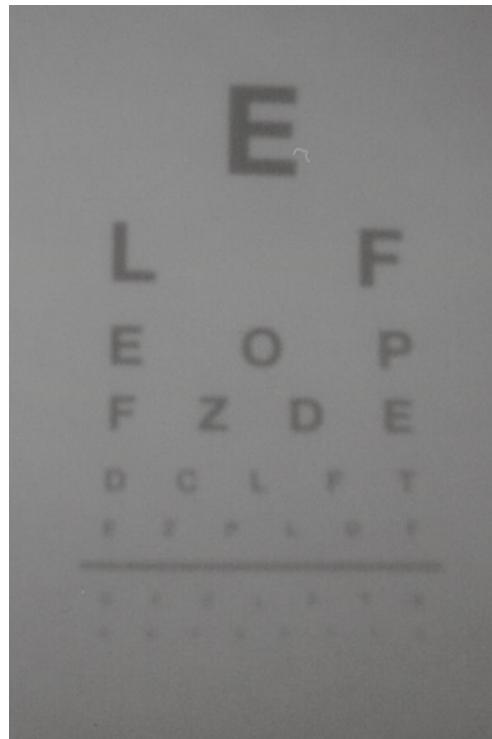


Slika 26: Fotografija, izdelana skozi luknjico 0,20 mm, osvetlitveni čas: 1 min. 30 s.



Slika 27: Fotografija, izdelana skozi luknjico 0,20 mm, osvetlitveni čas 2 min. 15 s.

Nato sva uporabili velikost luknjice 0,25 mm, osvetljevali sva 2 minuti, kar je prikazano na sliki 28. Slika ni najbolj kontrastna in tudi ostra ni. To velikost luknjice sva sicer predtem uporabljali za vse ostale fotografije. Zaslonka pri luknjici 0,25 mm znaša 160.



Slika 28: Fotografija, izdelana skozi luknjico 0,25 mm, osvetlitveni čas 2 min.

Naslednji poskus sva izvedli z luknjico velikosti 0,30 mm. Sliko sva osvetljevali 2 minuti (slika 29). Glede ostrine so rezultati najbolj opazni pri manjših črkah. Opazimo lahko, da je slika, narejena s pomočjo luknjice 0,30 mm, bolj ostra kot prejšnja z velikost 0,20 mm. Velikost zaslonek pri luknjici 0,30 mm je bila 133.

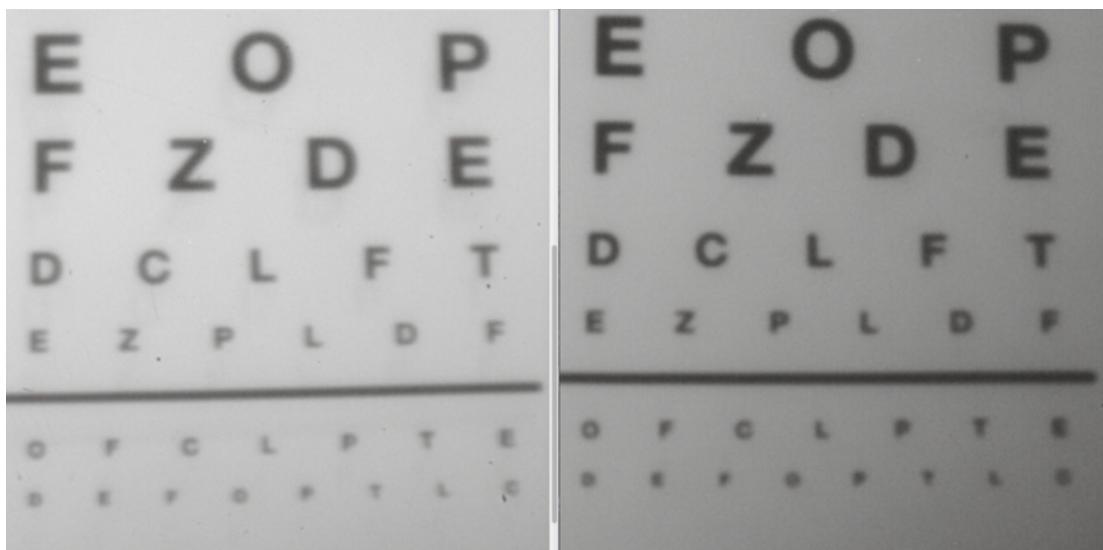


Slika 29: Fotografija, izdelana skozi luknjico 0,30 mm, osvetlitveni čas 2 min.

