

Razvoj koncepta i konstrukcije nosača mobilnog uređaja za upotrebu na sportskim terenima

Marković, Karlo

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:298637>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-15**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij strojarstva

Diplomski rad

**RAZVOJ KONCEPTA I KONSTRUKCIJE NOSAČA MOBILNOG
UREĐAJA ZA UPOTREBU NA SPORTSKIM TERENIMA**

Rijeka, studeni 2024.

Karlo Marković

0069081406

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij strojarstva

Diplomski rad

**RAZVOJ KONCEPTA I KONSTRUKCIJE NOSAČA MOBILNOG
UREĐAJA ZA UPOTREBU NA SPORTSKIM TERENIMA**

Mentor: Prof. dr. sc. Robert Basan

Komentor: Izv. prof. dr. sc. Tea Marohnić

Rijeka, studeni 2024.

Karlo Marković

0069081406

Rijeka, 14.03.2024.

Zavod: Zavod za konstruiranje
Predmet: CAE u razvoju proizvoda

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnik: **Karlo Marković (0069081406)**
Studij: Sveučilišni diplomski studij strojarstva (1100)
Modul: Konstruiranje i mehatronika (1111)

Zadatak: **Razvoj koncepta i konstrukcije nosača mobilnog uređaja za upotrebu na sportskim terenima / Conceptual and detailed design of a mobile device holder for use on sports fields**

Opis zadatka:

Metodičkim postupcima konstruiranja potrebno je osmisliti i razviti koncept i konstrukciju nosača za mobilni uređaj za korištenje na sportskim terenima. Nosač treba omogućavati prihvat mobilnih uređaja najčešćih dimenzija na tržištu, jednostavnu montažu na sportskim terenima, mogućnost prilagodbe različitim kutovima snimanja te sigurno i stabilno montiranje mobilnog uređaja. Razmotriti mogućnost dodatnih značajki poput otpornosti na udarce, zaštite od vremenskih uvjeta ili spajanje vanjske jedinice za napajanje. Proračunati i dimenzionirati razvijeno rješenje i odabrati sve potrebne komponente. Izraditi 3D računalni model konstrukcije te primjenom odgovarajućeg programa za numeričku analizu, u potrebnom opsegu provjeriti nosivost i krutost kritičnih dijelova konstrukcije. Izraditi prototip nosača metodom 3D tiska. Dokumentirati konstrukcijski proces te izraditi tehničku dokumentaciju rješenja.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanja diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

Zadatak uručen pristupniku: 20.03.2024.

Mentor:
prof. dr. sc. Robert Basan

Komentor:
izv. prof. dr. sc. Tea Marohnić

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:
izv. prof. dr. sc. Igor Bonefačić

Izjava

Izjavljujem da sam diplomski rad „Razvoj koncepta i konstrukcije nosača mobilnog uređaja za upotrebu na sportskim terenima“ izradio samostalno koristeći znanje i iskustvo stečeno tijekom Diplomskog sveučilišnog studija strojarstva, koristeći navedenu stručnu literaturu, uz vodstvo i savjetovanje mentora.

Karlo Marković

Zahvala

Veliko hvala mentoru prof. dr. sc. Robertu Basanu i komentorici izv. prof. dr. sc. Tei Marohnić na kvalitetnom prenesenom znanju, iskustvu i savjetima tijekom cijelog studija, kao i na pruženom stručnom vodstvu tijekom izrade ovog diplomskog rada.

Roditeljima Nataliji i Mariu se neizmjereno zahvaljujem na neiscrpoj podršci i razumijevanju tijekom studija i cijelog školovanja, a kolegama i prijateljima na brojnim savjetima i činjenju studija užitkom.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Terminologija	2
2. ANALIZA TRŽIŠTA I POSTOJEĆIH RJEŠENJA	5
2.1. Postojeća rješenja	8
2.1.1 LynkSpyder	9
2.1.2 Nexus Mount The OG	10
2.1.3 Swing Stick	11
2.1.4 Hvataljke	12
2.2. Zaključak analize postojećih rješenja	13
3. LISTA ZAHTJEVA I VREDNOVANJE POSTOJEĆIH RJEŠENJA	14
3.1. Zahtjevi za novi proizvod.....	14
3.1.1 Lista zahtjeva.....	18
3.2. Vrednovanje.....	19
3.2.1 Kriteriji vrednovanja	19
3.2.2 Vrednovanje postojećih rješenja	22
4. NOVO RJEŠENJE	26
4.1. Koncipiranje	26
4.2. Razrada konstrukcijskih detalja	28
4.2.1 Kuke za vješanje nosača za ogradu	28
4.2.2 Prolazi za pomoćno vješanje i povezivanje.....	36
4.2.3 Montaža držača i dodatka	37
4.2.4 Kuka za vješanje dodatka	41
4.3. Odabir materijala	42
4.4. Odabir dodatka od treće strane	44
4.4.1 Držać pametnog telefona.....	45
4.4.2 Hvataljka pametnog telefona.....	46
4.4.3 Hvataljka SSD uređaja	47
4.5. Preliminarna cijena novog rješenja.....	48
4.6. Vrednovanje novog rješenja	49

5. IZRADA 3D CAD MODELA NOSAČA I NUMERIČKA ANALIZA	53
5.1. 3D model	54
5.1.1 Prilagodba konstrukcijskih detalja 3D tisku.....	59
5.2. Statička analiza metodom konačnih elemenata	62
5.2.1 Postavke materijala	63
5.2.2 Analiza postolja za montažu pametnog telefona i dodataka	67
5.2.3 Analiza kuke za vješanje dodataka.....	72
5.2.4 Analiza cijelog nosača.....	76
5.3. Optimizacija modela.....	82
5.3.1 Rezultat 1.....	84
5.3.2 Rezultat 2.....	86
5.3.3 Rezultat 3.....	87
5.3.4 Osvrt na rezultate i odabir konačnih dimenzija.....	89
5.4. Dodavanje orebrenja zbog nepredvidivih opterećenja	94
5.4.1 Analiza naprezanja	95
6. IZRADA NOSAČA 3D TISKOM.....	98
6.1. Postavke za 3D tisak.....	98
6.1.1 Konačna masa i cijena proizvoda.....	99
6.2. Izrađeni nosač	101
7. KONAČNI PROIZVOD	102
7.1. Nosač u upotrebi.....	102
7.1.1 Montaža pametnog telefona i dodataka.....	102
7.1.2 Montaža na poprečnu cijev ograde.....	104
7.1.3 Montaža na žičanu ogradu.....	106
7.2. Konačno vrednovanje	107
8. ZAKLJUČAK.....	111
9. LITERATURA	112
10. POPIS KRATICA	116
11. POPIS SLIKA.....	117
12. POPIS TABLICA.....	120
13. SAŽETAK.....	121
14. SUMMARY.....	122

1. UVOD

Posljednjeg desetljeća, razvojem tehnologije pametnih telefona te općenito eksponencijalnim razvojem mikroprocesorske tehnologije, pametni telefoni su se počeli koristiti kao alat i pomagalo u sve više, dotad nezamislivih, načina upotrebe. Jedan od njih je korištenje pametnih telefona radi snimanja videozapisa utakmica, treninga i ostalih sportskih događanja za potrebe kasnijeg pregleda i analize istih u svrhu poboljšanja sportskih vještina. Za takav način snimanja je korisnicima potrebna metoda montaže pametnih telefona, videokamera male mase ili sličnih mobilnih uređaja, na sportskom terenu ili u njegovoj neposrednoj blizini. Metoda montaže može biti putem stativa za fotoaparate i videokamere (engl. *tripod*) koji su postavljeni na tlo na samom sportskom terenu, no ponekad se ukazuje potreba za montažom ovih uređaja na ograde i ostale pregrade sportskih terena.

Ovaj rad se bavi razvojem jednog takvog nosača za pametne telefone i ostale mobilne uređaje, koji korisniku omogućuje jednostavnu i brzu montažu ovakvih uređaja na povišene pozicije za potrebe snimanja videozapisa aktivnosti na sportskim terenima. Dat će se reprezentativni pregled tržišta u vidu analize najčešćih vrsta izvedbi na temelju čega će se izraditi lista zahtjeva za novo konstrukcijsko rješenje. Na osnovi liste zahtjeva i dobivenih spoznaja o postojećim proizvodima na tržištu će se koncipirati novo rješenje. Razradit će se konstrukcijski detalji, odabrati materijal i potrebni dodaci kako bi proizvod što bolje ispunio postavljene zahtjeve, što će se kvantificirati vrednovanjem koncepta novog rješenja.

Rješenje će se dodatno razraditi u CAD (engl. *computer-aided design*) računalnom paketu gdje će se provesti i numerička analiza metodom konačnih elemenata kako bi se utvrdilo je li ostvarena potrebna nosivost i krutost kritičnih dijelova konstrukcije. Dimenzije nosača će se zatim optimizirati kako bi se uštedilo na vremenu i materijalu potrebnom za 3D tisak, nakon čega će se nosač izraditi navedenom tehnologijom. Po izradi, korištenje nosača će se testirati u praksi kako bi se uvidjelo jesu li ispunjeni postavljeni zahtjevi, a proizvod će se zatim konačno vrednovati i usporediti s ostatkom tržišta kako bi se mogao dati zaključak o uspješnosti provedbe zadatka.

1.1. Terminologija

Zbog jednostavnijeg snalaženja i rukovanja sličnim terminima te obzirom na to da se u hrvatskome jeziku kolokvijalno češće koriste i neke engleske posuđenice i nazivi, u nastavku su navedeni i definirani neki bitniji pojmovi koji se koriste u ovome radu.

Nosač kamere/pametnog telefona

Nosačem, u kontekstu proizvoda koji se razvija ovim radom, se smatra proizvod koji se na bilo koji način montira na ogradu sportskih terena. U engleskom prijevodu je „nosač“ *mount*, a u kontekstu ovoga rada je njegov puni naziv „nosač pametnog telefona/kamere za ogradu“ tj. engl. *smartphone/camera fence mount*. To je konstrukcija na koju se montira držač pametnog telefona (opisano u nastavku), kao i svi potrebni dodaci i nastavci. Slika 1.1 prikazuje nekoliko različitih izvedbi ovakvih nosača.



Slika 1.1 Primjeri nosača pametnog telefona

Hvataljka kamere/pametnog telefona

Hvataljkom se smatra svaki proizvod/konstrukcija kojem je funkcija direktno hvatanje kamere ili pametnog telefona čvrstom mehaničkom vezom te koja nudi jedan ili više načina montaže na prethodno opisani nosač ili na dolje opisani držač. Načini montaže na nosač najčešće uključuju standardizirane utore (poput tzv. *cold shoe* priključaka koji su opisani kasnije u radu) ili vijčane spojeve. Hvataljke su vidljive i na slici 1.1, a na slici 1.2 je prikazano nekoliko izoliranih primjera.



Slika 1.2 Primjeri hvataljke pametnog telefona

Držač pametnog telefona/kamere (engl. *ball head mount*)

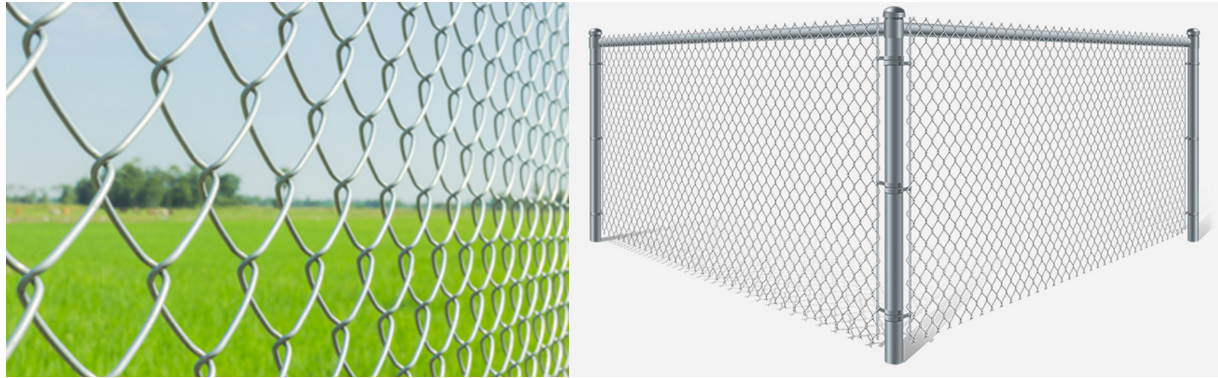
Držačem se smatra proizvod kojem je namjena montirati hvataljku (opisano iznad) na nosač koji će se konstruirati u radu. Sastoji se od postolja s kuglastim utorom i nastavka kuglaste izvedbe na kojeg se, najčešće vijčanim spojem, montira kamera. Zbog kuglastog zgloba se gornji nastavak može slobodno zakretati oko bilo koje osi, a zatezanjem vijčanog mehanizma se učvršćuje u željeni položaj. Inače se ovakav proizvod u fotografskoj i filmskoj industriji koristi za montažu bilo kakvih lakših fotoaparata i kamera ili drugih nastavaka male mase. U toj industriji se često na hrvatskom jeziku naziva „kuglastom glavom“ ili „kugla-glava“ zbog doslovnog prijevoda s engleskog jezika, no u kontekstu ovoga rada će se ovaj proizvod oslovljavati kao „držač pametnog telefona“. Slika 1.3 prikazuje primjer ovakvog držača s tzv. brzo otpuštajućom pločom (engl. *quick-release plate*) na vrhu, koja omogućuje lakše montiranje željenih nastavaka.



Slika 1.3 Primjer držača pametnog telefona/kamere

Ograda i žičana ograda (engl. *chain link fence* ili *mesh fence*)

Žičanom ogradom se smatra ograda koja je sačinjena od ukrštenih (isprepletenih) čeličnih žica. Dok se ogradom smatra cijela konstrukcija koju sačinjava žičana ograda, potporni stupovi, poprečne grede i ostale komponente. Slika 1.4 prikazuje primjer ovih pojmova.



Slika 1.4 Primjer žičane ograde (lijevo) i ograde (desno)

Mrežasta pregrada/ograda (engl. *fence netting*)

Mrežasta pregrada je pregrada sačinjena od isprepletenih najlonskih konopaca. Slika 1.5 prikazuje primjer ovakve pregrade.



Slika 1.5 Primjer mrežaste pregrade

2. ANALIZA TRŽIŠTA I POSTOJEĆIH RJEŠENJA

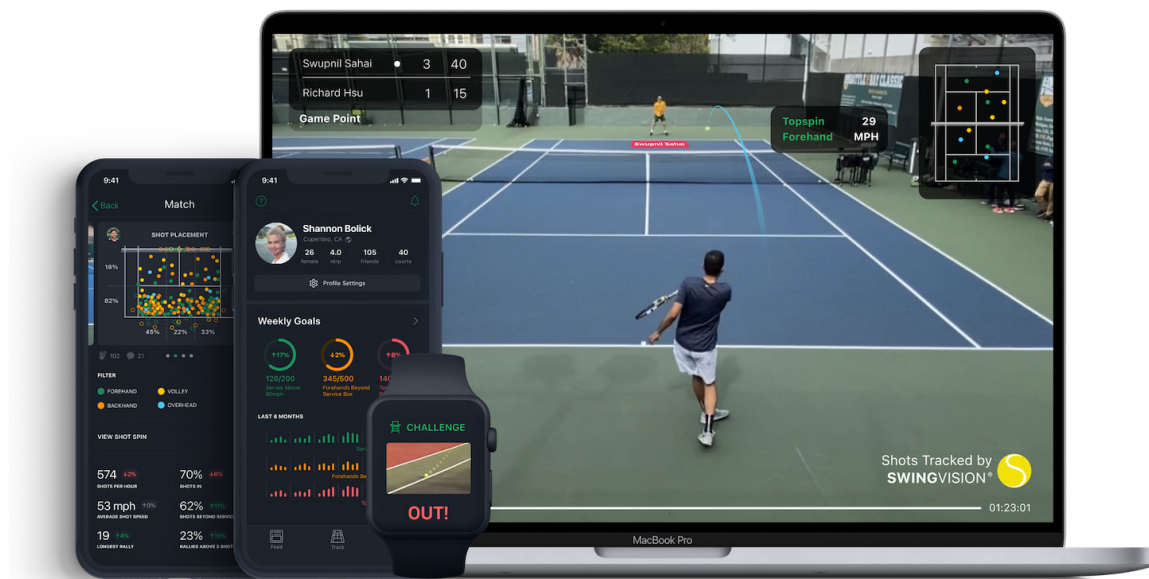
Pametni telefoni se posljednjih godina u kontekstu sporta i aktivnosti na otvorenom sve više koriste za snimanje dugotrajnih videozapisa u visokim razlučivostima i s općenito vrlo dobro kvalitetom slike. Razvojem mikroprocesorskih tehnologija je takav način upotrebe pametnih telefona postao široko dostupan i jeftin za korisnika. Time je svakoj osobi s pametnim telefonom omogućeno video snimanje nekog sportskog događaja, utakmice i treninga, s ciljem arhiviranja snimaka, obrade zapisa radi objave u promotivne svrhe ili pregleda i analize videozapisa treninga u svrhu napretka i poboljšanja vještina. Potonje ima još veće koristi od razvitka mikroprocesorskih tehnologija zbog razvoja raznih specijaliziranih logičkih jedinica za strojno učenje unutar samih mikroprocesora (tzv. engl. *neural engines*). Stoga se dogodio i veliki razvoj aplikacija za mobilne uređaje koje su specijalizirane upravo za analizu video snimaka, a zatim i asistenciju pri poboljšanju vještina za određene sportove.

Neki od takvih primjera uključuju HOOPS (slika 2.1), aplikaciju za pametne telefone koja analizira video signal u stvarnom vremenu (engl. *realtime*) i pruža statistike vezane za košarkaške pogotke na koš.



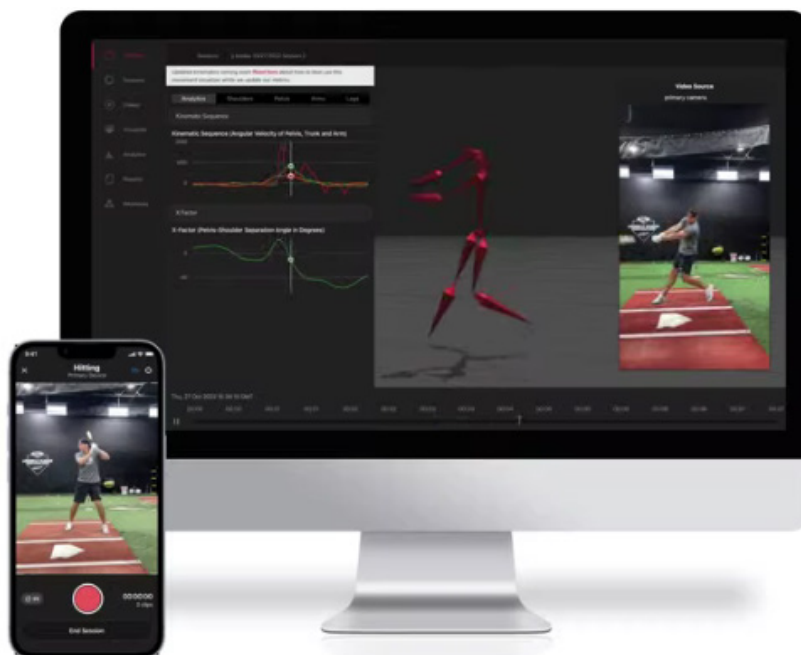
Slika 2.1 HOOPS aplikacija za analizu košarkaške igre [1]

Nadalje, SwingVision (slika 2.2), aplikacija koja analizira teniski meč ili trening, pruža analizu video zapisa u stvarnom vremenu te statističke podatke nakon procesuiranja video zapisa.