Nato sva enak postopek ponovili tudi z luknjico velikosti 0,40 mm. Sliko sva osvetljevali 1 minuto in 45 sekund. Rezultat je prikazan na sliki 30. Na sliki 34 je narejena primerjava s fotografijo, narejeno z luknjico 0,30 mm. Slika pri velikosti luknjice 0,40 mm je bolj ostra in fotografija s to velikostjo luknjice se je izkazala kot najbolj ostra slika. Velikost zaslonek je bila 100.

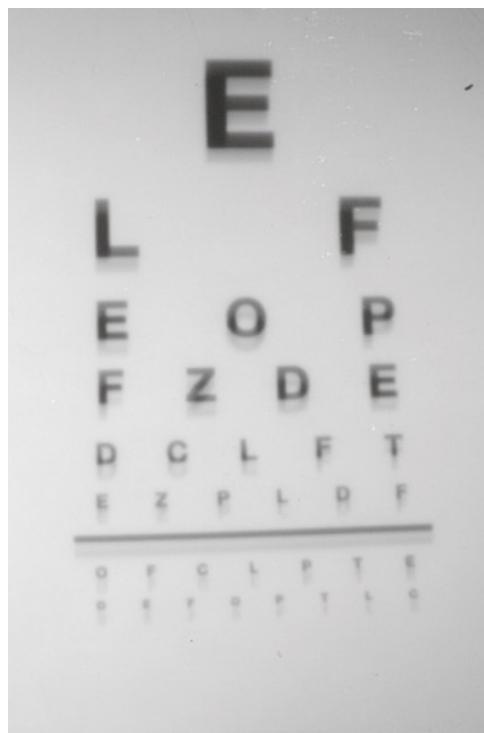


Slika 30: Fotografija, izdelana skozi luknjico 0,40 mm, osvetlitveni čas 1 min. 45 s.



Slika 31: Primerjava fotografij, izdelanih skozi luknjico 0,30 mm (levo) in 0,40 mm (desno)

Na koncu sva fotografirali še skozi luknjici s premeroma 0,50 mm in 0,60 mm. Pri velikosti luknjice 0,50 mm sva osvetljevali 1 minuto in 30 sekund, pri velikosti luknjice 0,60 mm pa 1 minuto in 20 sekund. Sliki sta bili manj ostri od slike, narejene skozi luknjico 0,40 mm. Predvsem slika skozi luknjico 0,50 mm je bila zelo neostra. Razlog bi lahko bil v majhnem premiku kamere med fotografiranjem, česar pa sicer nisva zaznali. Zaslonka pri luknjici 0,50 mm je bila 80, pri 0,60 mm pa 67.



Slika 32: Fotografija, izdelana skozi luknjico 0,50 mm, osvetlitveni čas 1 min. 30 s.



Slika 33: Fotografija, izdelana skozi luknjico 0,60 mm, osvetlitveni čas 1 min. 20 s.

Med razvijanjem fotografij sva ugotovili, da večja kot je luknjica, krajši čas se slika razvija.

3.8 Debelina kartona in ostrina slike

Na koncu sva žeeli izvedeti, ali debelina materiala, skozi katerega je narejena luknjica, vpliva na ostrino slike. Za poskus sva uporabili karton z debelino 0,25 mm in aluminijasto folijo. V obeh primerih sva uporabili velikost luknjice 0,40 mm. Z vstavljanjem alu folije v kamero sva imeli kar nekaj težav.