Slika 2.2 SwingVision aplikacija za analizu teniskih mečeva [2]

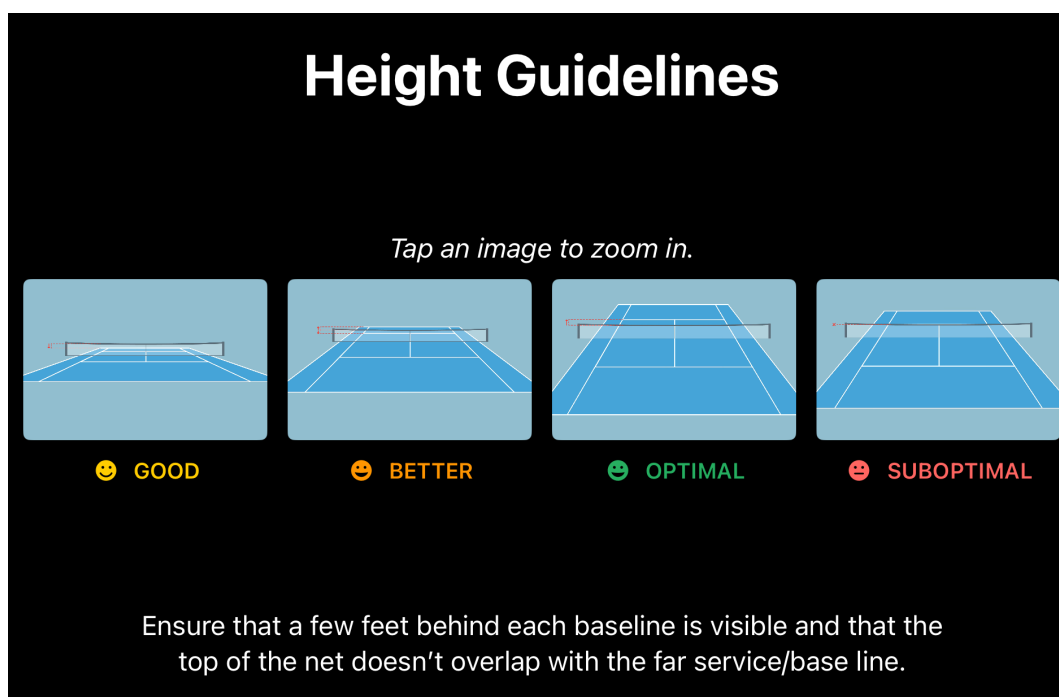
Uplift Labs aplikacija (slika 2.3) nudi analizu kinematike tijela na temelju snimljenog video zapisa radi poboljšanja performansi u golfu i bejzbolu.



Slika 2.3 Uplift Labs aplikacija za analizu kinematike tijela pri igranju golfa i bejzbola [3]

Navedeni su samo neki od primjera, a vidljivo je da gotovo svaki popularniji sport za svoje tržište ima neku aplikaciju za pametne telefone koja na temelju analize video zapisa korisniku pruža uvid u statistiku performansi, a time i u područja za poboljšanje istih.

Sve opisano je dovelo i do potrebe za montažom i fiksiranjem pametnih telefona na igralištima i sportskim terenima za potrebe video snimanja sportova. Iako tronožac (engl. *tripod*) tj. stativ dobro služi toj svrsi, ponekad postoji potreba, a čak i zahtjev, za specifičnim načinom montaže ukoliko je potrebno snimati s višeg gledišta ili ako bi tronožac ometao samu sportsku aktivnost ukoliko bi bio montiran na tlu. Neke ranije spomenute aplikacije za mobilne uređaje koje se specijaliziraju u asistenciji pri sportskim aktivnostima upravo zahtijevaju i preporučuju montažu mobilnog telefona na ogradu sportskog igrališta, a ne na tronožac. Jedna od takvih aplikacija je SwingVision, mobilna aplikacija za snimanje i analizu teniskih mečeva i treninga. U dokumentaciji, kao i pri pokretanju video snimanja u samoj aplikaciji, korisniku se preporučuje snimanje sa što više pozicije, odnosno s vrha ograde na teniskom terenu, kao optimalna konfiguracija. Slika 2.4 prikazuje preporuku za pozicioniranje pametnog telefona prilikom snimanja teniskog meča u aplikaciji SwingVision. Vidljivo je da je optimalna pozicija za video analizu strojnim učenjem ona što viša od tla, gdje se vrh mreže vizualno ne preklapa s linijama označenima na tlu.



Slika 2.4 Preporuke za montažu pametnog telefona (slika zaslona iz aplikacije SwingVision)

Činjenica da montaža pametnog telefona na tronožac nije uvijek zadovoljavajuće rješenje je dovelo do razvoja tržišta specijaliziranih proizvoda za montažu pametnih telefona na sportskim igralištima.

2.1. Postojeća rješenja

Kako će se u ovom radu pokušati osmisliti i razviti novo rješenje koje će što bolje upotpuniti nedostatke postojećih proizvoda za montažu pametnih telefona na ograde igrališta i koje će biti primjenjivo za što širu upotrebu, u nastavku je dan pregled istih. Općenito, ako se izuzmu dodaci za montažu pametnog telefona na tronožac i načini montaže takve prirode, na tržištu postoje rješenja koja montiraju pametni telefon na ogradu igrališta ili hvatajući se za samu žicu ili koristeći gornju poprečnu cijev ograde za pomoć pri montaži (slika 1.1). Nadalje, postoje tvrtke koje se bave konstruiranjem i proizvodnjom isključivo ovakvih proizvoda te takve često imaju vlastito rješenje drugačije od ostatka tržišta no postoje i proizvodi koji se prodaju na internetskim trgovinama poput Amazona, gdje postoje mnogobrojni slični proizvodi koji dijele dizajn. U sljedećim potpoglavljima su uzeti neki reprezentativni nosači koji dobro opisuju trenutnu ponudu na tržištu.

Osim samog nosača, neki proizvođači u ponudi imaju mnogo dodataka radi proširenja mogućnosti proizvoda. Neki od njih su proširenja za montažu na tronožac (osim montaže na ogradu igrališta), proširenje nosive ploče radi prihvata više od jednog uređaja za snimanje, prihvata za GoPro kameru umjesto pametnog telefona itsl. Kako se ovaj rad bavi konstruiranjem nosača za jedan pametni telefon, ali s mogućnostima prihvata prijenosnih baterija i sličnih dodataka, pri usporedbi i vrednovanju mogućnosti i cijena nosača na tržištu, uzimaju se konfiguracije postojećih nosača koji što bliže odgovaraju mogućnostima nosača koji se planira konstruirati, tj. koji je opisan zadatkom. To će uključivati (gdje je opcija) mogućnost montiranja prijenosnih baterija, prijenosnih memorijskih jedinica, pokrova za kišu, nastavaka za montažu nosača na tronožac i ostalih nastavaka za montažu na više vrsta ograda.

2.1.1 LynkSpyder

LynkSpyder je rješenje istoimene tvrtke koja se specijalizira u konstruiranju nosača za kamere za sportske terene i igrališta. Njihovo rješenje, prikazano na slici 2.5, je izrađeno od tankih limova oblikovanih na način da se nosač objesi za žicu ograde igrališta, a zatim se vijcima stegne radi stabilnosti.



Slika 2.5 LynkSpyder [4]

Rješenje je konstruirano s ciljem da se na njega s lakoćom montira GoPro (ili neka druga „akcijska“) kamera, dok je za montažu pametnih telefona potrebno dodatno platiti (ili samostalno naručiti od treće strane) nastavke koji to omogućuju. Nosač je konstruiran na način da se montira sa zadnje strane žičane ograde (s vanjske strane igrališta) te da pametni telefon ili kamera snima kroz ogradu, što zbog konfiguracije okolnog terena i samog igrališta ponekad nije moguće. Zbog svoje konstrukcije, nosač se može montirati i na mrežaste pregrade ili općenito mreže (npr. nogometnih golova) te ne zahtijeva preveliku krutost žice/mreže radi vlastite stabilnosti. Nadalje, obzirom da je glavni okvir konstrukcije za koji se montira pametni telefon odvojen od limenih profila s kojima se nosač vješa za ogradu, ti profili se mogu slobodno rotirati i tako prilagođavati različitim potrebama, a između njih su izvedeni i gumeni prstenovi koji umanjuju prijenos

vibracija. Također, zbog konstrukcije koja ima izrezane dijelove, za nosač se može objesiti torbica s vanjskom baterijom, vanjskom memorijskom jedinicom i sličnim dodacima, no upitno je kako bi to utjecalo na stabilnost nosača. Osim toga, montaža takvih dodatnih dijelova nije predviđena, pa se procjenjuje da bi se mogao montirati maksimalno jedan takav dodatak. Tvrtka još odvojeno prodaje magnetske čepiće pomoću kojih se može prihvatiti kapa ili ručnik radi zaštite pametnog telefona od direktnog sunčevog zračenja. Obzirom na ranije uspostavljene kriterije usporedbe i vrednovanja, konfiguracija koja odgovara zadatku ovog rada (prihvaća pametni telefon i kao takva se može gotova kupiti od proizvođača) košta 80,95 €. [4]

2.1.2 Nexus Mount The OG

Nexus Mount je tvrtka koja također izrađuje vlastite i specijalizirane nosače za montažu na ogradama igrališta. Nude više modela, a zadatku ovog rada najviše odgovara model The OG prikazan na slici 2.6.



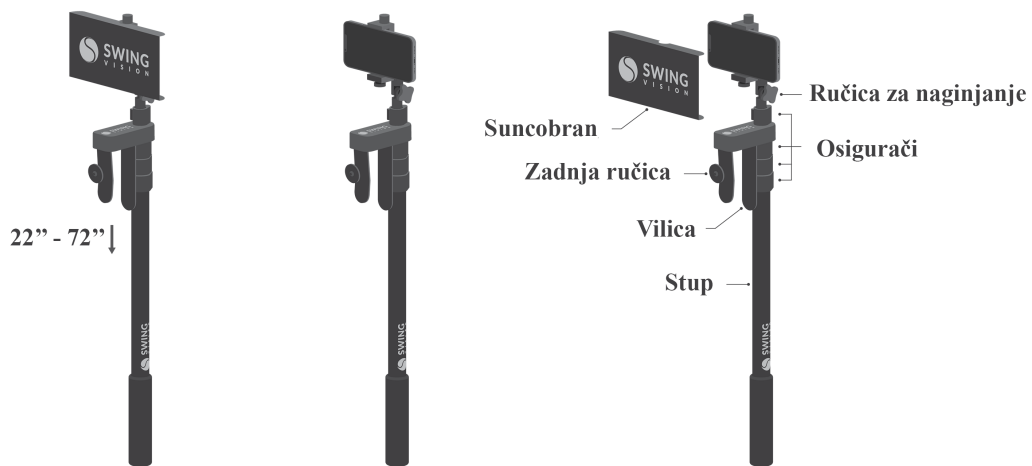
Slika 2.6 Nexus Mount The OG [5]

On je izrađen od prikladno oblikovanih aluminijskih limova, s prorezima i provrtima na koje se montiraju držači i hvataljke za pametni telefon ili akcijsku kameru. Držači su uključeni u cijenu te iako su izrađeni direktno od strane tvrtke Nexus Mount, ne nude ikakve dodatne mogućnosti u odnosu na bilo koji drugi držač koji se prodaje na tržištu. Štoviše, uključeni držač se ne može

zakretati oko ijedne osi, tj. pametni telefon se ne može zakrenuti da gleda više u tlo ili više u vis, niti lijevo-desno, što je veliki nedostatak i uvelike smanjuje raspon korištenja. U slučaju želje za takvom rotacijom, morao bi se odvojeno kupiti drugačiji držač (od treće strane, obzirom da Nexus Mount isti nema u ponudi). Zbog proreza se lako mogu montirati i nastavci koji mogu cijeli nosač montirati na tronožac, ukoliko se ukaže potreba. Kao i LynkSpyder, nosač The OG se može lako montirati na mrežu, ali zbog nepomičnih i krutih limova za montažu na ogradu, već žičana ograda predstavlja problem. Naime, zbog toga što su limovi nepomični, konfiguracija žičane ograde mora biti vrlo specifična te je vrlo lako moguće da korisnik ne bi mogao montirati nosač na svaku vrstu žičane ograde kao što to može s LynkSpyderom. Konstrukcija je općenito većih dimenzija i kruća, pa se na spomenute proreze i provrte lako mogu montirati i bilo kakvi dodaci poput vanjskih baterija ili čak radara za mjerenje brzine bez narušavanja stabilnosti. Za razliku od LynkSpydera, savijeni limovi koji obavijaju žicu ograde nisu pomični, pa ovaj nosač nema toliku prilagodljivost različitim uvjetima montaže. U cijenu je uključen i limeni profil koji se montira na način da štiti uređaj od sunčevih zraka, no to dodatno pridonosi velikim gabaritnim dimenzijama proizvoda, što može biti problem pri upotrebi i transportu u sportskim torbama. Nosač je također konstruiran na način da se montira s vanjske strane igrališta te da snima kroz ogradu kao i LynkSpyder, no iako se LynkSpyder može montirati s unutarnje strane igrališta i rotirati sami držač kamere/pametnog telefona za 180° bez većih smetnji, ovdje to nije slučaj ako se koristi pokrov za sunce koji bi u tom slučaju smetao vidnom polju kamere. Cijena ovog nosača s uključenim držačem za pametni telefon je 94,95 €. [5]

2.1.3 Swing Stick

Za montažu na gornju poprečnu cijev ograde igrališta postoje nosači koji se vješaju poput proizvoda Swing Stick prikazanog na slici 2.7.



Slika 2.7 Swing Stick [6]

Kako je vidljivo, nosač se montira na vrh ograde s izvedenim profilom u obliku kuke na kojem je držač za pametni telefon. Sadrži i štap koji se može produljiti do 1,8 metara što omogućuje laku montažu nosača na vrlo visoke ograde, a time i bolji pogled na igralište ili sportski teren na video snimkama. Nosač ima izvedenu i zadnju ručicu (slika 2.7) putem kojeg se može objesiti za žičanu ogradu, no u tom slučaju uvelike gubi na stabilnosti. Nosač uključuje i zaštitu od sunca koja pokriva pametni telefon s prednje strane uređaja (ekran) i ne stvara sjenu preko uređaja osim ako se video snimanje ne vrši s južne ograde sportskog terena u smjeru sjevera. Još jedan nedostatak je što se pametni telefon na držaču mora unaprijed rotirati prema tlu, prije podizanja nosača na ogradu, te nakon toga nema načina za uvid u kadar, ali niti za prekadriranje snimke. U slučaju želje za podešavanjem, nosač je potrebno skinuti s ograde, podesiti nagib pametnog telefona, te zatim ponovno podići nosač na ogradu i ponoviti proces ako kadar nije zadovoljavajuć. Ovom problemu se može doskočiti i ubrzati proces kadriranja pomoću pametnih satova koji mogu prikazivati video prijenos, ali to nije idealno niti jeftino rješenje. Cijena ovog nosača je 99,99 €. [6]

2.1.4 Hvataljke

Kako je rečeno, postoje mnogobrojni proizvodi sličnih izvedbi, pa su u ovom potpoglavlju objedinjeni svi proizvodi koji dijele konstrukcijsko rješenje prikazano na slici 2.8. Radi se o izvedbama nosača koji se za žičanu ogradu montiraju s hvataljkama s navojnim vretenom.



Slika 2.8 Hvataljke za ogradu [7]

Na hvataljkama je montiran zglobni nosač, s najčešće dva kuglična zgloba, na kraju kojeg je pozicija za montažu držača pametnog telefona ili akcijske kamere. Takva izvedba nudi potpunu slobodu pri rotaciji pametnog telefona te time odličnu prilagodbu kadriranja video snimanja. Zbog manje kontaktnih točaka od primjerice Nexus Mount ili LynkSpyder izvedbi, zbog udaljenijeg položaja težišta od točki montaže po vertikalnoj osi, ali i zbog manje mase, ova izvedba nije toliko stabilna te ima manju nosivost, što je njezin glavni nedostatak. Izvedba sama po sebi nema predviđen način zaštite uređaja od sunčevih zraka, a zbog već spomenute manje stabilnosti nije moguće montirati prijenosnu bateriju, niti ijedan drugi dodatak, direktno na nosač. Cijena proizvoda ovakve izvedbe je u rasponu od 30 do 50 €.

2.2. Zaključak analize postojećih rješenja

Iz analize je vidljivo da na tržištu postoji puno različitih rješenja od kojeg svako ima svoje prednosti i mane. Rješenja su često namijenjena za snimanje nekog užeg pojasa sportova, tj. za korištenje na samo nekoliko vrsta ograde i sportskih terena, a manjka kompatibilnost s ostalim vrstama. U ovom radu će se pokušati osmisliti novo rješenje koje će objediniti što više prednosti pojedinog postojećeg rješenja, stoga je ova analiza dobra podloga za to. Na osnovu nje, u nastavku se postavlja lista zahtjeva.

3. LISTA ZAHTJEVA I VREDNOVANJE POSTOJEĆIH RJEŠENJA

Na temelju provedene analize tržišta se uspostavljaju zahtjevi i želje po kojima se formira lista zahtjeva i želja, na osnovu kojih će se zatim provesti vrednovanje i izraditi koncept novog proizvoda.

3.1. Zahtjevi za novi proizvod

Nosivost je jedan od najbitnijih zahtjeva novog proizvoda. Pod njome se podrazumijeva masa tereta koju nosač može podnijeti bez prekida glavne funkcije, tj. bez loma ili zamjetnih deformacija koje narušavaju kvalitetu videozapisa s pametnog telefona (primjerice na način da se tijekom dužeg snimanja konstrukcija polako deformira ili klizi s prvotno montirane pozicije i na taj način u kadru više nije ono što bi trebalo biti). Na nju direktno utječe materijal i dimenzije nosača. Kao proračunsku masu koju nosač mora podnijeti se proizvoljno usvaja dvostruka vrijednost mase prosječnog pametnog telefona na današnjem tržištu. Njoj se pridodaje masa prosječne prijenosne baterije na današnjem tržištu te masa prosječnog prenosivog SSD (engl. *solid state drive*) uređaja za pohranu podataka. Te vrijednosti se uvećavaju za 50% radi dodatne sigurnosti. Iako teoretski masa svih dodataka može biti i veća zbog zaštita za pametne telefone, dodatnih montiranih objektivna na kamere pametnih telefona, mikrofona, pokrova za zaštitu od kiše i sunca i sl., te mase su zanemarive u odnosu na one gore navedene. Posebice zbog činjenice da će se računati s izrazito uvećanom masom nego što ona to stvarno jest.

Radi izračuna prosječne vrijednosti mase pametnog telefona, uzimaju se mase modela perjanica (engl. *flagship models*) pametnih telefona najvećih svjetskih proizvođača te se potrebna nosivost računa s onom najvećom. Mase modela perjanica pametnih telefona se kao mjerodavne uzimaju s dobrom pouzdanošću, obzirom da takvi modeli najčešće koriste bolje i čvršće (a time i teže) materijale, koji su često metali i stakla, umjesto polimernih materijala kod jeftinijih i manje kvalitetnih modela. Od svakog proizvođača se uzima pametni telefon koji u cijelom asortimanu pojedinog proizvođača ima najveću masu u vrijeme pisanja ovoga rada (do listopada 2024. godine) i koji je i dalje u slobodnoj prodaji. Mase pametnih telefona na tržištu su ispisane u tablici 3.1.

Tablica 3.1 Mase pametnih telefona na tržištu [8]

<i>Proizvođač</i>	<i>Model</i>	<i>Masa [g]</i>
Apple	iPhone 16 Pro Max	227
Samsung	Galaxy Z Fold5	239
Huawei	Mate X5	243
OnePlus	Open	239
Xiaomi	Mix Fold 3	255

Iz tablice 3.2 se može iščitati da je pametni telefon s najvećom masom na trenutnom tržištu Xiaomi Mix Fold 3, mase $m_{\text{tel}} = 255 \text{ g} = 0,255 \text{ kg}$. Na isti način su ispisane vrijednosti masa prenosivih (tzv. „vanjskih“) baterija na tržištu i prenosivih SSD uređaja za pohranu podataka.

Tablica 3.2 Mase prenosivih baterija na tržištu

<i>Proizvođač</i>	<i>Model</i>	<i>Masa [g]</i>
Anker	337 Power Bank (PowerCore 26K)	495 [9]
Anker	PowerCore 20100	356 [10]
UGREEN	Power Bank 20000 mAh 22.5 W	435 [11]
Baseus	Airpow Power Bank 20W 20000mAh	440 [12]

Na osnovu ispisanih masa se računa prosječna masa prenosive baterije na tržištu:

$$m_{\text{bat}} = \frac{495 + 356 + 435 + 440}{4} = 431,5 \text{ g} = 0,4315 \text{ kg} \quad (3.1)$$

Tablica 3.3 Mase prenosivih SSD uređaja na tržištu

<i>Proizvođač</i>	<i>Model</i>	<i>Masa [g]</i>
Samsung	Portable SSD T9 USB 3.2 Gen2x2 2TB Gray (MU-PK2T0G/WW)	121,9 [13]
Samsung	Portable SSD T7 Shield USB 3.2 2TB (Black) (MU-PE2T0S)	98 [14]
SanDisk	SanDisk Extreme PRO Portable SSD 1TB (SDSSDE81-1T00-G25)	77,1 [15]
Western Digital	WD_BLACK P40 Game Drive SSD	77,1 [16]

Računa se prosječna masa prenosivog SSD uređaja aritmetičkom sredinom gore ispisanih masa:

$$m_{\text{SSD}} = \frac{121,9 + 98 + 77,1 + 77,1}{4} = 93,525 \text{ g} = 0,0935 \text{ kg} \quad (3.2)$$

Sa svim izračunatim vrijednostima se računa potrebna nosivost nosača G_{potr} :

$$\begin{aligned} G_{\text{potr}} &= 2 \cdot m_{\text{tel}} + 1,5 \cdot (m_{\text{bat}} + m_{\text{SSD}}) \\ G_{\text{potr}} &= 2 \cdot 0,255 \text{ kg} + 1,5 \cdot (0,4315 \text{ kg} + 0,0935 \text{ kg}) \\ G_{\text{potr}} &= 1,2975 \text{ kg} \approx 1,3 \text{ kg} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Time je određeno da je potrebna nosivost nosača koji će se konstruirati 1,2975 kg te se ona zaokružuje na 1,3 kg.