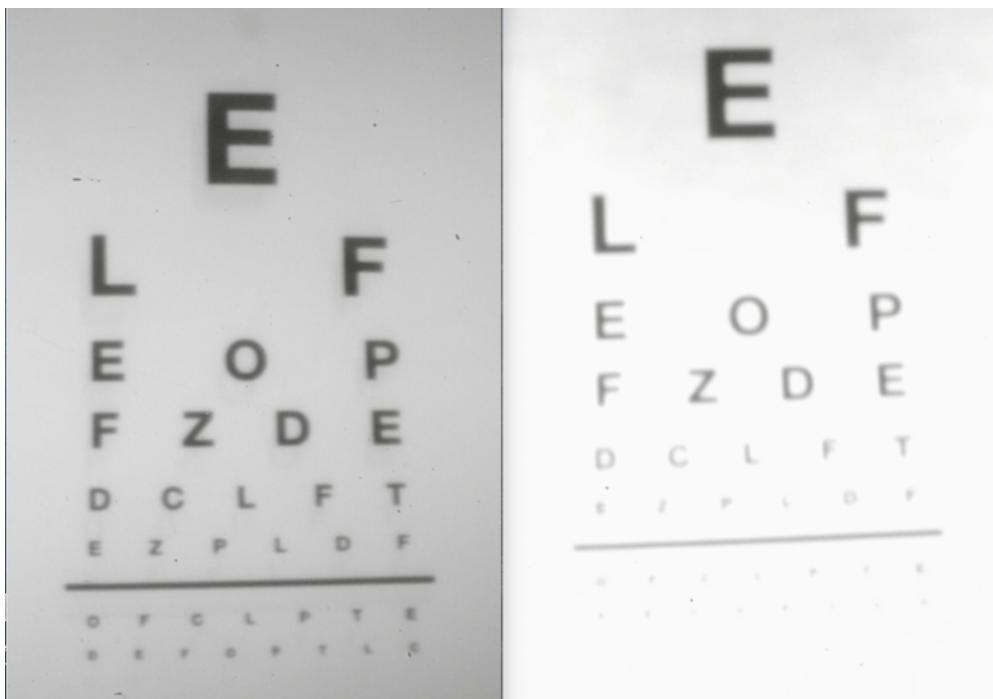
Slika 34: Notranjost fotoaparata pred fotografiranjem skozi luknjico v aluminijasti foliji

Slika, narejena s pomočjo luknjice v aluminijasti foliji, se je razvijala precej hitreje. Po celotni fotografiji so bili vidni madeži. Slika je bila manj ostra.



Slika 35: Fotografija, izdelana skozi luknjico 0,40 mm v aluminijasti foliji, osvetlitveni čas 1 min. 45 s.

Za lažjo primerjavo sva sliki postavili eno ob drugo in opazili, da je fotografija, narejena s pomočjo luknjice v kartonu, bolj ostra.



Slika 36: Fotografija, izdelana skozi luknjico 0,40 mm v kartonu (levo) in skozi luknjico 0,40 mm skozi aluminijasto folijo (desno)

4 RAZPRAVA

V raziskovalni nalogi sva ugotovili, da kamera ni le škatla z luknjo, ampak lahko spremojamo veliko dejavnikov, da pridobimo sliko boljše kvalitete. Med fotografiranjem sva bili kar nekajkrat presenečeni nad rezultati. Največjo težavo nama je povzročal osvetlitveni čas. Tako sva kar nekaj fotografiranj morali ponoviti. Težava se je pojavila predvsem na prostem, saj so časi dolgi in tudi osvetlitev se med samim fotografiranjem spreminja. Z izdelanimi kamerami sva zadovoljni, najbolj z leseno z ukrivljeno zadnjo ploščo. Veselilo naju je, da sva z vsako kamero pridobili boljše rezultate in se dobesedno učili iz napak. Tudi nepričakovani rezultati so nama dali kar nekaj odgovorov. Ugotovili sva, kako kamera deluje, in to, da je potrebno kar nekaj tehničnega in fizikalnega znanja za uporabo pinhole kamere. Spoznali sva, kako zahtevno je pridobiti popolno sliko s tako nepopolno fotografsko kamero. Za vsako sliko se skriva ogromno truda in upava, da bo ta najina raziskovalna naloga služila tudi kot pomoček tistim, ki bi želeli sami pričeti z izdelavo fotografij s pomočjo pinhole kamere.