Konstrukcija bi trebala imati minimalne deformacije pri opterećenju kako bi se spriječila trajna plastična deformacija, a time i smanjenje mogućnosti obavljanja glavne funkcije.

Gabaritne dimenzije konstrukcije ne smiju prelaziti 256x256x250 mm u bilo kojoj orijentaciji zbog ograničenja prostora u 3D pisaču Bambu Lab X1 Carbon koji će se koristiti za izradu [17]. Nadalje, zbog praktičnosti korištenja i transporta bi bilo poželjno da su dimenzije nosača što manje.

Konstruktivski detalji moraju biti jednostavni kako bi se mogli izvesti tehnologijom 3D tiska i kako ne bi zahtijevali naknadnu obradu odvajanjem čestica. To podrazumijeva da konstrukcija nema provrte malih promjera koji se moraju bušiti, da nema planiranih uskih tolerancijskih polja koji se ne mogu izvesti 3D tiskom i sl.

Poželjno je da proizvod ima što duži vijek trajanja ili barem da je taj vijek trajanja proporcionalan s troškovima, odnosno cijenom proizvoda. To uključuje i dobru otpornost na uvjete okoline. Kako se nosač konstruira za vanjsku upotrebu, potrebno je postaviti zahtjeve za otpornošću na uvjete okoline. Bitniji zahtjevi na uvjete okoline uključuju otpornost na temperaturu zraka tj. obavljanje funkcije u određenom prosječnom rasponu temperatura, a uključno i otpornost na elektromagnetsko zračenje Sunca tj. na UV zrake. Manje bitni zahtjevi na uvjete uključuju

otpornost na kišu i zimske uvjete, od čega su zimski uvjeti obuhvaćeni s radnim rasponom temperatura.

Proizvod se mora s lakoćom montirati na ogradu, a i demontirati s ograde. Imat će dodatnu prednost ukoliko postoji mogućnost montaže i hvatanja za različite vrste ograda i pozicija na ogradama. Također, poželjno je da se pouzdano i stabilno može montirati u kratkom vremenu, a još veću prednost ima proizvod koji se na ogradu može montirati korištenjem samo jedne ruke. Korisno je da proizvod posjeduje obje karakteristike (lakoća i brzina montaže) radi korištenja u nekontroliranim i nepredvidivim uvjetima. Nadalje, poželjno je da proizvod ima pozicije za montažu dodataka poput prijenosnih („vanjskih“) baterija, SSD (engl. *solid state drive*) uređaja za pohranu podataka, zaštite od kiše i sunca i sl.

Dodatna želja bi bila da proizvod ima izvedene konstrukcijske detalje koji na neki način omogućavaju osiguranje od pada tereta (pametnog telefona i dodataka) ili pada cijelog nosača s ograde, ukoliko već on nije stabilno montiran predviđenim načinom montaže.

Bilo bi poželjno da se proizvod može lako održavati; da je lako očistiti eventualne nečistoće koje se nađu na njegovoj površini.

Poželjno je da je proizvod, sa svim dodacima koji su određeni zadatkom, što niže cijene, odnosno da su troškovi proizvodnje i/ili kupnje što niži.

Poželjno je da je proizvod estetski prihvatljiv. Iako je to vrlo subjektivan pojam, ovdje to podrazumijeva korištenje zaobljenja gdje je moguće te izbjegavanje oštrih rubova.

Zahtjev za dobrom reciklabilnošću je u današnje vrijeme uvijek potrebno zadati. Obzirom da će konstrukcija biti napravljena tehnologijom 3D tiska, bit će izrađena od jednog od polimera koji su dostupni i koji su najučestaliji za tu tehnologiju. Kako su polimeri u teoriji 100% reciklabilni, zahtjev će biti ispunjen.

Kut zakretanja pametnog telefona kao i kut vidnog polja kamere pametnog telefona mora biti što veći odnosno što manje ometan samom konstrukcijom. Kao što je vidljivo iz nekih postojećih rješenja, novi proizvod bi svakako trebao omogućavati rotaciju pametnog telefona na način da se on po želji može zakrenuti prema tlu, a dodatnu prednost ima izvedba koja omogućuje zakretanje oko svih osi.

3.1.1 Lista zahtjeva

Iz navedenog su u nastavku stvorene liste zahtjeva i želja za proizvod koji se konstruira ovim radom.

Tablica 3.4 Lista zahtjeva

<i>Zahtjev</i>	<i>Veličina</i>	<i>Mjerna jedinica</i>
Ukupna nosivost	1,3	kg
Minimalne deformacije pri opterećenju	/	/
Maksimalne gabaritne dimenzije	256x256x250	mm
Jednostavni konstrukcijski detalji za 3D tisak	/	/
Što duži vijek trajanja	/	/
Otpornost na sunčeve zrake	/	/
Otpornost na kišu/snijeg	/	/
Radni raspon temperatura	0 – 40	°C
Jednostavna i/ili brza montaža	/	/
Stabilna montaža	/	/
Pozicije za montažu dodataka	/	/
Što niža cijena	/	/
Dobra reciklabilnost	/	/
Neometani pogled kamere	/	/

Tablica 3.5 Lista želja

<i>Želja</i>	<i>Veličina</i>	<i>Mjerna jedinica</i>
Montaža na različite vrste ograda	/	/
Što manje dimenzije	/	mm
Konstruktivski detalji za osiguranje od pada	/	/
Lako čišćenje	/	/
Estetski prihvatljiv izgled	/	/

3.2. Vrednovanje

Obzirom da postoji puno različitih izvedbi rješenja, a sami zadatak ovoga rada je vrlo specifičnog zahtjeva, pri koncipiranju se za svojevrstne koncepte uzimaju upravo postojeća rješenja. Kao konačno konceptualno rješenje će se nastojati objediniti što više prednosti iz pojedinog rješenja, uz minimizaciju nedostataka. Stoga se u nastavku prvo provodi vrednovanje za prethodno navedene postojeće nosače; LynkSpyder, Nexus Mount The OG, Swing Stick te hvataljke za ogradu, nakon čega će se provesti analiza vrednovanja na temelju koje će se zatim izraditi koncept novog rješenja.

3.2.1 Kriteriji vrednovanja

Kao temelj kriterija vrednovanja postojećih rješenja se uzima postavljena lista zahtjeva i želja te sprovedena analiza tržišta postojećih rješenja.

Glavni kriterij je nosivost konstrukcije odnosno masa tereta koju nosač može podnijeti. S obzirom na to da kod navedenih postojećih rješenja ona nije javno dostupna, ona se pretpostavlja i procjenjuje na temelju iskustva (na temelju izvedbe konstrukcije i korištenih materijala). Kako je navedeno, zadovoljavajuća nosivost za novi proizvod će biti ona koja može neometano podnijeti masu tereta od 1,3 kg. Postojeći proizvodi se neće vrednovati s tom vrijednošću.

Nadalje, bitan kriterij je stabilnost nosača. Pod njome se vrednuje koliko se stabilno nosač može montirati, što ovisi o kontaktnim točkama s ogradom, pozicijom težišta nosača i tereta te o masi i obliku samog nosača. Što je više kontaktnih točaka, to je manja vjerojatnost za pojavom neželjenog pomicanja nosača tijekom korištenja, kao i manja vjerojatnost za pojavom vibracija. Ako je težište tereta bliže kontaktnim točkama, nosač je stabilniji. Isto tako, stabilnosti pridonosi masa nosača; što je on teži, to je veći njegov moment tromosti zbog kojeg će primjerice udari lopte u ogradu na kojoj je nosač montiran manje utjecati na prijenos vibracija u nosač.

Sljedeći bitan kriterij je trajnost proizvoda. Da bi nosač bio dugotrajan, pri opterećenju sve deformacije moraju biti unutar elastičnog područja materijala. Pri vrednovanju tog svojstva se razmatraju dimenzije komponenti, kao i sami materijal koji se koristi. Na njega utječe i pozicija težišta tereta u odnosu na točke dodira s ogradom, tj. moment koji se javlja na pojedinim komponentama nosača. Na trajnost također utječe otpornost materijala na elektromagnetsko zračenje Sunca, kao i na kišu i snijeg odnosno vlagu općenito. Ovdje se primarno procjenjuje koliko će zračenje Sunca utjecati na postojanost materijala te hoće li lako doći do korozije. Radni raspon temperatura je blisko vezan uz prethodno svojstvo. Pod željenim rasponom temperatura se usvaja raspon od 0 do 40 °C kao raspon u kojem se može očekivati vršenje sportske aktivnosti na otvorenom, a time i korištenje nosača, uz napomenu da je usvojeni raspon onaj temperature zraka u hladu. Pri vrednovanju ovoga svojstva se procjenjuje hoće li doći do narušavanja funkcije nosača (puknuća ili značajnih deformacija) pri niskim i visokim temperaturama okoline, a kod novog rješenja će se postojanost nosača obzirom na ovo svojstvo osigurati odabirom adekvatnog materijala. Nadalje, nosač se mora moći lako održavati; očistiti nečistoće suhim ili mokrim metodama, na što utječe veličina komponenti te količina malih utora, zarezova i provrta.

Praktičnost nosača je kriterij pri kojem se vrednuje koliko je nosač jednostavno koristiti ili je praktičan zbog nekog drugog svojstva: kompatibilnosti s različitim vrstama ograda, lakoće montaže, zaštite pametnog telefona ili kamere od Sunčevih zraka ili kiše, maksimalnog mogućeg kuta rotacije pametnog telefona ili kamere bez da je kadar opstruiran te malih gabaritnih mjera i male mase. Kod kompatibilnosti s različitim vrstama ograda bolju ocjenu dobiva nosač koji se može montirati na što više različitih vrsta ograda. One uključuju žičanu ogradu, mreže i poprečne grede (cijevi) cilindričnog i/ili kvadratnog poprečnog presjeka. Lakoća montaže je svojstvo koje obuhvaća koliko se brzo i jednostavno nosač može stabilno montirati na ogradu za koju je namijenjen. Koliko ta radnja oduzima vremena korisniku i koliko ima sitnih dijelova na koje se

mora paziti su neki od parametara koji utječu na ocjenu ovoga svojstva. Zaštita pametnog telefona ili kamere od kiše ili Sunčevih zraka podrazumijeva postojanje neke vrste zaštite od istih. To može biti ili pokrov izveden u sklopu cijeloga proizvoda ili mogućnost lake montaže dodatnih nastavaka koji služe toj svrsi. Obzirom da se malo sportova na otvorenom može igrati pri velikoj količini padalina, ovdje se uzima u obzir pokrov koji, osim od Sunčevih zraka, može preliminarno zaštititi pametni telefon ili kameru od male količine padalina. Nadalje, poželjno je i da proizvod pruža neometanu rotaciju pametnog telefona ili kamere oko svih (ili što više) osi rotacije kako bi korisnik mogao postaviti kadar po želji, a čak i zarotirati kameru na način da snima vodoravno ili okomito. Male gabaritne mjere i masa također utječu na praktičnost proizvoda, gdje je poželjno da se proizvod lako može spremi u sportsku, ili neku drugu, torbu transportirati bez velikih poteškoća.

Modularnost se vrednuje kroz količinu i/ili raznovrsnost pozicija za montažu dodataka poput vanjskih baterija, vanjskih memorijskih jedinica (poput SSD uređaja) i zaštite od kiše i Sunčevih zraka ako ih nosač nema već izvedene. Zatim se vrednuje na osnovu korištenja standardnih dijelova; iako su nosači nestandardnih konstrukcija, sadrže dijelove ili barem pozicije za spajanje s raznim dodacima koji su standardni što korisniku omogućuje izmjenu takvih dodataka po želji. Kao posljednje svojstvo će se vrednovati mogućnost montaže nosača i na tronožac (engl. *tripod*) kao dodatna opcija za korisnika. Izvedbe s tom mogućnosti najčešće imaju ženski UNC navoj nazivne mjere 1/4" na dnu nosača te se jednostavnim vijčanim spojem spajaju s glavom tronošca. Osim same mogućnosti montaže, kod ovog svojstva se procjenjuje i vrednuje koliko će nosač biti stabilan u toj konfiguraciji.

Kriterij cijene se vrednuje s troškom za krajnjega korisnika (kupca). Kod postojećih rješenja se vrednuje koliko košta proizvod s uključenim svim dodacima određenima zadatkom i zadanima listom zahtjeva, a kod novog rješenja koje se izrađuje, taj trošak će obuhvaćati trošak izratka 3D tiskanog nosača te maloprodajna cijena istih takvih dodataka.

Sigurnost se vrednuje na osnovi osiguranja samog tereta (pametnog telefona ili kamere i dodataka; vanjske baterije, vanjske memorije, ...) kao i osiguranja nosača. Kod osiguranja tereta, vrednuje se koliko je teret čvrsto vezan za sami nosač, kakva je izvedba spojeva i koji materijali su korišteni. Osiguranjem nosača se vrednuje koliko je nosač sigurno vezan za ogradu za koju je namijenjen. Iako je dio ovog svojstva obuhvaćen kriterijem stabilnosti, ovdje se dodatno vrednuje ako nosač

ima metode dodatnog povezivanja i osiguravanja konstrukcije za ogradu poput nekih vrsta poveza ili rupa predviđenih za poveze, i sl.

Estetika je jedan od manje bitnih kriterija koji se vrednuju obzirom da ona ne utječe na funkciju nosača. Ovdje također utječu korišteni materijali, ali i boje i premazi koji su naneseni na površinu. Na ocjenu utječe i količina oštih bridova na proizvodu.

3.2.2 Vrednovanje postojećih rješenja

Vrednovanjem se utvrđuje vrijednost nekog rješenja u odnosu na postavljeni cilj [18]. Na osnovi liste zahtjeva se definira prva razina neovisnih ciljeva, odnosno kriterija, koje proizvod mora postići. Tako se u ovom slučaju zadaju sljedeći ciljevi: nosivost, stabilnost, trajnost, praktičnost korištenja, modularnost, cijena, sigurnost i estetika. Prva razina ciljeva se zatim raščlanjuje na parcijalne ciljeve koji su niže složenosti. Parcijalni ciljevi se nazivaju svojstvima i oni u većoj ili manjoj mjeri ispunjavaju zadane kriterije. Doprinos kriterija ispunjenju funkcije proizvoda prema listi zahtjeva se kvantificira pomoću faktora težine g_k , a zbroj faktora težine svih kriterija pri vrednovanju iznosi 1. Značaj koji pojedino svojstvo pridonosi ispunjenju cilja prve razine (kriterija) se kvantificira pomoću faktora težine g_s , a njihove vrijednosti se dodjeljuju ovisno o tome u kojoj mjeri ispunjavaju kriterije pod kojima se nalaze. Zbroj faktora težine svih svojstava pod pojedinim kriterijem je jednak faktoru težine tog kriterija g_k . Svako svojstvo se boduje ovisno o tome koliko je ono zadovoljavajuće ispunjeno. U tablici 3.6 je prikazan broj bodova koji se dodjeljuje svojstvu ovisno o tome koliko ono pridonosi ispunjenju svojstva pod kojim se nalazi.

Tablica 3.6 Opis svojstava i pripadajući bodovi [18]

<i>Svojstvo je:</i>	<i>Broj bodova v</i>
Nezadovoljavajuće	0
Jedva prolazno	1
Zadovoljavajuće	2
Dobro	3
Odlično	4

Nakon dodjele bodova svojstvima, određuje se najbolje rješenje. Ukoliko se svim svojstvima dodjeljuje jednaki značaj, dobiva se ukupna nevagana dobrota V koja je suma svih bodova v dodijeljenim svojstvima prema izrazu:

$$V = \sum v_i \quad (3.4)$$

Ukoliko se bodovi pomnože s pripadajućim faktorima težine svakog svojstva, računa se ukupna vagana dobrota prema izrazu:

$$V_g = \sum (v_i \cdot g_i) \quad (3.5)$$

Dijeljenjem ukupne nevagane dobrote najvećim ukupnim brojem bodova koji se može dodijeliti se računa ukupna nevagana apsolutna dobrota prema izrazu:

$$V_{\text{aps}} = \frac{\sum v_i}{v_{\text{max}} \cdot n} \quad (3.6)$$

gdje je

- | | |
|------------------|---|
| v_{max} | najveći broj bodova koje svojstvo može dobiti (iznosi 4), |
| n | ukupni broj svojstava koji se ocjenjuje u proizvodu. |

Dijeljenjem ukupne vagane dobrote s najvećim brojem bodova koje svojstvo može dobiti se računa ukupna vagana apsolutna dobrota prema izrazu:

$$V_{\text{gaps}} = \frac{\sum (v_i \cdot g_i)}{v_{\text{max}}} \quad (3.7)$$

Za odabir optimalnog rješenja je mjerodavna ukupna vagana apsolutna dobrota. U nastavku je dana tablica s vrednovanim svojstvima odabranih postojećih rješenja.

Tablica 3.7 Vrednovanje postojećih rješenja

Kriterij	g_{ki}	Svojstvo	g_{si}	LynkSpyder		The OG		Swing Stick		Hvataljke	
				v_i	$g_{si} \cdot v_i$	v_i	$g_{si} \cdot v_i$	v_i	$g_{si} \cdot v_i$	v_i	$g_{si} \cdot v_i$
Nosivost	0,15	masa tereta	0,150	3	0,450	4	0,600	4	0,600	2	0,300
Stabilnost	0,1	stabilno montiranje	0,075	3	0,225	1	0,075	3	0,225	3	0,225
		ublažavanje vibracija	0,025	2	0,050	1	0,025	3	0,075	1	0,025
Trajnost	0,1	male deformacije	0,027	2	0,054	4	0,108	4	0,108	2	0,054
		otpornost na sunčeve zrake	0,025	4	0,100	4	0,100	4	0,100	4	0,100
		otpornost na kišu/snijeg	0,015	3	0,045	3	0,045	3	0,045	3	0,045
		radni raspon temperatura	0,020	4	0,080	4	0,080	4	0,080	4	0,080
		lako održavanje	0,013	4	0,052	4	0,052	3	0,039	3	0,039
Praktičnost	0,2	kompatibilnost s različitim vrstama ograda	0,075	1	0,075	1	0,075	2	0,150	1	0,075
		lakoća montaže	0,035	1	0,035	2	0,070	3	0,105	2	0,070
		zaštita pametnog telefona od sunca/kiše	0,025	2	0,050	3	0,075	1	0,025	0	0,000
		kut zakretanja pametnog telefona	0,040	4	0,160	0	0,000	2	0,080	4	0,160
		male gabaritne mjere i masa	0,025	3	0,075	1	0,025	0	0,000	4	0,100
Modularnost	0,2	pozicije za montažu dodataka	0,100	1	0,100	3	0,300	0	0,000	0	0,000
		korištenje standardnih dijelova	0,050	2	0,100	1	0,050	0	0,000	2	0,100
		montaža nosača na tronožac	0,050	0	0,000	4	0,200	0	0,000	1	0,050
Cijena	0,1	trošak za krajnjeg korisnika	0,100	1	0,100	1	0,100	1	0,100	3	0,300
Sigurnost	0,1	osiguranje tereta	0,040	2	0,080	2	0,080	2	0,080	1	0,040
		osiguranje nosača	0,060	3	0,180	2	0,120	1	0,060	1	0,060
Estetika	0,05	dizajn	0,050	2	0,100	2	0,100	3	0,150	2	0,100
Σ	1		1								
Ukupna nevagana dobrota V				47		47		43		43	
Ukupna vagana dobrota V_g				2,1110		2,2800		2,0220		1,9230	
Ukupna nevagana apsolutna dobrota V_{aps}				0,5875		0,5875		0,5375		0,5375	
Ukupna vagana apsolutna dobrota V_{gaps}				0,5278		0,5700		0,5055		0,4808	

Iz tablice 3.7 je vidljivo da nosač The OG tvrtke Nexus Mount ima najveću vaganu apsolutnu dobrotu, koja je i mjerodavna, što sugerira da je taj proizvod najbliži optimalnom rješenju prema postavljenoj listi zahtjeva i želja.