5 ZAKLJUČEK

Pinhole kamera ni le preprosta škatla z luknjico. Ta kamera je začetek shranjevanja spominov. Najprej sva želeli ustvariti to škatlo spominov s pomočjo 3D-printerja. Ker so bili rezultati zelo slabi, tiskanje pa dolgo, sva se odločili spremeniti material. Uporabili sva les ter ustvarili podobno kamero, ki sva jo pred tem že natisnili. Ker so bile prve slike premajhne oz. se je na fotopapirju prikazala samo oblika kroga, v kateri je bila skrita slika, sva naredili kamero iz preproste ovalne škatle. Slike so v tej kameri prekrite praktično celotno površino fotopapirja, ampak te škatlice nisva želeli poimenovati kamera. Zato sva naredili še eno pinhole kamero, ki je bila zmes drugega lesenega fotoaparata ter tretje kartonaste škatle. Nato se je pričelo dolgotrajno raziskovanje popolne ostrine. Spreminjali sva velikost luknjice,

ukriviljenost fotopapirja ter debelino materiala, v katerem je bila luknjica. S temi dejavniki sva se ukvarjali skozi celotno raziskovalno nalož.

V raziskovalni nalogi sva si zastavili tri glavna raziskovalna vprašanja. Na koncu sva prišli do naslednjih zaključkov:

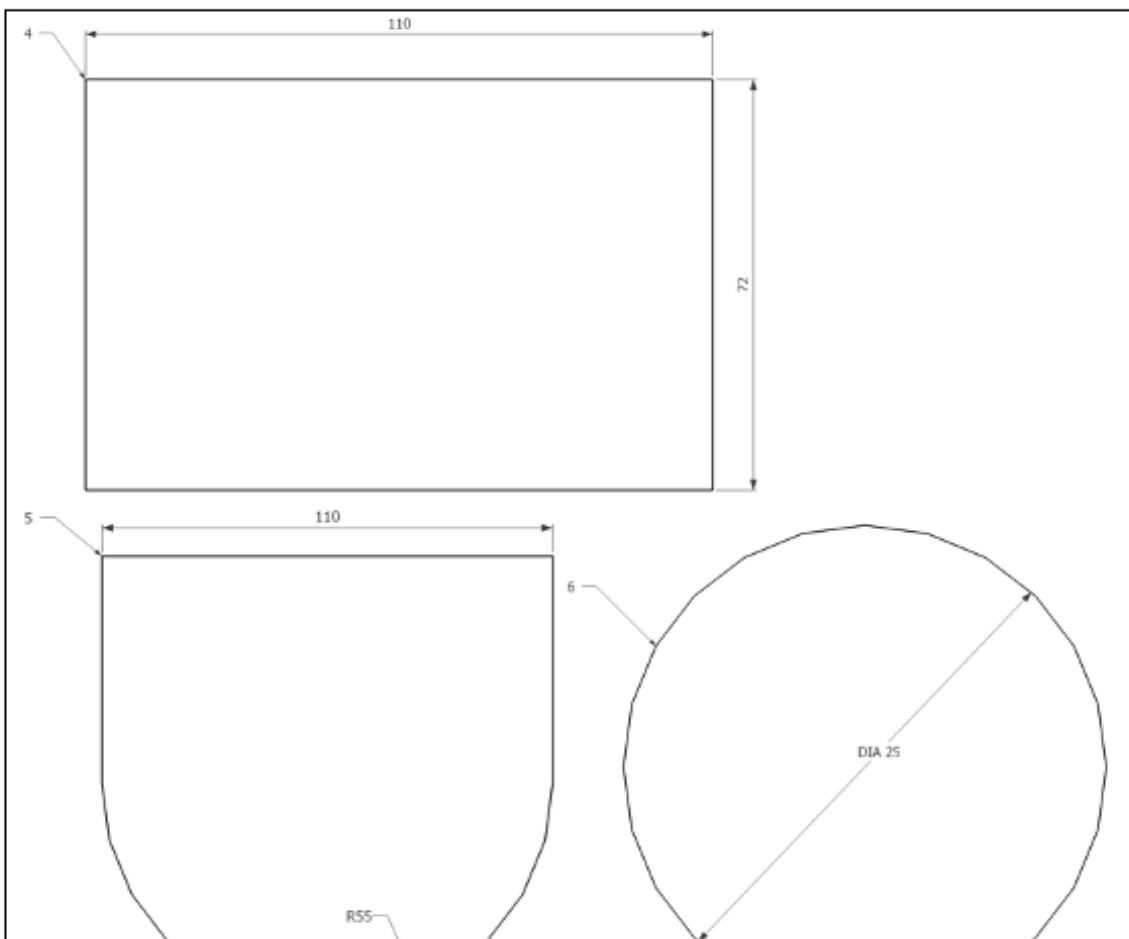
- velikost luknjice vpliva na ostrino fotografije,
- najbolj ostra je fotografija, narejena skozi luknjico s premerom 0,40 mm, kar pa je v nasprotju s podatki, ki sva jih zasledili v literaturi, kjer je navedeno, da bi najbolj ostra bila fotografija, narejena skozi luknjico 0,25 mm pri gorščni razdalji 40 mm.
- ukriviljenost fotopapirja na projicirni ploskvi vpliva na velikost nastale fotografije,
- debelina materiala, skozi katerega je narejena luknjica, vpliva na ostrino fotografije.