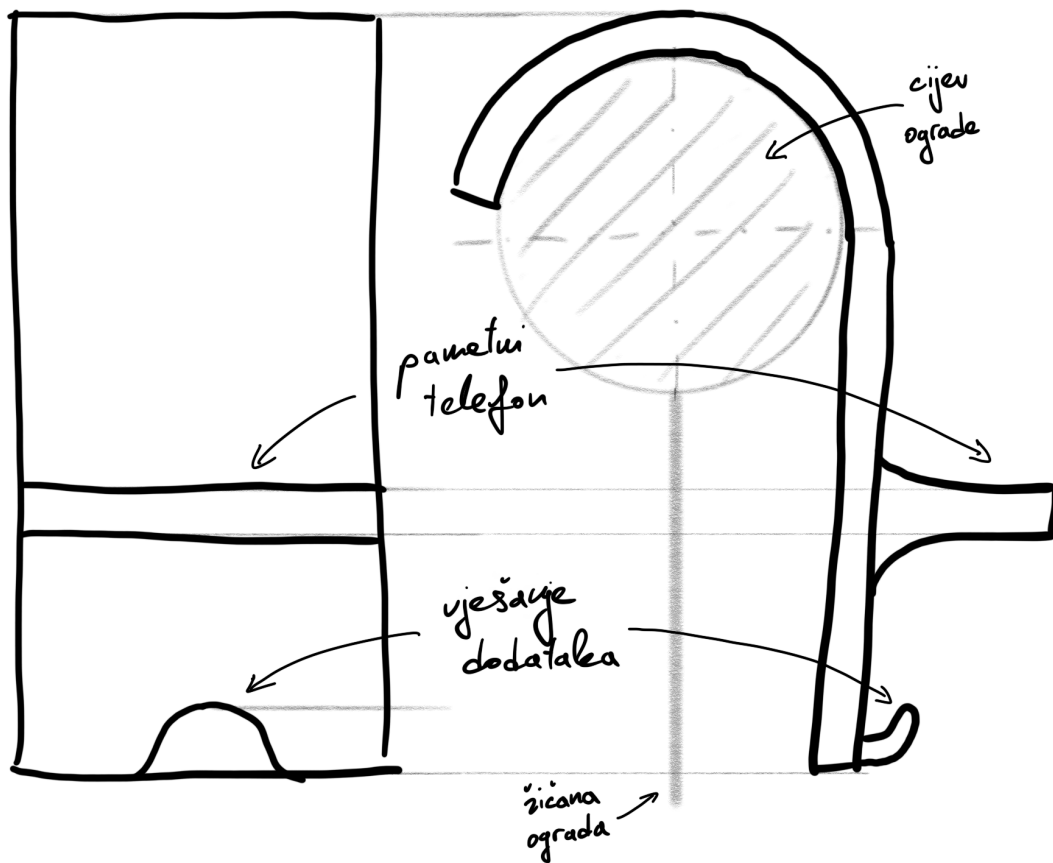
4. NOVO RJEŠENJE

Na osnovu liste zahtjeva, analize tržišta i postojećih rješenja te provedenog vrednovanja, osmišljava se koncept novog rješenja. Nastojat će se objediniti što više pozitivnih i korisnih karakteristika svakog analiziranog postojećeg nosača, dok će se nastojati umanjiti nedostatke.

Novo rješenje će biti osmišljeno na način da se nosač može izraditi tehnologijom 3D tiska iz jednog komada, bez potrebe za ikakvim načinima spajanja dijelova. Iz toga slijedi da sami nosač neće imati pomičnih dijelova radi prihvaćanja i montaže pametnog telefona i ostalih dodataka, pa će se izvesti pozicije za njihovu montažu putem standardnih i dijelova kupljenih od treće strane.

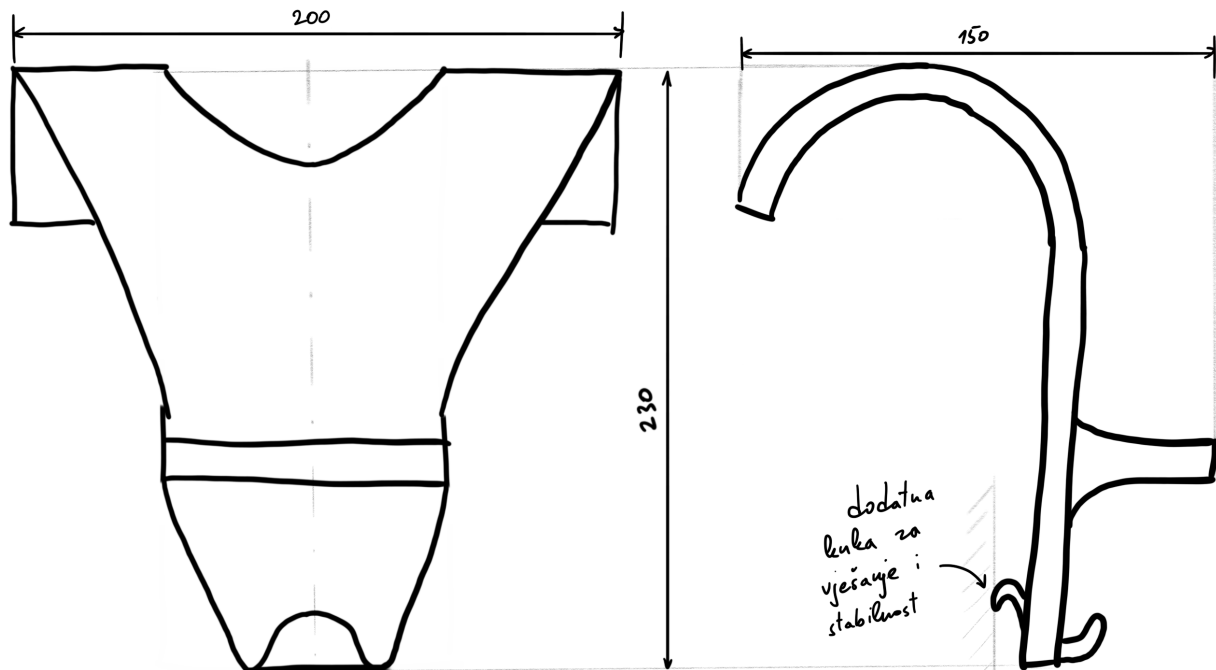
4.1. Koncipiranje

Koncipiranje se provodi na način da se kreće od konstrukcije koja je gruba i ispunjava samo neke zahtjeve, a zatim se iterativno, slijedeći listu zahtjeva, nadodaju konstrukcijski detalji. Slika 4.1 prikazuje prvu verziju koncepta. On je osmišljen kao konstrukcija u obliku kuke kako bi se nosač objesio za cilindričnu poprečnu cijev (gredu) ograde igrališta. Nosač sadrži postolje na koje će se montirati držač za pametni telefon i ostali nastavci. Također ima izvedenu kuku na dnu radi vješanja dodataka i nastavaka koji se mogu (i koje je lakše) objesiti poput primjerice torbice za prijenosnu bateriju.



Slika 4.1 Skica prve verzije koncepta, nacrt i bokocrt

Radi povećanja stabilnosti, povećava se broj dodirnih točaka s ogradom, pa se tako nosač vješa s dvije kuke umjesto s jednom. Time se širina kuka može smanjiti u odnosu na gornji koncept, pa se nosač može objesiti i za samu žičanu ogradu ukoliko je potrebno (kroz prolaze koje čine ukrštene žice), a ne samo za gornju poprečnu cijev. Time se dobiva na praktičnosti korištenja za korisnika. Na središnjem dijelu, ispod postolja za montažu pametnog telefona, izvest će se još jedna manja kuka iz istog razloga. Ona će služiti i kao oslonac za nosač u slučajevima kada nije potrebna za vješanje, već će se nosač moći osloniti na ogradu kako bi lakše održao uspravan položaj te kako se ne bi nagnuo naprijed pod težinom tereta. Na taj način će nosač i dalje imati tri dodirne točke s ogradom i time bolju stabilnost. Određuje se okvirna gabaritna dimenzija nosača na osnovi dimenzija postojećih nosača, dimenzija pametnih telefona na tržištu, dimenzija dodatka i sl., obraćajući pažnju na najveće gabaritne dimenzije određene listom zahtjeva u potpoglavlju 3.1.1. Donji dio kuke, ispod postolja za montažu pametnog telefona, se sužava zbog uštede materijala i estetike. Slika 4.2 prikazuje skicu druge verzije koncepta.



Slika 4.2 Skica druge verzije koncepta, nacrt i bokocrt

Na ovoj osnovnoj konstrukciji se provodi konstrukcijska razrada.

4.2. Razrada konstrukcijskih detalja

U nastavku se određuju konstrukcijski detalji nosača, kao i sve bitne dimenzije. Neki detalji i dimenzije će se odrediti tek u fazi CAD konstruiranja. Također se određuje materijal od kojeg će se izraditi nosač.

4.2.1 Kuke za vješanje nosača za ogradu

Nosač će se za poprečnu cijev ograde, ali i za žičanu ogradu (engl. *chain link*) ili mrežu, vješati s dvije kuke. Pri određivanju dimenzija ovog dijela nosača, potrebno je uzeti u obzir prosječne promjere cilindričnih cijevi koje su poprečni nosači ograde, kao i prosječne razmake između isprepletenih žica žičane ograde. Mrežaste pregrade izrađene od najlonskih vlakana, koje vrše funkciju ograde su različitih dimenzija, ali obzirom da nisu krute, lako se mogu prilagoditi obliku i dimenzijama kuka koje se odrede, pa se one ovdje ne razmatraju.

Promjeri cilindričnih cijevi ograda za igrališta i vanjske sportske terene se često razlikuju ovisno o namjeni. Iako su same cijevi najčešće standardne, raspon promjera koji se koristi na vanjskim igralištima i sportskim terenima nije. Stoga se provodi mjerenje nekoliko ovakvih cijevi na javnim igralištima te se uzima najveća izmjerena vrijednost zaokružena na cijeli broj. Slika 4.3 prikazuje mjerenje jedne takve cijevi, a tablica 4.1 popisuje sva provedena mjerenja.



Slika 4.3 Mjerena poprečna cijev ograde javnog sportskog igrališta

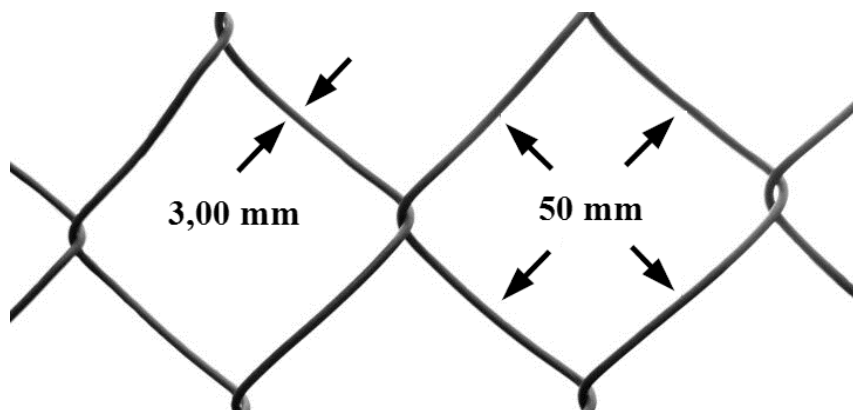
Tablica 4.1 Rezultati provedenih mjerenja ograda javnih igrališta

<i>Redni broj mjerenja</i>	<i>Izmjereni promjer cijevi [mm]</i>
1	60,55
2	60,83
3	80,46
4	70,16

Iz podataka o provedenim mjerenjima je vidljivo da su ograde najčešće promjera zaokruženih na najbliži višekratnik broja 10, uz određena odstupanja. Iako se iskustveno promjeri 60...70 mm mogu smatrati reprezentativnim za većinu ograda, radi zahtjeva za montažom na što više različitih, a i nestandardnih, vrsta ograda (uključujući i žičane ograde), ovaj promjer se proizvoljno usvaja na 100 mm.

Dimenzija kvadrata kojeg sačinjavaju ukrštene žice ograda (od središnjih osi simetrije same žice) je najčešće standardizirana i iznosi 50x50 mm. Promjeri žica mogu iznositi 2,5 mm ili 3,00 mm, ovisno izvedbi cijele ograda, a usvaja se promjer od 3,00 mm [19]. Dimenzije su prikazane na slici

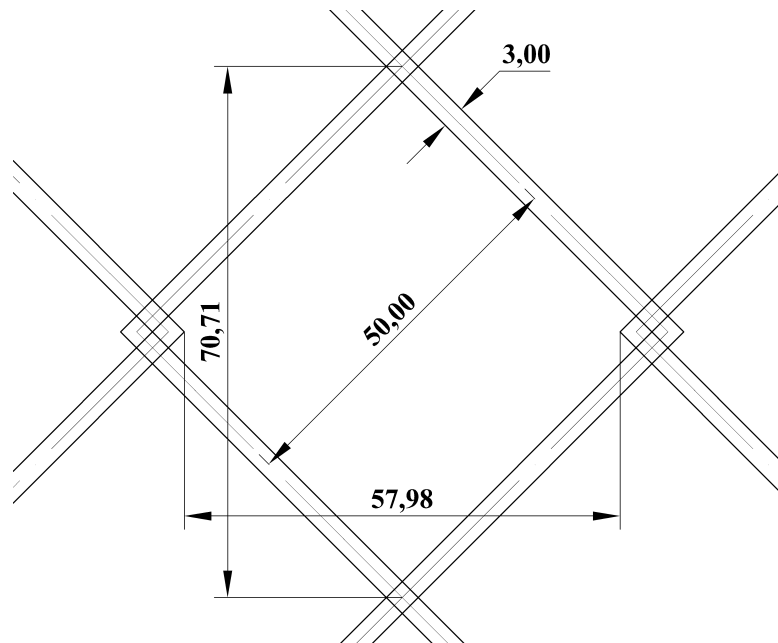
4.4. Kut savijanja pojedine žice, odnosno kut kojeg zatvaraju dvije stranice kvadrata kojeg žičana ograda stvara, je $90^\circ \pm 5^\circ$ [19].



Slika 4.4 Standardne i usvojene dimenzije žičane (chain link) ograde [20]

Iz prakse je poznato (i s gornje slike vidljivo) da visina kvadrata, tj. njegova dijagonala, kao i sve druge dimenzije osim promjera žice, može uvelike varirati kod montirane ograde u stvarnosti. Osim toga, žica ograde može biti izrađena nestandardno, pa i duljina stranice kvadrata koju ona zatvara može biti dimenzije različite od 50 mm. Na tu činjenicu će se u nastavku obratiti pažnja pri određivanju dimenzija kuka nosača.

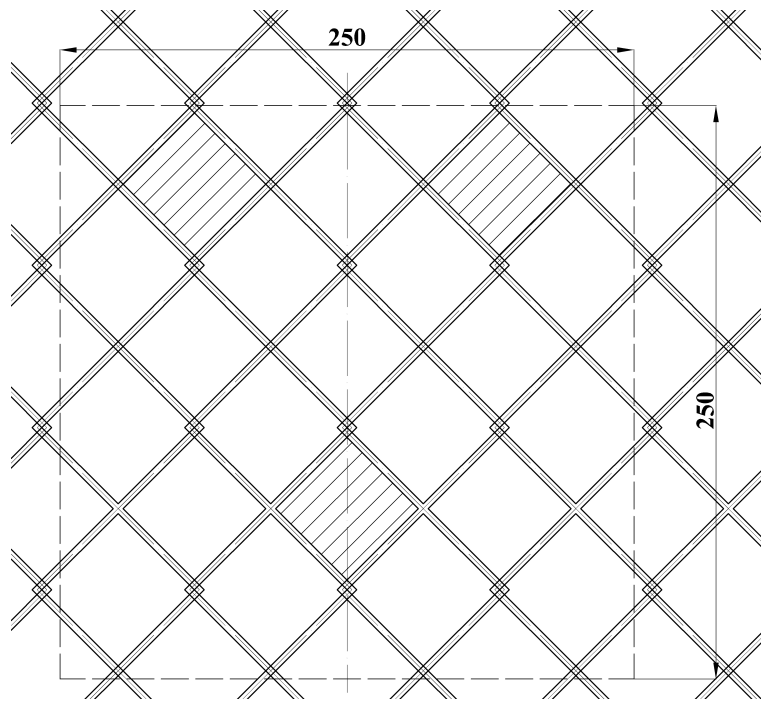
Grafički se postavlja pojednostavljeni prikaz žičane ograde po uzoru na sliku 4.4. Zbog spomenute varijacije u dimenzijama, jedan kvadrat kojeg čini savijena žica se postavlja na način da je duljina središnje simetrale svakog ravnog dijela žice jednaka 50 mm i da je kut između dijelova 90° . Pri ponavljanju uzorka kvadrata po visini se mjesta na kojima se žica isprepliće s drugom, pojednostavljaju u jednu točku. Pri ponavljanju uzorka po širini, poštuje se debljina žice od 3 mm te se pretpostavlja da nema zračnosti između dvije isprepletene žice. Opisano je prikazano na slici.



Slika 4.5 Pojednostavljeni prikaz žičane ograde

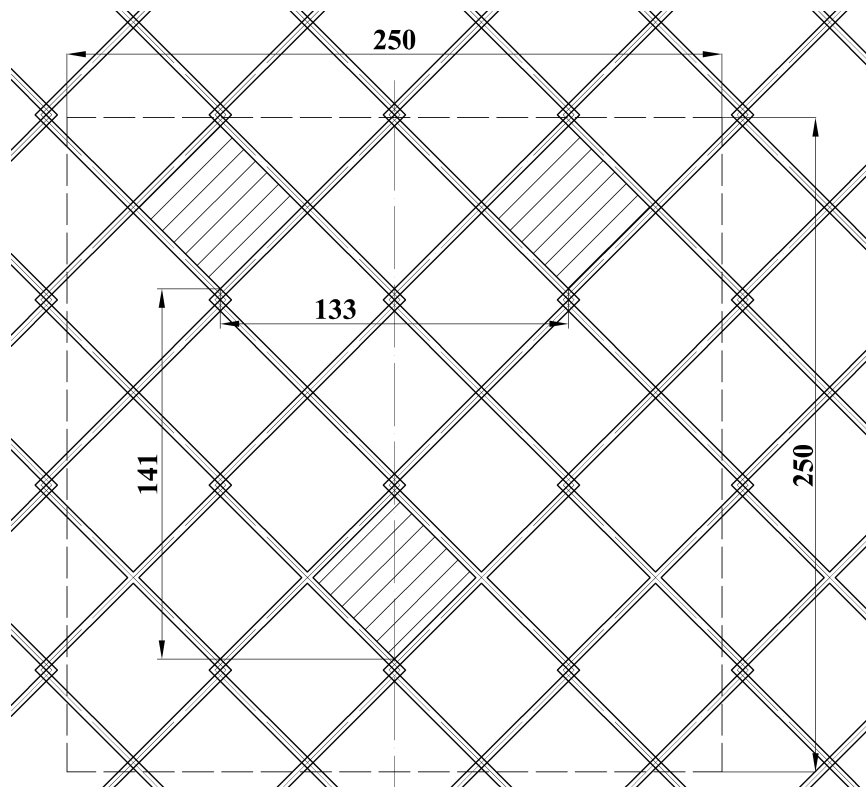
Sa slike je vidljivo da najveća dozvoljena širina jedne kuke iznosi 57,98 mm, imajući na umu uvedeno pojednostavljenje pri samoj izradi grafičkog prikaza.

Preko izrađenog grafičkog prikaza se isprekidanim linijama preklapa kvadrat dimenzija 250 x 250 mm. Listom zahtjeva u potpoglavlju 3.1.1 su određene najveće dopuštene gabaritne dimenzije izratka (256 x 256 x 250 mm), a obzirom da u ovoj fazi još nije određen smjer 3D tiskanja (položaj postolja u odnosu na 3D model), usvaja se manja dimenzija koja iznosi 250 mm. Na osnovi preklopljenog gabaritnog kvadrata, odabiru se tri kvadrata koju čini isprepletana žica, kroz koje će se vješati nosač. Slika 4.6 prikazuje opisano, sa šrafiranim kvadratima koji su odabrani za prolaz i vješanje nosača. Obzirom na ranije spomenutu mogućnost nestandardne izvedbe žičane ograde, veća važnost se daje razmaku i točnijem dimenzioniranju gornje dvije kuke, nego pomoćnoj kuki na dnu.



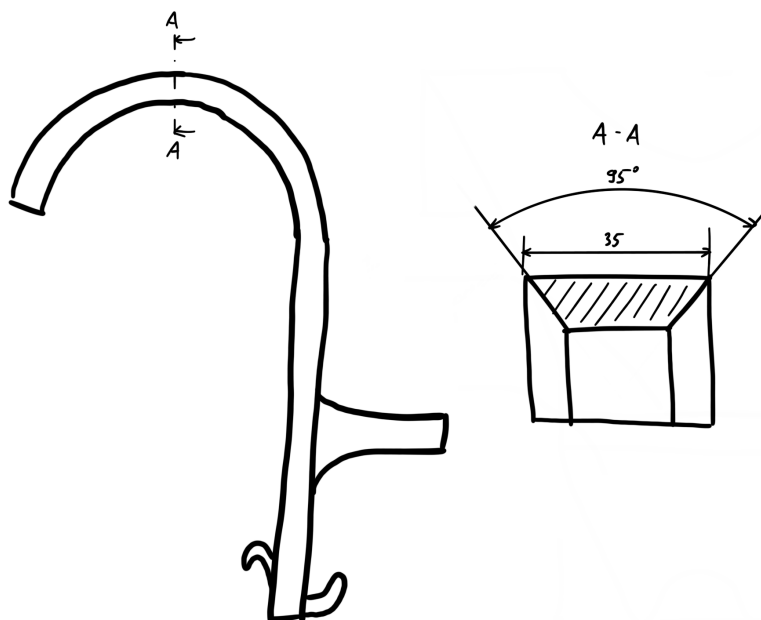
Slika 4.6 Gabaritne dimenzije nosača s odabranim kvadratima za vješanje

Na grafičkom prikazu se mjere razmaci između kvadrata, odnosno budućih dodirnih točaka nosača i žičane ograde.



Slika 4.7 Razmaci između dodirnih točaka kuka s ogradom

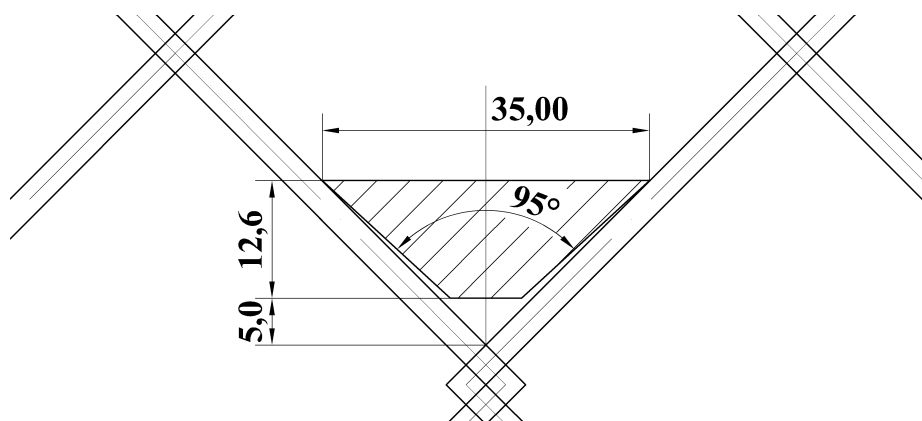
S ovim informacijama se mogu odrediti dimenzije i točan oblik kuka nosača. Kako bi se nosač što bolje montirao na žičanu ogradu, same kuke će biti izvedene sa specifičnim trapezoidnim oblikom poprečnog presjeka koji je prikazan na slici 4.8.



Slika 4.8 Skica poprečnog presjeka kuke

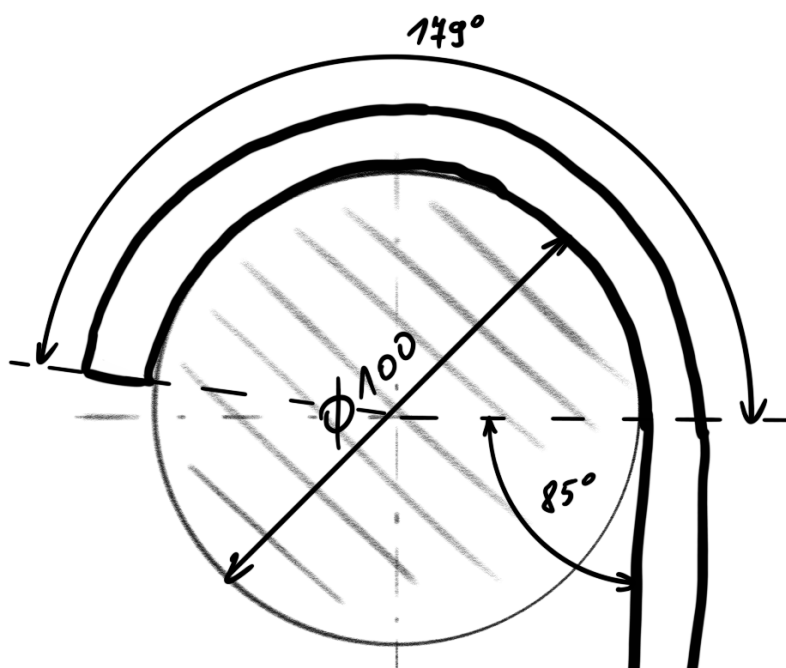
Najveća dozvoljena širina jedne kuke je 57,98 mm (slika 4.5), no zbog uvedenog pojednostavljenja i zbog mogućnosti za montažom nosača na što više različitih i nestandardnih žičanih ograda, ona se usvaja na 35 mm. Nadalje, prethodno pravokutni poprečni presjek je sada trapezoidnog oblika čije katete (bokovi) međusobno zatvaraju kut od 95° . Zbog u praksi nepredvidivog oblika same žičane ograde, tj. isprepletenih žica, kutom većim od očekivanog kuta savijanja žica koji iznosi $90^\circ \pm 5^\circ$ se samim oblikom konstrukcije osigurava da dodirne točke budu na bokovima trapezoidnog profila kuke, a ne na donjem bridu. Sve navedeno osigurava dvije dodirne točke na svakoj kuki, umjesto planirane jedne. Osim toga, zbog oblika poprečnog presjeka pojedine kuke, pod teretom će se ostvarivati efekt klina i doprinosti stabilnosti.

Na osnovu ove skice se na postojećem grafičkom prikazu u mjerilu izrađuje skica poprečnog presjeka, zbog provjere i zbog dobivanja ostalih dimenzija koje će biti potrebne pri 3D modeliranju nosača.



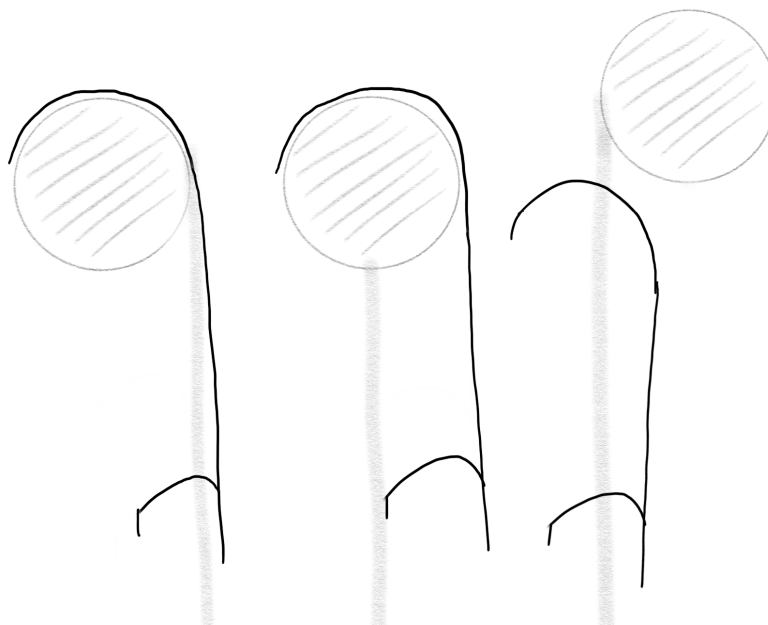
Slika 4.9 Poprečni presjek jedne glavne kuke nosača

Najveći promjer cilindrične poprečne cijevi za koje će nosač biti namijenjen je 100 mm. Odabire se i kut kružnog luka koji obavija cijev ograde; obzirom da će nosač pod teretom imati tendenciju za nagnjanjem prema naprijed uslijed pomicanja središta mase sklopa prema naprijed, potrebno je imati što veći kut te time što dulju dodirnu liniju. Odabire se kut od 179° od horizontalne ravnine kako bi se osiguralo da će nosač moći obuhvatiti cijev željenog promjera, kako bi se osiguralo od grešaka prilikom procesa 3D tiska te kako bi nosač imao što dulju dodirnu liniju i bio što stabilniji. Slika 4.10 prikazuje opisano.

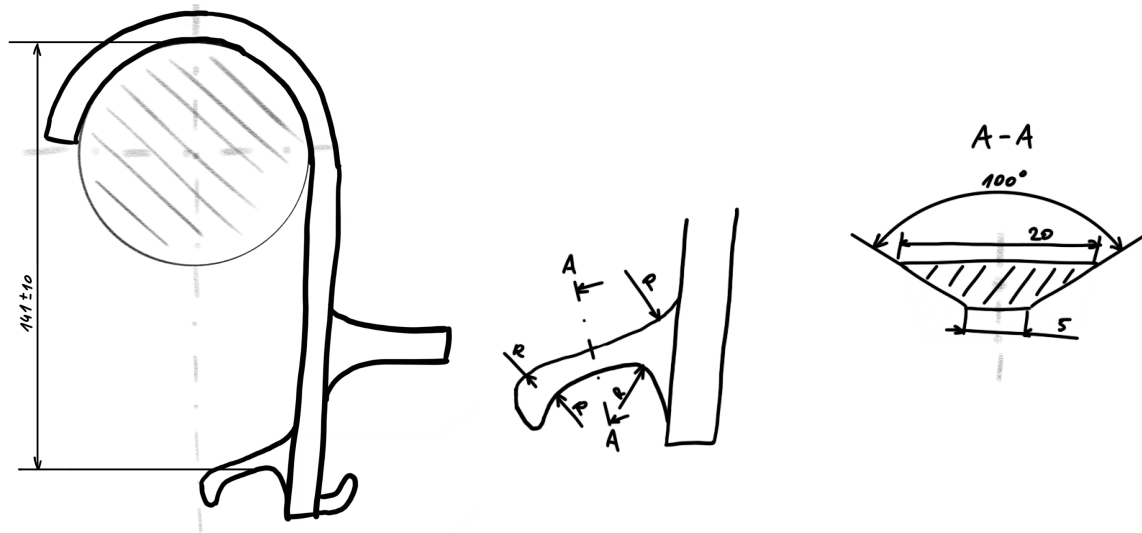


Slika 4.10 Promjer kružnice i kut kružnog luka kuke

Razrađuje se donja pomoćna kuka/oslonac. Njezina svrha je isključivo povećanje stabilnosti odnosno povećanje broja dodirnih točaka nosača s ogradom ukoliko to bude ostvarivo u slučaju nestandardnih izvedbi ograda. Ona neće biti nosiva te će se gornje dvije kuke dimenzionirati na način da mogu podnijeti cijelo opterećenje. Kako je već rečeno, pod opterećenjem se očekuje nagnjanje cijelog nosača prema naprijed, rotacijom pametnog telefona prema tlu oko linije dodira na gornjim kukama. Pretpostavlja se da će većina korisnika i htjeti imati mali nagib prema naprijed kako bi pametni telefon bolje snimio sportsko igralište/teren, obzirom da je nosač namijenjen za vješanje na više pozicije. Kako bi se onemogućilo pretjerano (neželjeno) nagnjanje, donja kuka se konstruira kako je prikazano na slici, ovisno o načinu na koji je montirana žičana ograda. Ako je nosač montiran kao u slučaju lijevo, pomoćna kuka se u potpunosti provlači kroz žičanu ogradu i u slučaju kontakta pridonosi nošenju tereta i stabilnosti. U ovom slučaju se nosač ne nagnje prema naprijed zbog načina na koji je žičana ograda montirana. Ako je žičana ograda montirana kao na srednjem prikazu, pomoćna kuka se oslanja na ogradu i sprječava pretjerano nagnjanje nosača prema naprijed. U trećem slučaju (desno), ako bi se nosač montirao za poprečnu cijev ograde, previše bi se nagnuo prema naprijed, stoga se u tom slučaju pretpostavlja da će se cijeli nosač objesiti na žičanu ogradu.



Slika 4.11 Pretpostavljeni načini montiranja nosača ovisno o izvedbi ograde

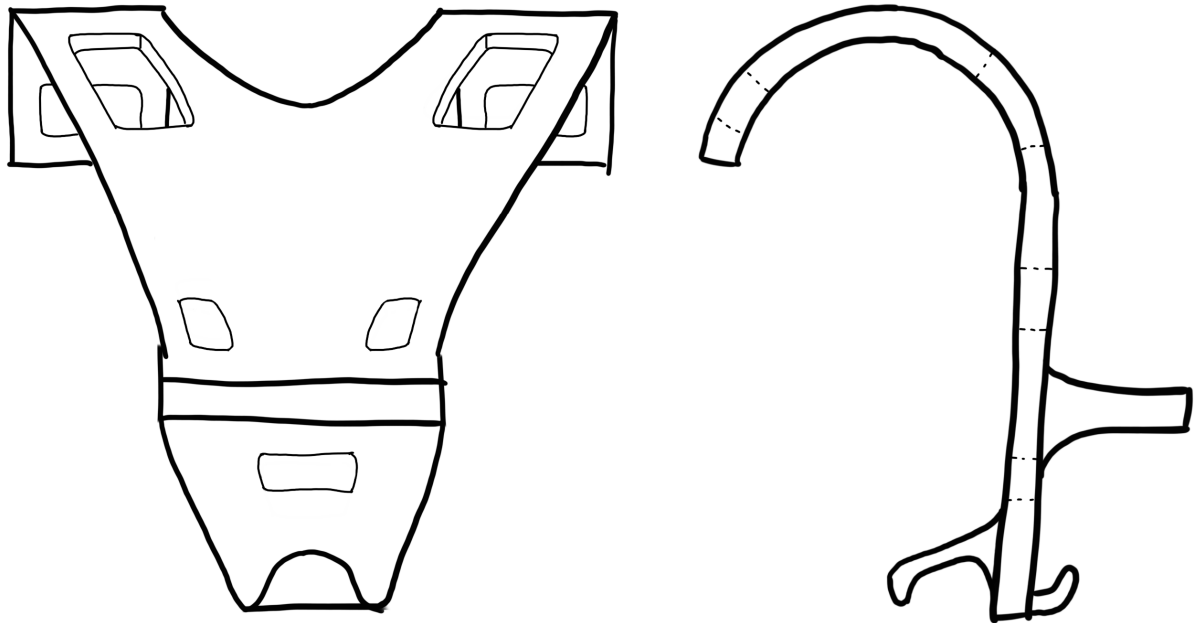


Slika 4.12 Dimenzije pomoćne kuke

Od plohe glavnog dijela nosača kuka izvire do okomice na središte kružnice koja čini cijev poprečnog presjeka promjera 100 mm. Gledano iz bokocрта, kuka je oblikovana s nagibom kako bi rotacijom nosača prema naprijed uslijed težine tereta ona nastojala ostati u kontaktu sa žičanom ogradom. Na svom kraju ima ravni dio koji služi za naslanjanje na ogradu u slučaju da nije moguće vješanje. Poprečni presjek kuke ima sličan oblik kao i glavne dvije kuke, no zbog već spomenute činjenice da dimenzije žičanih ograda mogu varirati, dimenzije njezinog poprečnog presjeka su manje, a kut kojeg zatvaraju katete je veći kako bi se osiguralo ostvarivanje kontakta s ogradom.

4.2.2 Prolazi za pomoćno vješanje i povezivanje

Na svakoj kuki namijenjenoj za vješanje za poprečnu cijev ograde ili za žičanu ogradu će se izvesti dva prolaza najmanje dimenzije 10 mm te neće biti nužno kružnog oblika, već će pratiti konturu kuke nosača. Ovim putem se korisniku omogućuje vješanje putem bilo kakvih poveza, špaga i uzica ukoliko nije moguće montirati nosač na predviđen način. U slučajevima u kojima je moguće montirati nosač na predviđen način, ovi prolazi će omogućavati dodatno povezivanje, a time i stabilnost samog nosača ukoliko korisnik to bude htio. Iz istog razloga će se ovakav prolaz izvesti na dijelu kuke ispod postolja za montažu pametnog telefona. Ovi prolazi se ovdje ne dimenzioniraju, već je samo dana njihova okvirna pozicija, obzirom na to da će ih biti lakše konstruirati u CAD računalnom programu.



Slika 4.13 Prolazi za pomoćno vješanje i povezivanje

4.2.3 Montaža držača i dodataka

Kako je rečeno, na nosaču će se izvesti pozicije za montažu pametnog telefona i ostalih dodataka putem standardnih dijelova i dijelova kupljenih od treće strane. Iz analize postojećih rješenja je vidljivo da postoji više načina montaže ovakvih dodataka; nosač može imati neki oblik provrta i/ili navoja ili izveden neki oblik profila na koje se montira držač za pametni telefon ili držač neke druge vrste.

Tehnologijom 3D tiska je teško izvesti navoje s točnim mjerama i potrebnim tolerancijama, pa se stoga opcija provrta s navojem odbacuje. Provrta mogu biti i bez navoja ukoliko držač kupljen od treće strane ima predviđen takav način montaže, što je rijetkost.

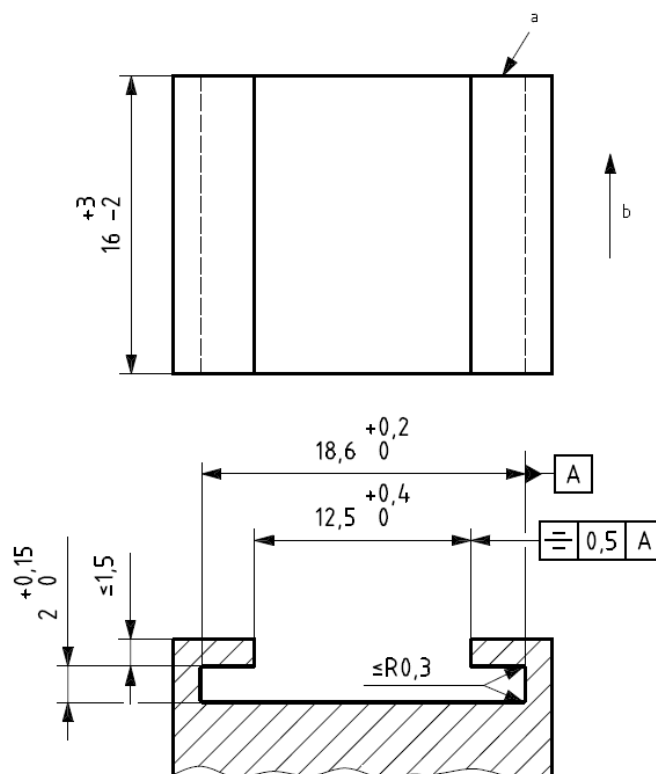
Jedan od najčešćih načina montaže bilo kakvih nastavaka, dodataka i držača, ne samo u svrhu montaže pametnog telefona, već općenito u filmskoj i fotografskoj industriji je standardizirani *hot shoe* i *cold shoe* priključak tj. engleski *mount*. Razlika između „*hot*“ i „*cold*“ (hrv. „toplo“ i „hladno“) priključka je u tome što prvi ima električne kontakte radi prijenosa električne energije na dodatak koji se montira i najčešće se izvodi na fotoaparatom radi montaže bljeskalica, dok drugi nema iste i koristi se za montažu dodataka koji ne zahtijevaju el. energiju. Ovaj priključak

je vrlo jednostavne konstrukcije koji je u spomenutim industrijama najčešće izveden iz savijenog lima. Slika 4.14 prikazuje opisane priključke; lijevo je *cold shoe* priključak proizvođača SmallRig, koji služi za montažu dodataka, nastavaka i držača, a desno je *hot shoe* priključak na modernom fotoaparatu koji služi za montažu, napajanje i komunikaciju s bljeskalicama.



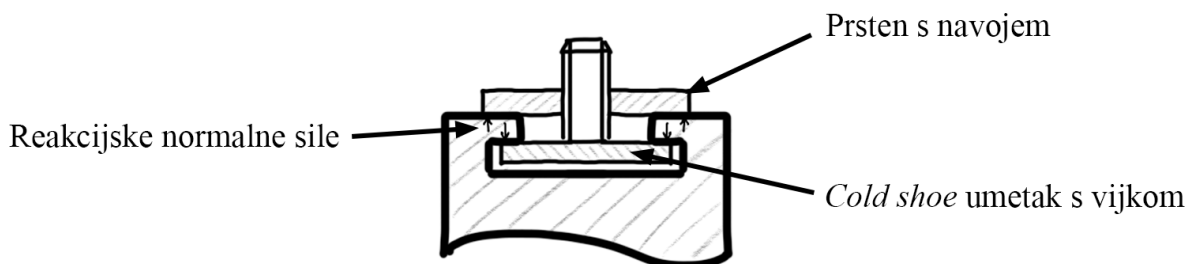
Slika 4.14 Cold shoe (lijevo) i hot shoe priključak (desno) [21]

Dimenzije ova dva priključka koje su bitne za montažu dodataka se ne razlikuju, a obzirom da u slučaju ovog zadatka nema potrebe za prijenosom el. energije (niti je ona u ovom slučaju moguća), izvest će se *cold shoe* priključak po standardu ISO 518:2006. Slika 4.15 prikazuje standardne dimenzije navedenog priključka, gdje je a ploha (engl. *backing plate*) na koju se naslanja umetak (engl. *foot*), a b smjer umetanja umetka.