6 VIRI IN LITERATURA

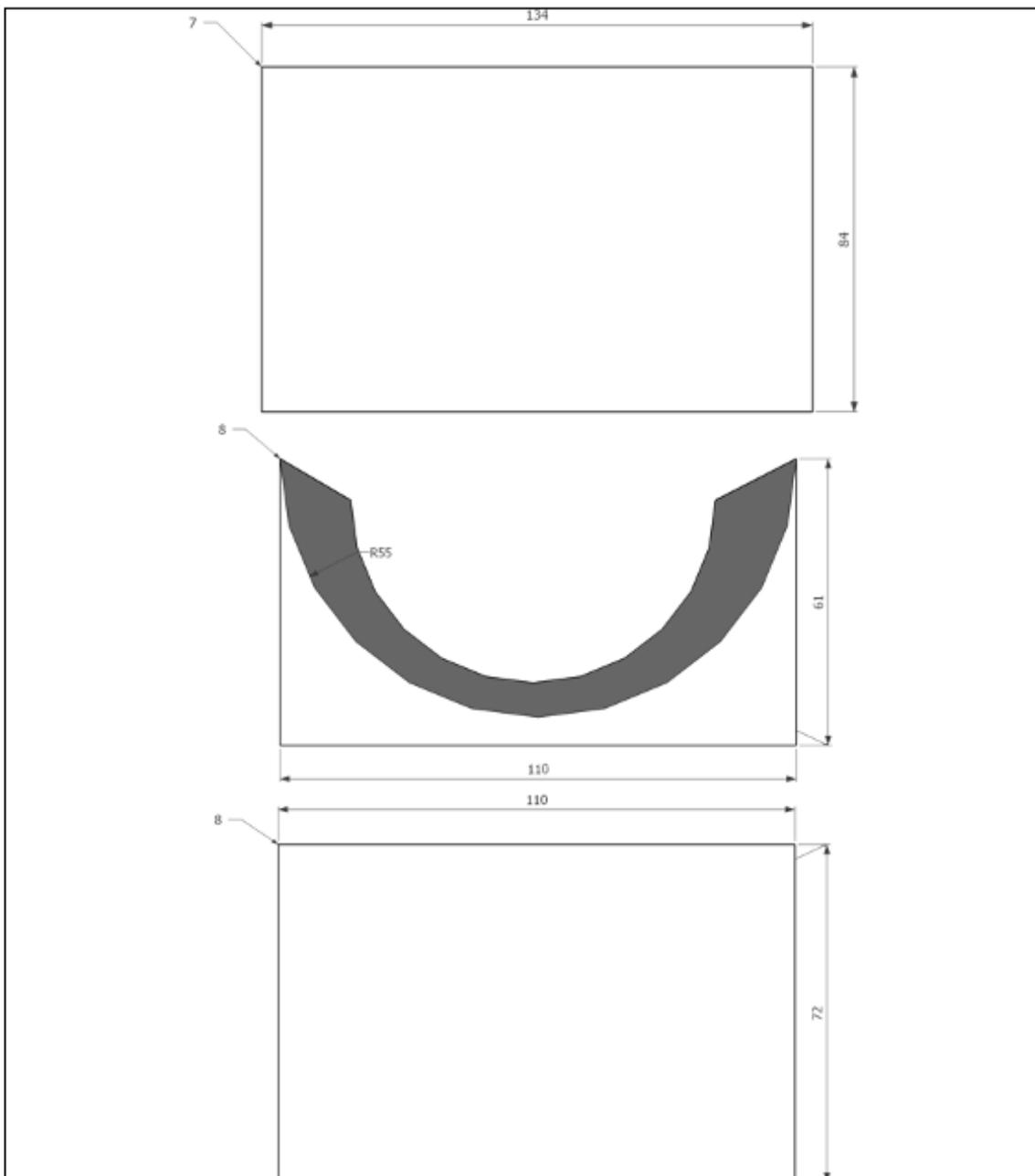
- Ačko A. (2017). *Dokumentacija starih fotografij (diplomska delo)*. Pridobljeno 30. 12. 2022 s <https://repozitorij.uni-lj.si/Dokument.php?id=95415>
- Camera obscura. (2022). Na *Wikipedia.org*. Pridobljeno 18. 1. 2023 s https://sl.wikipedia.org/wiki/Camera_obscura
- Characteristics of pinhole photography. (2023). Na *auloma.com*. Pridobljeno 15. 1. 2023 s <https://www.auloma.com/en/resources/learning/p-characteristics-pinhole-photography.html>
- Fabbri G., Fabbri M., Wiklund P. (2009). *From pinhole to print Inspiration, instructions and insights in less than an hour.* Pridobljeno 21. 2. 2023 s https://www.alternativephotography.com/download/from_pinhole_to_print.pdf
- How choose a pinhole camera. (2023). Na *auloma.com*. Pridobljeno 15. 1. 2023 s <https://www.auloma.com/en/resources/learning/p-how-choose-pinhole-camera.html>
- Kratek pogled v zgodovino fotografije. (2020). Na *analognafotografija.si*. Pridobljeno 1. 12. 2022 s <https://analognafotografija.si/zgodovina>
- Mossing Holsteijn, B. (2022). *Pinhole Formulae.* Pridobljeno 22. 12. 2022 s http://www.picto.info/pinholdoc/PINformules_e.pdf
- Photographic paper. (2022). Na *Wikipedia.org*. Pridobljeno 18. 1. 2023 s https://en.wikipedia.org/wiki/Photographic_paper
- Renner E. (2015). *Pinhole photography From HistoricTechnique to Digital Application.* Pridobljeno 17. 2. 2023 s https://issuu.com/estenopeic/docs/pinhole_photography_from_historic_t
- Simčič M. (2014). *Občutljivost ISO.* Pridobljeno 21. 2. 2023 s <https://fotoucilnica.com/obcutljivost-iso/>
- Smets R. (2012). *Tips for the construction of a pinhole camera.* Pridobljeno 15. 1. 2023 s http://www.picto.info/pinholdoc/CAMOBS_e.pdf
- Zgodovina Camere obscure. (2019). Na *Celjefokus.si*. Pridobljeno 18. 2. 2023 s http://www.celjefokus.si/sl/Zgodovina_Camere obscure
- Zgodovina fotografije in fotografiske tehnike. (2018). Na *museum.si*. Pridobljeno 30. 12. 2022 s <https://museums.si/sl-si/Domov/Razstave-dogodki/Dogodek?id=405739>