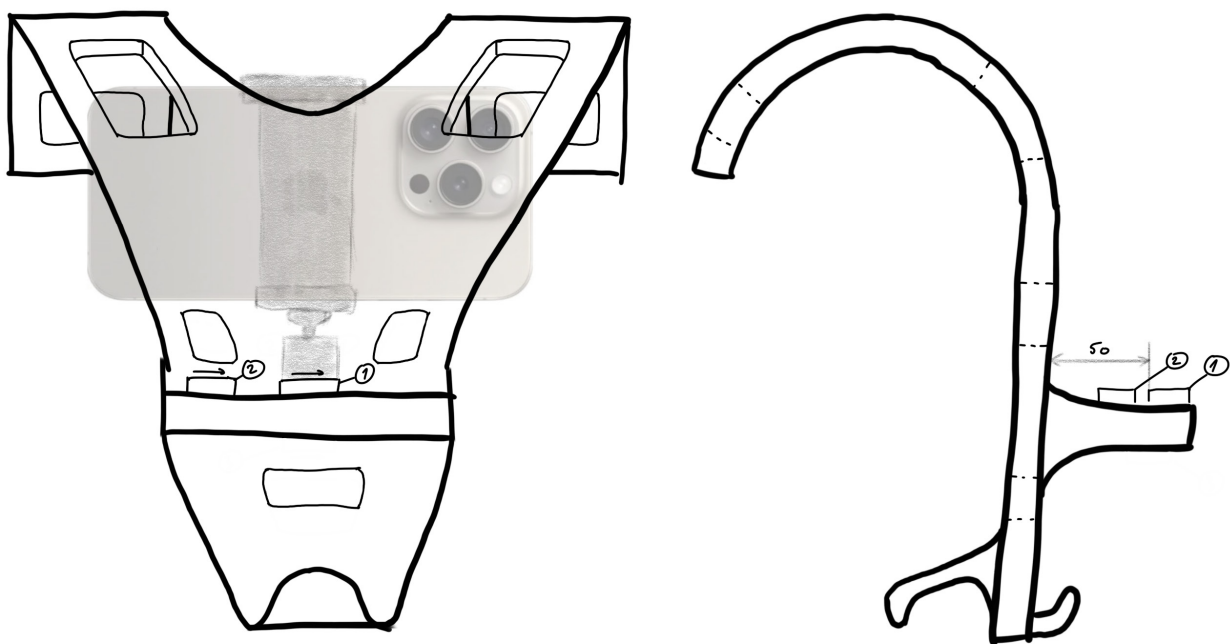
Slika 4.15 Dimenzije cold shoe priključka prema ISO 518:2006 [22]

Kod montaže ovom metodom, *cold shoe* umetak nastavka koji se montira se umeće u profil, a zatim se prstenom s navojem spoj osigurava, što je skicirano na slici 4.16. Dakle, sila koja se ostvari navojem tlači gornji dio profila od strane prstena s navojem, a unutarnji dio profila od strane *cold shoe* umetka. Reakcijska normalna sila na površinu ostvaruje silu trenja koja onemogućuje pomak montiranog dodatka u profilu. Koeficijent trenja (a time i sila trenja) se povećava najčešće gumenim pločicama montiranim na metalnom prstenu s navojem koji se zateže.



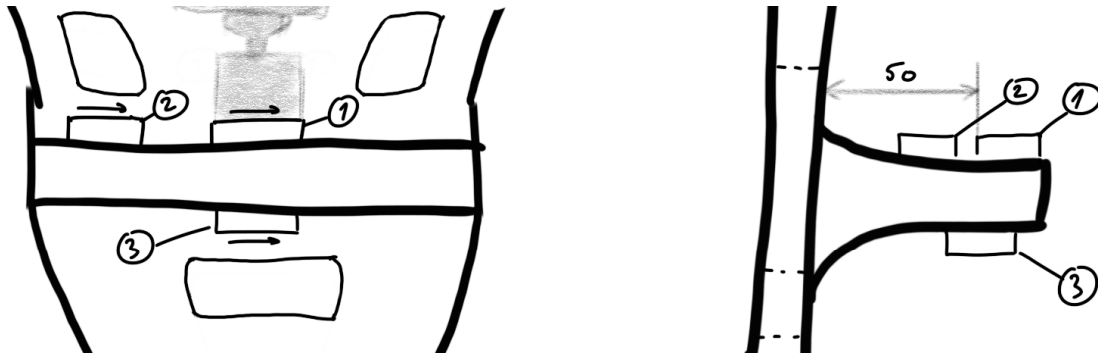
Slika 4.16 Skica presjeka vijčanog cold shoe spoja

Odabiru se pozicije gdje će se izvesti *cold shoe* priključci, kao i njihova orijentacija tj. smjer umetanja dodataka. Pozicija za montažu pametnog telefona će biti na središtu postolja kako bi se težište sklopa držača i pametnog telefona što bolje podudaralo s težištem samog nosača. Kako bi se spoj dodatno osigurao, njegovom orijentacijom se nastoji osigurati ga i oblikom. Rečeno je da će se pod teretom nosač nastojati nagnuti prema naprijed, stoga se oba profila postavljaju na način da se smjer umetanja umetka (smjer *b* na slika 4.15) vrši bočno kako je prikazano strjelicom na slici dolje. Na taj način, sila trenja je odgovorna samo za osiguravanje od bočnog pada prilikom nagninjanja nosača u stranu, što se u praksi niti ne bi trebalo dogoditi. Pozicija priključka (1) se udaljava od kuke za 50 mm kako bi korisnik imao prostora za jednostavnu montažu. Kako je najveća prosječna debljina ljudskog kažiprsta ona u muškaraca i iznosi 20 mm [23], prostor za manevriranje od 50 mm se smatra dovoljnim. Osim ovog priključka, izvest će se još jedan (pozicija 2) na istom postolju. On će služiti kao pozicija za montažu bilo kakvog drugog dodatka kojeg korisnik bude htio montirati, a koristi ovakav priključak. Odabire se pozicija na samom kraju postolja koja ima najmanju šansu ometanja video snimanja. Odnosno štogod se montira na ovu poziciju, neće biti u kadru koji se snima. Pozicionira se uz bočni rub postolja i zbog toga da se korisniku olakša montaža, obzirom na to da se ne postavlja uvjet da je priključak udaljen za 50 mm od kuke. Slika 4.17 prikazuje opisano, s preklapljenim prikazom pametnog telefona, nosača i hvataljke, radi jednostavnije vizualizacije.



Slika 4.17 *Cold shoe* priključci za montažu

Izvest će se i jedan priključak s donje strane postolja za montažu. Njegova svrha će biti montiranje dodatka te montaža priključaka koji omogućuju montiranje nosača na stativ (tronožac). U slučaju vješanja nosača za ogradu, na njega se mogu montirati dodaci poput SSD uređaja za pohranjivanje podataka. Ukoliko se priključak koristi na montažu na stativ, a korisniku je primjerice potrebno montirati i SSD uređaj, on se može montirati na priključke koji su najčešće dostupni na samim stativima.

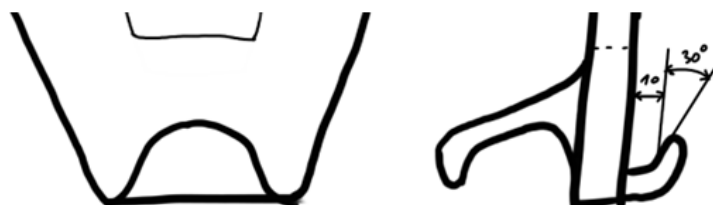


Slika 4.18 Dodatan cold shoe priključak

U nastavku rada će se na ove *cold shoe* priključke referirati s ovim brojevnim oznakama pozicija.

4.2.4 Kuka za vješanje dodataka

Na dnu nosača, s prednje strane će se izvesti kuka malih dimenzija za vješanje dodataka koji to omogućuju, poput prijenosnih baterija, prijenosnih memorijskih jedinica, neke vrste utega ukoliko je potrebno, i slično. Kuka će se izvesti na središtu nosača, kako bi dodatan ovješeni teret što manje utjecao na promjenu položaja težišta.



Slika 4.19 Kuka za vješanje dodataka

4.3. Odabir materijala

Odabire se materijal od kojeg će se 3D tiskati nosač. Kako je rečeno, za 3D tisak će se koristiti X1 Carbon proizvođača Bambu Lab. Pri odabiru materijala, potrebno je obratiti pažnju na listu zahtjeva gdje se zahtijeva da materijal, osim čvrstoće, bude otporan na razne vremenske uvjete. Pri odabiru se razmatraju najučestaliji materijali (tj. engl. *filaments*) koji se danas koriste u praksi proizvođača Bambu Lab; PLA (engl. *Polylactic acid*), PET-G (engl. *Polyethylene terephthalate glycol-modified*), ABS (engl. *Acrylonitrile butadiene styrene*) i ASA (engl. *Acrylonitrile styrene acrylate*). Razmotrit će se i inačica ASA materijala pod nazivom ASA Aero. Materijal koji se odabere će se kupiti od proizvođača Bambu Lab kako bi se osigurala što bolja kompatibilnost s 3D pisačem te kako bi se pojednostavio proces 3D tiska. Općenito, svaki od ovih materijala ima svoje glavne karakteristične prednosti i mane koje će utjecati na odabir materijala [24], [25], [26], [27], [28]. One su ispisane u tablici 4.2.

Tablica 4.2 Prednosti i nedostaci najčešće korištenih materijala pri 3D tisku

<i>Materijal</i>	<i>Prednosti</i>	<i>Nedostaci</i>
PLA	niska cijena, dobra čvrstoća i krutost, dobra dimenzijska točnost, dobar vijek trajanja	krhkost, loša otpornost na UV zračenje, loša otpornost na temperature
PET-G	dobro prijanjanje za podlogu pri tiskanju, bez mirisa pri tiskanju	kompliciranije zadati optimalne postavke za tisak
ABS	niska cijena, dobra otpornost na udarce i habanje, dobra otpornost na temperature	veliko izvijanje pri tiskanju, neugodni mirisi pri tiskanju, pri hlađenju za vrijeme 3D tiska se sužava što dovodi do dimenzijskih netočnosti
ASA i ASA Aero	dobra otpornost na UV zračenja, dobra otpornost na udarce i habanje	izvijanje pri tiskanju, viša cijena, neugodne i potencijalno otrovne pare za vrijeme tiskanja

Iz navedene tablice je već vidljivo kako će neki materijali biti pogodniji za korištenje od drugih. Kako bi se ispisane prednosti i nedostatke kvantificiralo te kako bi se usporedile točne karakteristike materijala, ispisuju se mehanička (tablica 4.3), fizikalna i kemijska svojstva (tablica 4.4) navedenih materijala proizvođača Bambu Lab. Sva ispisana svojstva su dana od proizvođača,

a ona mehanička je proizvođač dobio provedbom standardiziranih testova prema ISO 527, ISO 178 i ISO 179 [29], [30], [31], [32], [33], uz napomenu da su sva mehanička svojstva dobivena korištenjem 100%-tne ispune (engl. *infill*) uzorka. Karakteristike bitne za sam postupak 3D tiska, poput potrebne temperature podloge, potrebne temperature mlaznice itsl., se ovdje ne razmatraju obzirom da je tehničkim specifikacijama 3D pisača potvrđeno da se svaki od ovih materijala mogu tiskati bez poteškoća, odnosno da su materijali službeno podržani za tisak na pisaču X1 Carbon [17].

Tablica 4.3 Mehanička svojstva materijala za 3D tisak [29], [30], [31], [32], [33]

<i>Svojstvo/materijal</i>	<i>Mjerna jedinica</i>	<i>PLA</i>	<i>PET-G</i>	<i>ABS</i>	<i>ASA</i>	<i>ASA Aero</i>
Gustoća	g/cm ³	1,24	1,25	1,05	1,05	0,99
Temperatura tališta	°C	160	225	200	210	204
Modul elastičnosti	MPa	2580±220	1460±190	2200±190	2450±270	2010±260
Vlačna čvrstoća	MPa	35±4	32±4	33±3	37±3	32±4
Deformacija pri lomu	%	12,2±1,8	11,2±0,8	10,5±1,0	9,2±1,4	5,1±1,6
Modul savijanja	MPa	2750±160	1670±120	1880±110	1920±130	1510±120
Savojna čvrstoća	MPa	75±5	65±4	62±4	65±5	58±6
Udarne snaga	kJ/m ²	26,6±2,8	52,7±2,4	39,3±3,6	41,0±2,3	32,0±2,5

Tablica 4.4 Fizikalna i kemijska svojstva materijala za 3D tisak [29], [30], [31], [32], [33]

<i>Svojstvo/materijal</i>	<i>PLA</i>	<i>PET-G</i>	<i>ABS</i>	<i>ASA</i>	<i>ASA Aero</i>
Miris	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
Opasnost za kožu	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
Kemijska stabilnost	Da (u normalnim uvjetima)	Da (u normalnim uvjetima)	Da (u normalnim uvjetima)	Da (u normalnim uvjetima)	Da (u normalnim uvjetima)
Topivost	Netopivo u vodi	Netopivo u vodi	Netopivo u vodi	Netopivo u vodi	Netopivo u vodi
Otpornost na kiseline	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
Otpornost na lužine	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
Otpornost na organska otapala	Neotporno na neka	Neotporno na neka	Neotporno na neka	Neotporno na neka	Neotporno na neka
Otpornost na ulja i masti	Otporno na većinu	Otporno na većinu	Neotporno na neka	Neotporno na neka	Neotporno na neka
Otpornost na UV zračenja	Ne	Ne	Djelomična	Da	Da
Zapaljivost	Da	Da	Da	Da	Da
Produkti izgaranja	Voda, ugljični oksidi	Voda, ugljični oksidi	Voda, ugljični oksidi, dušični oksidi	Voda, ugljični oksidi, dušični oksidi	Voda, ugljični oksidi, dušični oksidi
Mirisi izgaranja	Ne	Ne	Da, neugodni	Da, neugodni	Da, neugodni
Cijena [€/kg]; [25], [26], [27], [28]	22,99	26,64	25,99	31,99	53,30

Kako je jedan od bitnih zahtjeva otpornost proizvoda na UV zračenja obzirom na to da će se on koristiti na direktnom suncu, postojanje tog svojstva je neizostavno. Iz tablice 4.4 je vidljivo da samo ABS, ASA i ASA Aero materijali posjeduju to svojstvo, od čega ASA ima najbolje mehaničke karakteristike, stoga se odabire upravo taj materijal za izradu proizvoda. Odabir ovog materijala je prihvatljiv i zbog zahtjeva za radnim rasponom od temperatura od 0 do 40 °C. Kako je to temperatura zraka u hladu, relativno visoko talište koje iznosi 210 °C se smatra zadovoljavajućim za uspješno obavljanje funkcije nosača na direktnom Suncu.

4.4. Odabir dodatka od treće strane

U ovom potpoglavlju se odabiru svi obavezni i opcionalni dodaci koji će se naručiti od treće strane i koje korisnik mora ili može naručiti kako bi proširio funkciju proizvoda. Obavezni dodatak je držač pametnog telefona s *cold shoe* priključkom i nastavno na njega hvataljka pametnog telefona,

a opcionalni dodaci uključuju zaštitu od sunčevih zraka i/ili kiše, neki oblik poveza radi dodatne sigurnosti od pada nosača, prijenosnu bateriju za punjenje pametnog telefona i SSD uređaj za pohranu podataka. Prijenosna baterija i SSD uređaj se neće birati obzirom na to da ne pridonose funkciji proizvoda te je kod istih najbitnije bilo odrediti njihovu masu radi nosivosti nosača što je određeno u potpoglavlju 3.1. Bez obzira na tu činjenicu, dat će se pregled hvataljki za SSD uređaje za pohranu memorije kako bi se u fazi konstruiranja u CAD računalnom programu znalo koje su njezine dimenzije, dok je za montažu (tj. vješanje) vanjske baterije već predodređena kuka na nosaču opisana u potpoglavlju 4.2.4.

4.4.1 Držac pametnog telefona

S tržišta se odabire držac pametnog telefona s *cold shoe* priključkom. Iako korisniku neće biti imperativ koristiti dolje odabrani držac, već će sam kupiti onaj koji mu bude prihvatljive cijene i koji mu bude dostupan, većina držača ovakvoga tipa je slične konstrukcije i dimenzija te je izrađena od sličnih materijala, stoga će masa i pozicija težišta većine držača na tržištu biti slična. Radi dodatne stabilnosti te radi dodatne sigurnosti na nosivost nosača, odabrat će se držac izrađen od metala (umjesto plastike), koji posljedično ima veću masu. Na tržištu postoje mnogobrojni držači ovakvoga tipa, a jedan primjer je prikazan na slici 1.3 u potpoglavlju 1.1. U nastavku je dana tablica s ispisanim glavnim dimenzijama i karakteristikama takvih držača na tržištu.

Tablica 4.5 Glavne karakteristike nekoliko držača za kamere na tržištu

<i>Proizvođač</i>	<i>Model</i>	<i>Primarni materijal</i>	<i>Masa [kg]</i>	<i>Visina [cm]</i>	<i>Nosivost [kg]</i>	<i>Cijena [€]</i>	<i>Izvor</i>
Manfrotto	LYKOS	Aluminij	0,104	7,2	2	37,16	[34]
Fomei	LS	Aluminij	0,089	7	2	8,00	[35]
SmallRig	761	Aluminij	0,070	6	2	5,50	[36]
Leofoto	MBH-19	Aluminij	0,089	4,9	2	28,50	[37]

Na temelju dane tablice, odabire se držac pametnog telefona SmallRig 761, zbog svoje prihvatljive cijene, najmanje mase i jednake nosivosti kao i ostali navedeni proizvodi. Izveden je na standardan način te sadrži pločicu kružnog oblika s gumenom podlogom radi sprječavanja klizanja tereta. Također sadrži standardni UNC 1/4" navoj za spajanje s potrebnim dodacima. Prikazan je na slici 4.20.



Slika 4.20 Odabrani držač pametnog telefona SmallRig 761 [36]

4.4.2 Hvataljka pametnog telefona

Hvataljka pametnog telefona se odabire istom metodologijom kao i držač pametnog telefona odabran u prethodnom potpoglavlju. U ovom slučaju također postoji mnogo proizvoda na tržištu, a svi imaju sličnu konstrukciju, dimenzije i korištene materijale. Najčešće izvedbe su od plastike ili aluminijske, pa se stoga i ovdje odabire hvataljka koja je izrađena od aluminijske radi što veće proračunske mase, ali i sigurnosti od pada pametnog telefona. U tablici 4.6 su ispisane glavne dimenzije i karakteristike nekih hvataljki na tržištu. Navedene su hvataljke koje su isključivo onakve izvedbe kakva je opisana u potpoglavlju 1.1, koje sadrže univerzalni UNC 1/4" navoj kao način spajanja s gore odabranim držačem pametnog telefona.

Tablica 4.6 Glavne karakteristike hvataljki pametnih telefona na tržištu

<i>Proizvođač</i>	<i>Model</i>	<i>Primarni materijal</i>	<i>Masa [kg]</i>	<i>Max. širina telefona [mm]</i>	<i>Cijena [€]</i>	<i>Izvor</i>
SmallRig	4382	Aluminij	0,073	88	28,75	[38]
Leofoto	PC-90	Aluminij	0,064	90	30,00	[39]
Bresser	BR-140	ABS Plastika	0,030	85	2,00	[40]
Manfrotto	MCPIXI	ABS Plastika	0,041	104	17,10	[41]

Kako je rečeno, odabrat će se hvataljka izrađena od aluminijske radi veće krutosti i veće sigurnosti od pada. Također je bitno da hvataljka može prihvatiti što širi pametni telefon, obzirom na to da

današnje tržište teži što širim (i općenito dimenzijski većim) pametnim telefonima. Stoga se odabire hvataljka Leofoto PC-90 koja je prikazana na slici 4.21. Hvataljka sadrži standardni UNC 1/4" ženski navoj za spajanje s prethodno odabranim držačem pametnog telefona, a uključuje i sustav kočenja vijčanog mehanizma radi dodatne sigurnosti od pada tereta.



Slika 4.21 Odabrana hvataljka pametnog telefona Leofoto PC-90 [39]

4.4.3 Hvataljka SSD uređaja

U nastavku je dan pregled hvataljki za SSD uređaje za pohranu podataka s *cold shoe* priključkom za montažu kako bi u fazi CAD konstruiranja bile poznate njihove dimenzije. Hvataljke su izvedene na sličan način kao hvataljke za pametne telefone; SSD uređaj je prihvaćen s tri strane, od kojih je s dvije pričvršćen čvrstom mehaničkom vezom.

Tablica 4.7 Glavne karakteristike hvataljki za SSD uređaje na tržištu

<i>Proizvođač</i>	<i>Model</i>	<i>Dimenzije [mm]</i>	<i>Masa [kg]</i>	<i>Izvor</i>
SmallRig	Universal Holder for External SSD	68,5 x 54 x 46,5	0,115	[42]
Kondor Blue	Universal SSD Holder for External Recording	64 x 40 x 70	0,100	[43]
Neewer	UA035	73 x 64,5 x 31,2	0,115	[44]

Iz tablice se može iščitati da su ovakve hvataljke u prosjeku dužine i širine oko 7 cm i visine do 5 cm, pa će se na to obratiti pozornost prilikom daljnjeg konstruiranja. Slika 4.22 prikazuje gore navedenu hvataljku za SSD uređaj proizvođača SmallRig, montiranu na *cold shoe* priključak na kameri.