7 PRILOGE

2	Dno	3	Vezana plošča	122x116
1	Sprednji del	2	Vezana plošča	134x84
2	Zunanja stranica	1	Vezana plošča	116x84
Kos	Predmet	Poz	Gradivo	Mere
			Osnovna šola Anice Černejeve Makole	
Risal	Datum 15. 1. 2023	Ime in priimek Maja Hajšek		
Pregledal				
Merilo 1:1	Predmet Pinhole kamera		Razred 9.	
			Številka risbe 1	



1	Držalo na pokrovu	6	les	R12,5
2	Notranje dno	5	Vezana plošča	110x110
2	Notranja stranica	4	Vezana plošča	110x72
Kos	Predmet	Poz	Gradivo	Mere
	Datum	Ime in priimek		
Risal	15. 1. 2023	Maja Hajšek		
Pregledal				
Merilo 1:1	Predmet Pinhole kamera			Razred 9. Številka risbe 2



1	Pokrov zaobljeni del	8	les	110x61x72
1	Pokrov	7	Vezana plošča	134x84
Kos	Predmet	Poz	Gradivo	Mere
		Osnovna šola Anice Černejeve Makole		
Risal	15. 1. 2023	Maja Hajšek		
Pregledal				
Merilo 1:1	Predmet Pinhole kamera	Razred 9. Številka risbe 3		

TEHNOLOŠKI LIST			Predmet:			
	Datum	Priimek	Podpis			
Izdelal	15. 1. 2023	Hajšek, Rojš		Pinhole kamera		
Pregledal	18. 1. 2023	Šafhalter				
Zap. št.	Delovne operacije		Poz.	Gradiva	Orodja, stroji in pripomočki	Zaščitna sredstva
1	Žaganje, brušenje, lepljenje		1	Vezana plošča	Dekupirna žaga, kolutni brusilnik, lesno lepilo	Zaščitna očala, zaščitna obleka, rokavice
2	Žaganje, vrtanje, brušenje, lepljenje		2	Vezana plošča	Dekupirna žaga, vrtalnik, kolutni brusilnik, lesno lepilo	Zaščitna očala, zaščitna obleka, rokavice
3	Žaganje, brušenje, lepljenje		3	Vezana plošča	Dekupirna žaga, kolutni brusilnik, lesno lepilo	Zaščitna očala, zaščitna obleka, rokavice
4	Žaganje, brušenje, lepljenje		4	Vezana plošča	Dekupirna žaga, kolutni brusilnik, lesno lepilo	Zaščitna očala, zaščitna obleka, rokavice
5	Žaganje, brušenje, lepljenje		5	Vezana plošča	Dekupirna žaga, kolutni brusilnik, lesno lepilo	Zaščitna očala, zaščitna obleka, rokavice
6	Lepljenje		6	Smrekov les	Lesno lepilo	Zaščitna obleka, rokavice
7	Žaganje, brušenje, lepljenje		7	Vezana plošča	Dekupirna žaga, kolutni brusilnik	Zaščitna očala, zaščitna obleka, rokavice
8	Žaganje, brušenje, lepljenje		8	Smrekov les		Zaščitna očala, zaščitna obleka, rokavice