Slika 4.22 SmallRig hvataljka za SSD uređaj montirana na *cold shoe* priključak kamere

4.5. Preliminarna cijena novog rješenja

Kako bi se novi proizvod mogao suvislo vrednovati, a zatim i usporediti s postojećim rješenjima, potrebno je odrediti i novčani trošak za korisnika $c_{\text{nos, pr}}$. Trošak će biti sačinjen od troška 3D tiskanja samog nosača te od maloprodajne cijene predviđenih odabranih obaveznih dodataka. Pri računanju troška se neće uračunati cijena SSD uređaja za pohranu podataka i cijena prijenosne baterije obzirom da oni spadaju pod opcionalni dodatak i ne utječu na funkciju nosača, kao i zbog toga što postojeći proizvodi na tržištu ne nude opciju prodaje svog proizvoda s tim dodacima uključenima u cijenu. Cijenu novog rješenja će sačinjavati preliminarni trošak 3D tiska $c_{3\text{Dt, pr}}$, cijena držača pametnog telefona c_{dr} i cijena hvataljke pametnog telefona c_{hv} :

$$c_{\text{nos, pr}} = c_{3\text{Dt, pr}} + c_{\text{dr}} + c_{\text{hv}} \quad (4.1)$$

Cijenu 3D tiska $c_{3\text{Dt}}$ određuje cijena utrošenog materijala te cijena potrošene električne energije tijekom 3D tiska. Cijena potrošene električne energije će se zanemariti obzirom na to da je neznčajna u odnosu na cijenu materijala (*filamenta*). Inače, računalni program za postavljanje postavki 3D tiska (engl. *slicer*) automatski određuje utrošak materijala i cijenu za isti, no kako 3D

model nosača još nije izrađen, ovdje se računa s pretpostavljenim vrijednostima. Stoga se s velikim faktorom sigurnosti pretpostavlja da će se za tisak nosača utrošiti cijela špula (engl. *spool*) korištenog materijala, odnosno da će se utrošiti 1 kg materijala. Time preliminarna cijena 3D tiska iznosi $c_{3Dt, pr} = 31,99 \text{ €}$ [28], a ukupna preliminarna cijena novog rješenja, uz cijene dodataka određenima u potpoglavlju 4.4 prema izrazu (4.1) iznosi:

$$\begin{aligned}c_{nos, pr} &= c_{3Dt, pr} + c_{dr} + c_{hv} \\c_{nos, pr} &= 31,99 \text{ €} + 5,50 \text{ €} + 30,00 \text{ €} \\c_{nos, pr} &= 67,49 \text{ €}\end{aligned}$$

Već sada je vidljivo da novi proizvod ima manju cijenu od nekih postojećih rješenja, imajući na umu pretpostavku usvojenu prilikom usvajanja troška iskorištenog materijala za 3D tisak.

4.6. Vrednovanje novog rješenja

Razrađeni su konstrukcijski detalji do prihvatljive mjere, odabran je materijal za 3D tisak te su odabrani dodaci od treće strane, stoga se u nastavku provodi vrednovanje novog rješenja te se uspoređuje s već provedenim vrednovanjem postojećih rješenja na tržištu obrađenim u potpoglavlju 3.2.2. Obzirom na to da svi konstrukcijski detalji još nisu određeni te će se odrediti tek pri 3D modeliranju u CAD računalnom programu, ocjene nekih svojstava se dodjeljuju sa svojevrsnom zadržkom (dodjeljuje se manja ocjena nego što bi ona stvarno trebala biti), a ponovno vrednovanje će se provesti nakon što se izradi konačni 3D model nosača.

Potrebna minimalna nosivost, koja je određena da je 1,3 kg, se pretpostavlja da je postignuta i da će biti vrlo dobra. U fazi CAD konstruiranja i MKE analize će se ova činjenica potvrditi, no svakako će se nastojati konstruirati nosač koji će zadovoljiti zahtjev na nosivost sa što većim faktorom sigurnosti.

Zbog velikog broja planiranih dodirnih točaka s ogradom se ocjenjuje da nosač ima zadovoljavajuću stabilnost, no zbog neplaniranog rješenja za suzbijanje vibracija, to svojstvo se ocjenjuje kao jedva zadovoljavajuće. Nosač će suzbijati vibracije isključivo neposredno, zbog

svog oblika, broja dodirnih točaka i mase obješenog tereta, no nema i ne nudi direktno rješenje protiv suzbijanja vibracija poput nekih vrsta gumatica, prigušivača i sl.

Pretpostavlja se da će nosač imati male i prihvatljive deformacije zbog krutosti korištenog materijala. Ukoliko deformacije budu velike, tj. nezadovoljavajuće, pri 3D modeliranju u CAD računalnom programu će se povećati površina kritičnih poprečnih presjeka, smanjiti veličina ili broj prolaza te na druge načine doskočiti tom problemu. Otpornost na vremenske uvjete i temperaturu okoline bi trebala biti odlična obzirom na materijal koji se planira koristiti, uz skretanje pažnje na činjenicu da iako tehničke karakteristike ASA materijala nalažu da ima odličan raspon radnih temperatura (Tablica 4.4), plastike su po prirodi manje otporne na više temperature.

Nosač je konstruiran na način da se može lako montirati na različite vrste ograda, što je svojstvo koje proizlazi iz liste želja, no zbog svoje izvedbe i krute strukture, neće biti kompatibilan s apsolutno svakom ogradom na tržištu. Vrlo lako će se montirati na različite vrste ograda, pa čak i mrežaste pregrade, a moguća je i montaža samo s jednom rukom. Jedini nedostatak pri tome je što je manje praktično montirati nosač na vrlo visoke ograde, kao što je praktično kod proizvoda Swing Stick, opisanom u potpoglavlju 2.1.3. Novi nosač ima planirane pozicije za montažu dodataka poput kišobrana za zaštitu od kiše i sunca, kao i mnogobrojne prolaze koji mogu poslužiti za montažu nekog proizvoda slične funkcije, no nema direktno izvedenu zaštitu. Kut zakretanja pametnog telefona je neometan s prednje strane nosača te je opstruiran samo ukoliko se korisnik odluči rotirati pametni telefon za 180 stupnjeva oko vertikalne osi. Nosač je zbog korištenog materijala inherentno male mase, a gabaritne mjere, ograničene 3D pisačem, su također vrlo prihvatljive.

Pri razradi detalja je posebna pažnja pridodana pozicijama i priključcima za montažu dodataka, stoga je ovo svojstvo odlično ispunjeno. Standardni dijelovi se koriste do te mjere da su sve pozicije za montažu dodataka izrađene s *cold shoe* priključkom, a čak je izveden i *cold shoe* priključak za montažu na stativ tj. tronožac.

Cijena za krajnjeg korisnika je prihvatljivija od ostatka tržišta što je izračunato u potpoglavlju 4.5, no točna cijena je i dalje nepoznanica.

Nosač ne otežava osiguranje tereta u kontekstu povezivanja samog pametnog telefona ili nekih dodataka za ogradu radi dodatne sigurnosti, a kako je rečeno, razni prolazi na nosaču omogućuju njegovo dodatno povezivanje za ogradu ukoliko je korisniku to želja.

Estetičnost proizvoda je zadovoljavajuća; obratila se pažnja na korištenje zaobljenih ploha i rubova gdje je bilo moguće.

Istom metodologijom kao i u potpoglavlju 3.2.2 se vrednuje novo rješenje, a u nastavku je dana tablica prvog vrednovanja novog rješenja.

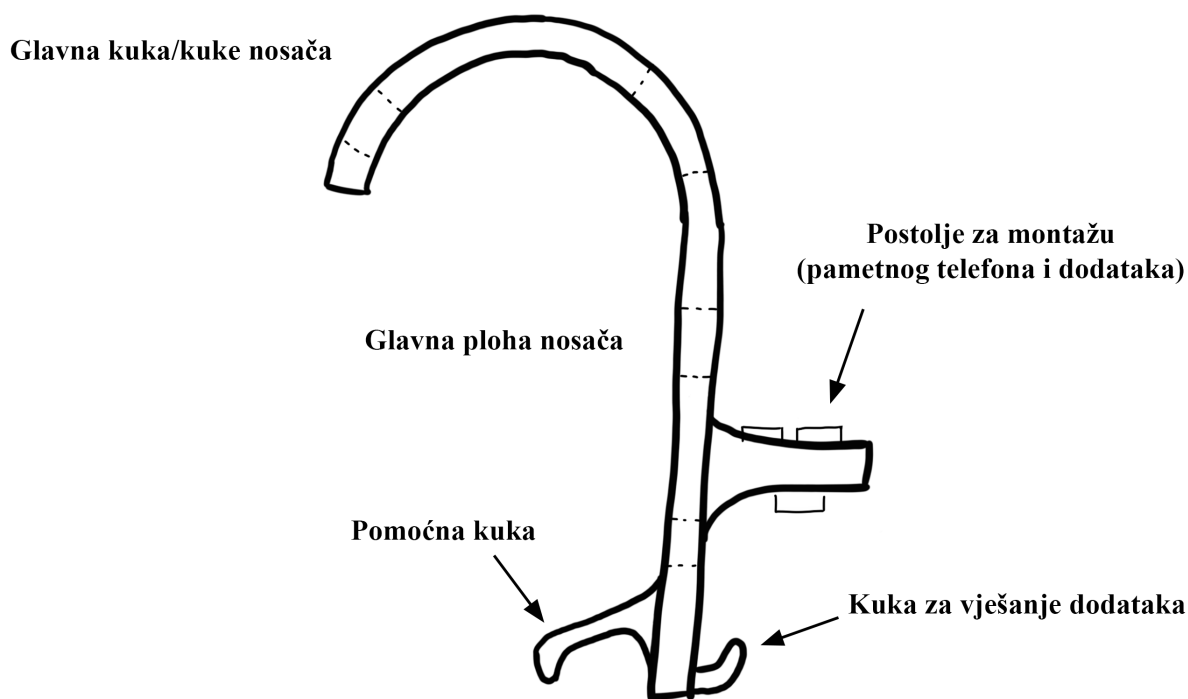
Tablica 4.8 Prvo vrednovanje novog rješenja

Kriterij	g_{ki}	Svojstvo	g_{si}	Prvo vrednovanje	
				v_i	$g_{si} \cdot v_i$
Nosivost	0,15	masa tereta	0,150	3	0,450
Stabilnost	0,1	stabilno montiranje	0,075	2	0,150
		ublažavanje vibracija	0,025	1	0,025
Trajnost	0,1	male deformacije	0,027	2	0,054
		otpornost na sunčeve zrake	0,025	4	0,100
		otpornost na kišu/snijeg	0,015	4	0,060
		radni raspon temperatura	0,020	3	0,060
		lako održavanje	0,013	4	0,052
Praktičnost	0,2	kompatibilnost s različitim vrstama ograde	0,075	3	0,225
		lakoća montaže	0,035	3	0,105
		zaštita pametnog telefona od sunca/kiše	0,025	2	0,050
		kut zakretanja pametnog telefona	0,040	3	0,120
		male gabaritne mjere i masa	0,025	3	0,075
Modularnost	0,2	pozicije za montažu dodataka	0,100	4	0,400
		korištenje standardnih dijelova	0,050	2	0,100
		montaža nosača na tronožac	0,050	4	0,200
Cijena	0,1	trošak za krajnjeg korisnika	0,100	2	0,200
Sigurnost	0,1	osiguranje tereta	0,040	2	0,080
		osiguranje nosača	0,060	3	0,180
Estetika	0,05	dizajn	0,050	2	0,100
Σ	1		1		
Ukupna nevagana dobrota V				56	
Ukupna vagana dobrota V_g				2,7860	
Ukupna nevagana apsolutna dobrota V_{aps}				0,7000	
Ukupna vagana apsolutna dobrota V_{gaps}				0,6965	

Iz tablice je vidljivo da novo rješenje ima uvelike veću vaganu i apsolutnu vaganu dobrotu u odnosu na postojeća rješenja vrednovana u potpoglavlju 3.2.2, gdje je najveću apsolutnu vaganu dobrotu imao Nexus Mount The OG u vrijednosti 0,5700, što znači da konstruiranje proizvoda ide u dobrom smjeru i u skladu s listom zahtjeva i želja.

5. IZRADA 3D CAD MODELA NOSAČA I NUMERIČKA ANALIZA

U nastavku se izrađuje 3D model nosača prema dosad uspostavljenim zahtjevima, dimenzijama i konstrukcijskim detaljima. Neke dimenzije i detalji će se mijenjati u odnosu na one iz poglavlja 4 te će se konstrukcija dodatno razraditi i finalizirati za 3D tisak, što uključuje analizu metodom konačnih elemenata. Zbog jednostavnijeg rukovanja pojmovima, slika 5.1 prikazuje skicu nosača u bokocrtu s označenim dijelovima nosača na način na koji će se na njih referirati u nastavku rada. Glavna ploha nosača je vertikalna ploha na kojoj je izvedeno postolje za montažu, pomoćna kuka i kuka za vješanje dodataka, a glavne kuke nosača su zakrivljeni dijelovi konstrukcije koji će obavijati cijev igrališta ili koje će se provlačiti kroz žičanu ogradu radi vješanja.



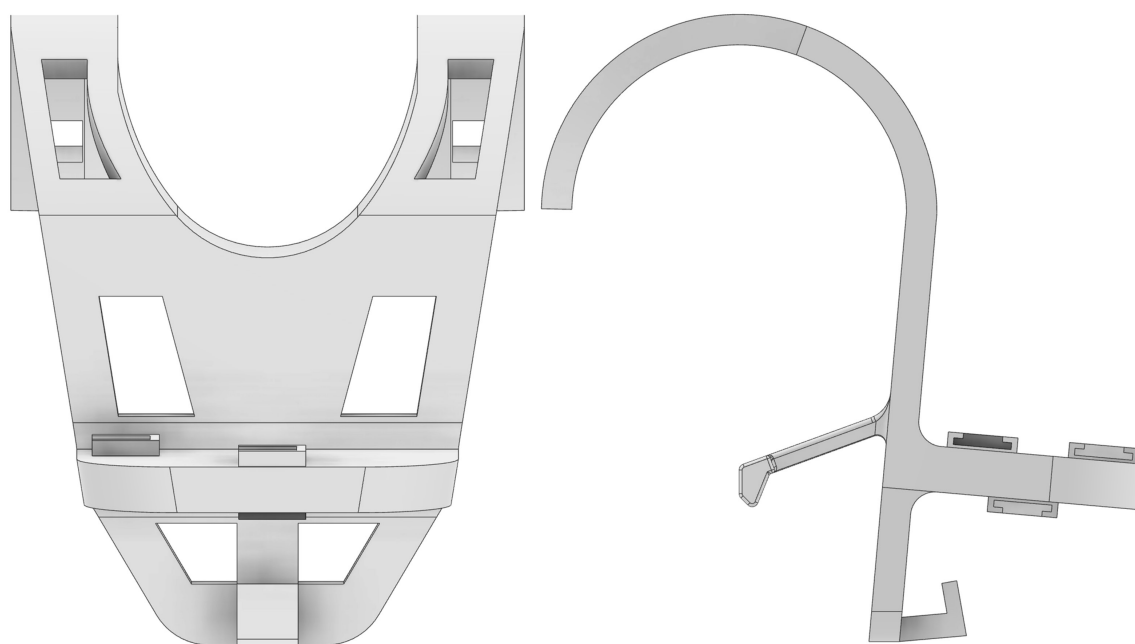
Slika 5.1 Skica nosača s označenim glavnim dijelovima

5.1. 3D model

Nosač je modeliran po uzoru na izrađene skice i koncept kako je prikazano na slikama ispod.

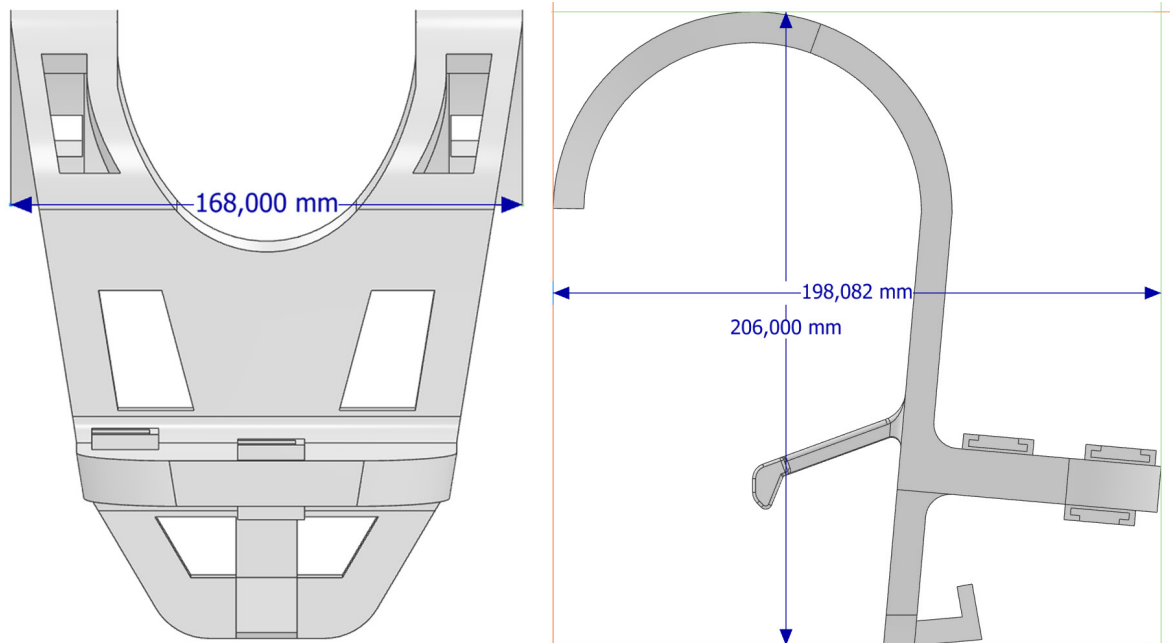


Slika 5.2 Prvi 3D model nosača, izometrijski prikaz



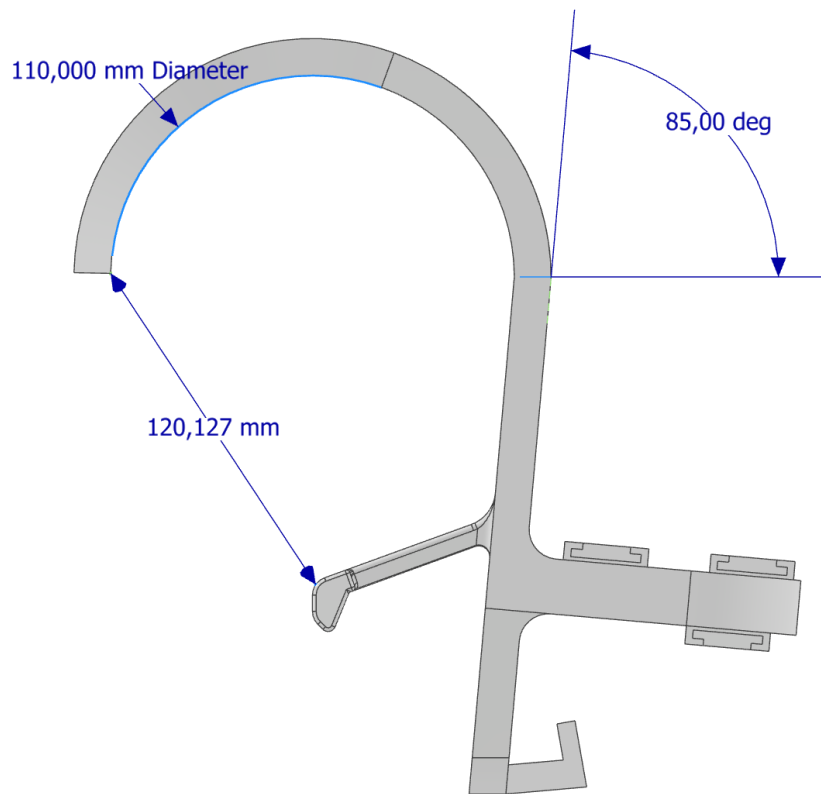
Slika 5.3 Prvi 3D model nosača, nacrt i bokocrt

Ispoštovane su gabaritne dimenzije zadane listom zahtjeva u potpoglavljju 3.1.1.



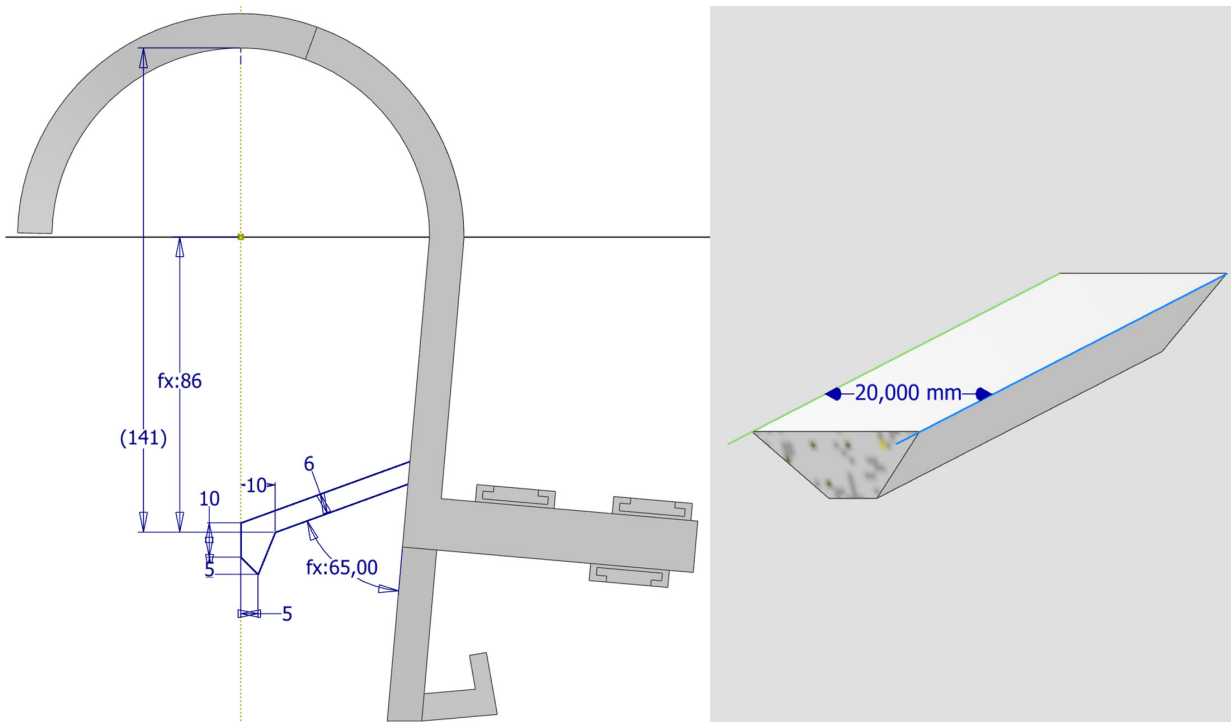
Slika 5.4 Gabaritne dimenzije modela

Promjer poprečne cijevi ograde za koju se nosač može objesiti iznosi 110 mm. Iako je u potpoglavljju 4.2.1 određeno da će nosač biti konstruiran za cijev promjera 100 mm, zbog uvedene zračnosti od 5 mm radi vješanja na žičanu ogradu (slika 4.9), mogući promjer se povećao. Željeni kut kružnog luka koji obavija cijev ograde je ispoštovan i iznosi 179° , kao i željeni kut otklona glavne plohe nosača od vertikalne ravnine koji iznosi 5° . Obratila se pažnja da razmak između kraja glavne kuke i pomoćne kuke bude veći od 110 mm kako bi se nosač neometano mogao montirati na ogradu. Slika 5.5 prikazuje 3D model sa spomenutim dimenzijama.



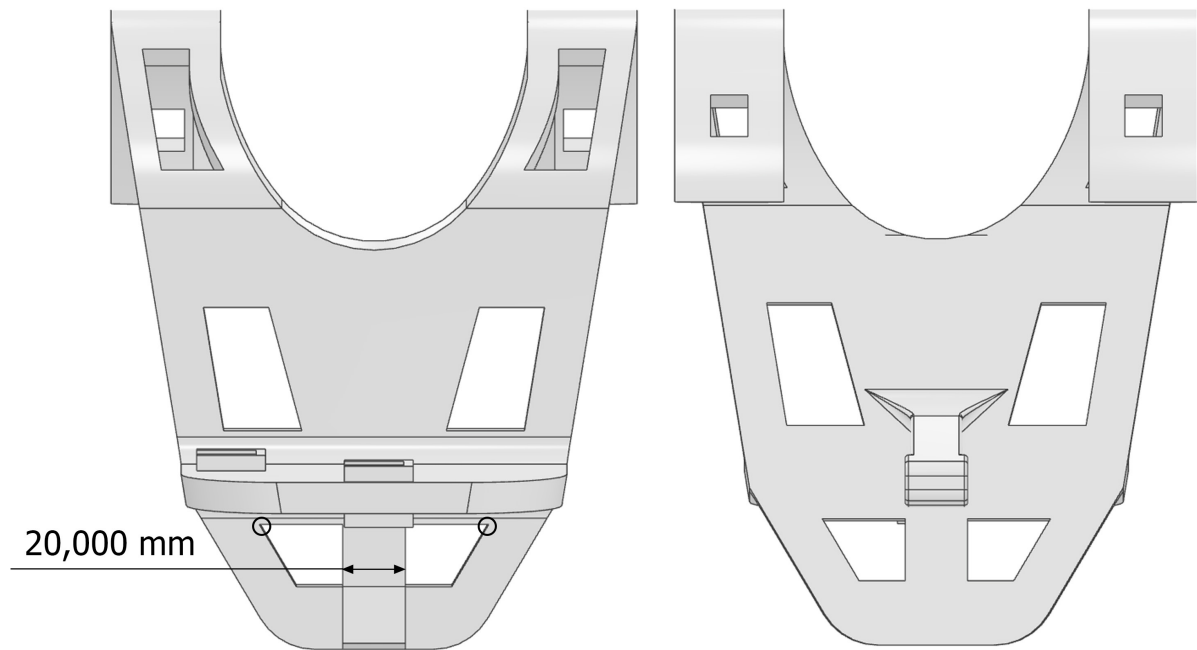
Slika 5.5 Promjer glavnih kuka i nagib glavne plohe nosača

Kuka za pomoćno vješanje je također modelirana u skladu s postavljenim konceptom, što je prikazano na slici 5.6. Ploha kojom će se kuka naslanjati na ogradu (u slučaju takve montaže) je na istoj vertikalnoj ravnini kao i centralna os cijevi ograde. Razmak od plohe glavne kuke koja dodiruje cijev ograde do plohe koja se naslanja na ukrštenu žicu ograde je 141 mm. Kut kojeg zatvaraju katete trapeza poprečnog presjeka je ispoštovan i iznosi 100° , a duži brid je duljine 20 mm kako je i koncipirano.



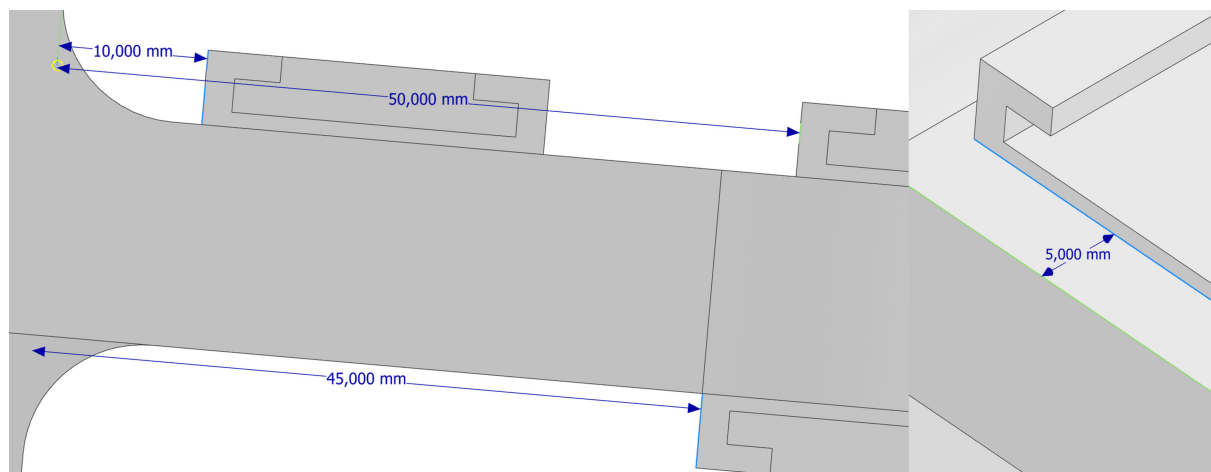
Slika 5.6 Dimenzije pomoćne kuke za vješanje

Izrađeni su prolazi za pomoćno vješanje u skladu s konceptom kako je prikazano na slici 5.7, uz neke izmjene. Prolaz ispod postolja za montažu pametnog telefona je izveden u dva dijela, s preprekom širine 20 mm između dva prolaza. Izveden je na taj način kako se ne bi stvarale koncentracije naprezanja na kutovima prolaza (označeno kružnicama na slici), već kako bi slojevi 3D tiskanog materijala neometano nosili teret na kuki za vješanje dodatka. Prolazi iznad postolja za montažu su izvedeni relativno veći u odnosu na koncept. Razlog je što se očekuje da će korisnik lakše pristupiti tim prolazima (u odnosu na prolaze na glavnim kukama) kada je nosač montiran visoko na ogradu. Pretpostavlja se da će korisnik primarno koristiti upravo te prolaze za povezivanje nosača povezima, špagama i sl. radi dodatne sigurnosti, stoga se povećanjem dimenzija prolaza omogućuje dovoljan prostor za manevriranje. Prolazi na glavnim kukama su izvedeni u skladu s konceptom.



Slika 5.7 Prolazi na nosaču, nacrt (lijevo) i pogled straga (desno)

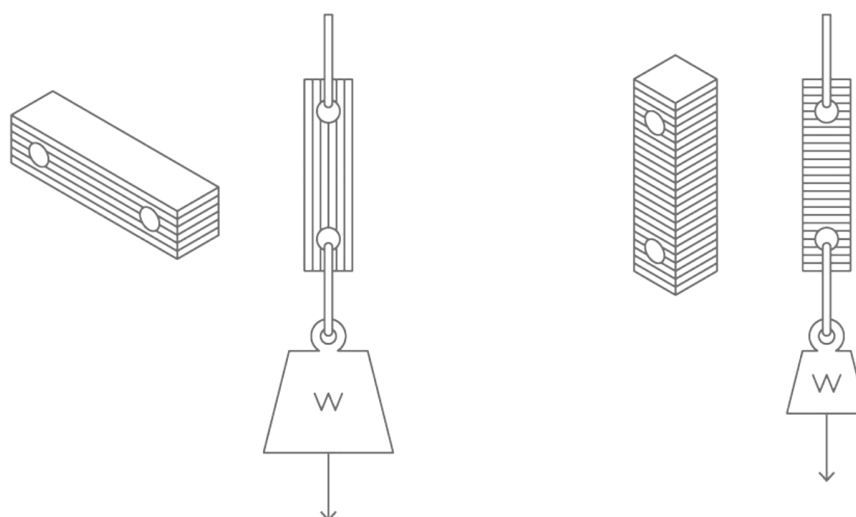
Cold shoe priključci su izvedeni po standardu (uz preinake opisane u sljedećem potpoglavlju) i na pozicijama predviđenima konceptom. Priključak za montažu pametnog telefona je udaljen 50 mm od glavne plohe nosača. Priključak za druge dodatke poput kišobrana za zaštitu od kiše i sunčevih zraka, mikrofona i sl., je pozicioniran 10 mm od glavne plohe nosača i 5 mm od ruba postolja. Izvodi se blizu ruba postolja kako bi korisnik imao prostora za montažu, čak i u slučaju kada je već prethodno montiran sklop držača s pametnim telefonom. Treći *cold shoe* priključak je izveden na donjoj strani i na središtu postolja. Od glavne plohe nosača je udaljen 45 mm kako bi se omogućilo dovoljno prostora za montažu hvataljke SSD uređaja kako je opisano u potpoglavlju 4.4.3.



Slika 5.8 Pozicije cold shoe priključaka

5.1.1 Prilagodba konstrukcijskih detalja 3D tisku

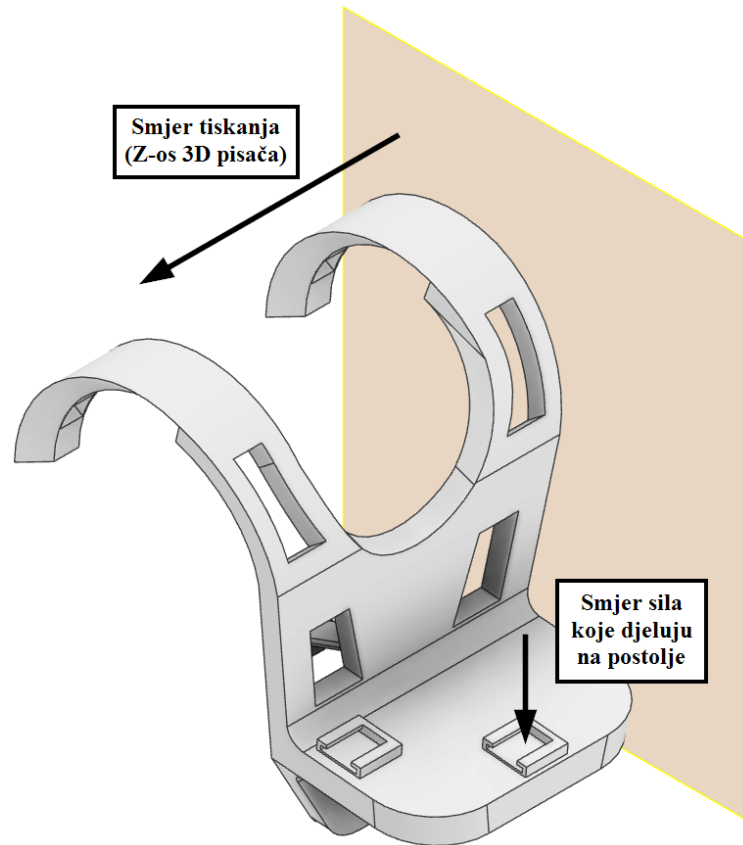
U nastavku se na postojeći 3D model dodaju konstrukcijski detalji obzirom na tehnologiju izrade koja će se koristiti 3D tisak. Prije svega se određuje smjer 3D tiskanja, tj. položaj podloge 3D printera u odnosu na model. Preporučljivo je orijentirati 3D model na način da se najveće opterećenje vrši uzdužno na slojeve 3D tiskanog dijela, naspram okomito [45], kako je prikazano na slici 5.9.



Slika 5.9 Preporučljiv smjer opterećenja (lijevo) u odnosu na slojeve 3D tiskanog dijela [45]

Obzirom na poziciju i smjer opterećenja koje će djelovati na nosač, odabire se položaj podloge 3D pisaa i smjer 3D tiskanja (Z-os 3D pisaa). Na slici 5.10 je vizualizirana podloga 3D pisaa

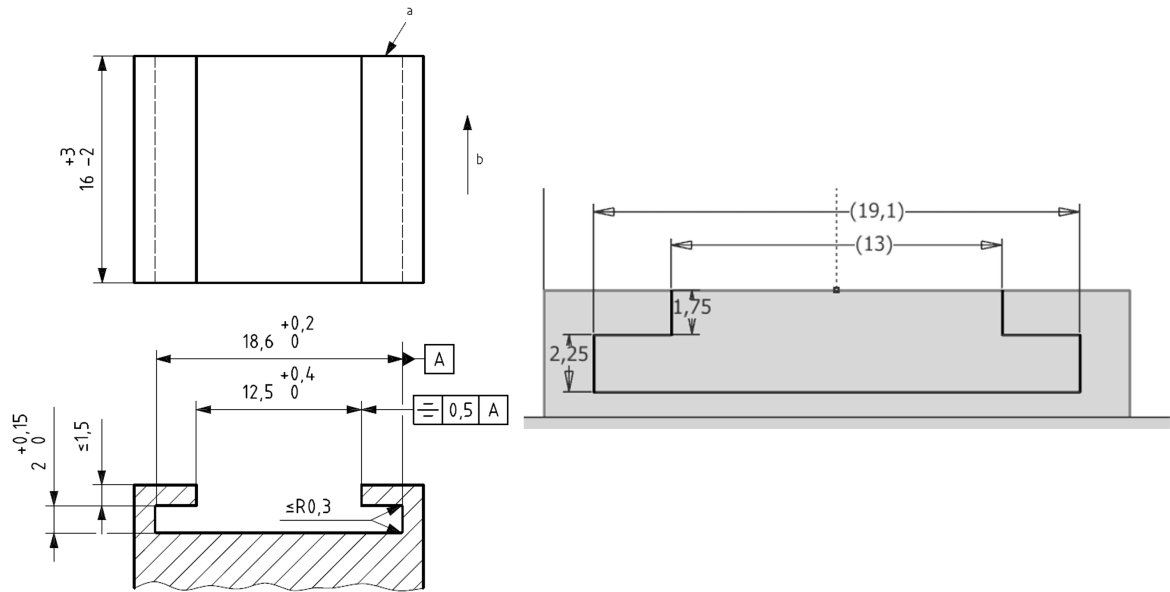
pomoću ravnine u CAD računalnom programu, a naznačen je smjer tiskanja i smjer sila koje će djelovati na postolje nosača.



Slika 5.10 Smjer tiskanja i položaj podloge 3D pisača

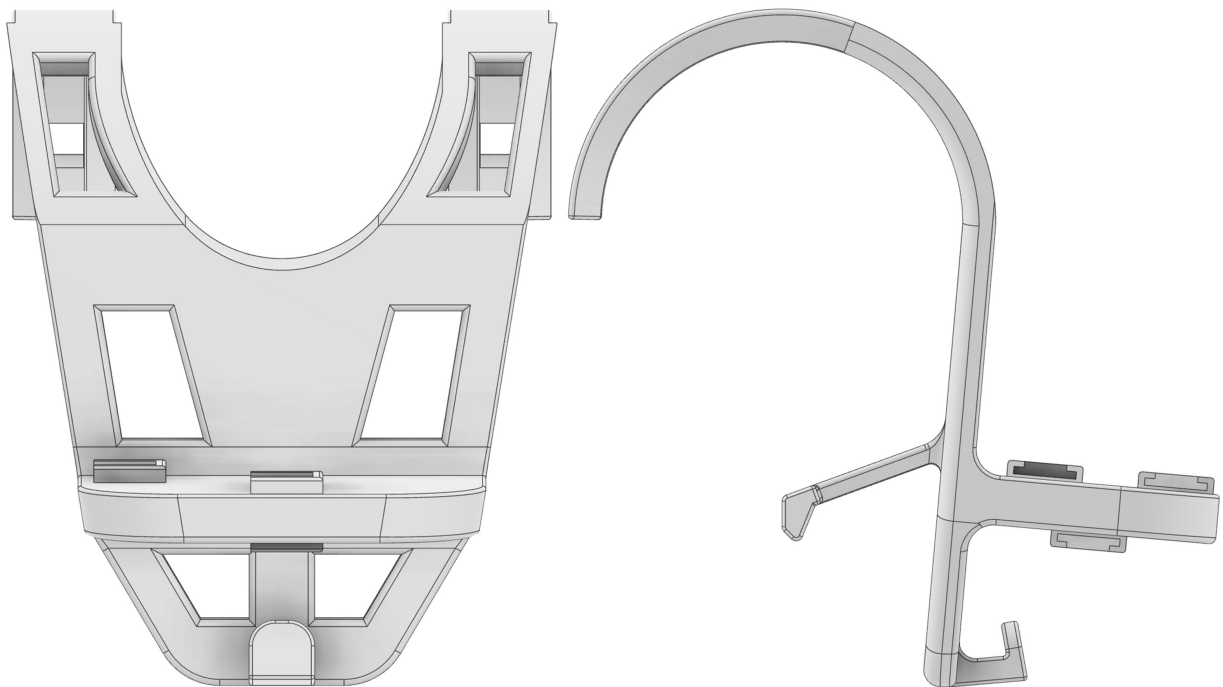
Iako ova orijentacija podloge pisača nije nužno optimalna za smanjivanje količine potrebnih potpora pri tisku (engl. *support*), a time i na utrošak materijala, kod ove odluke se veća važnost daje upravo postizanju što veće čvrstoće nosača. Osim toga, od velike je važnosti postići što točniju mjeru unutar profila *cold shoe* priključaka obzirom na to da su njihove dimenzije standardizirane. Orijentiranjem podloge 3D pisača na ovaj način se uklanja potreba za tiskanjem potpora unutar samih profila.

Sve dimenzije koje su bitne za montažu s drugim dijelovima i proizvodima, što su u ovom slučaju *cold shoe* priključci, se proširuju radi tolerancije na netočnost 3D pisača. *Cold shoe* profili su prvotno modelirani na najmanju toleranciju po standardu, no na dimenzije im se nadodaje 0,25 mm na svakom bridu po preporuci [46], a dubina utora je modelirana na 19 mm. Slika 5.11 prikazuje opisano.



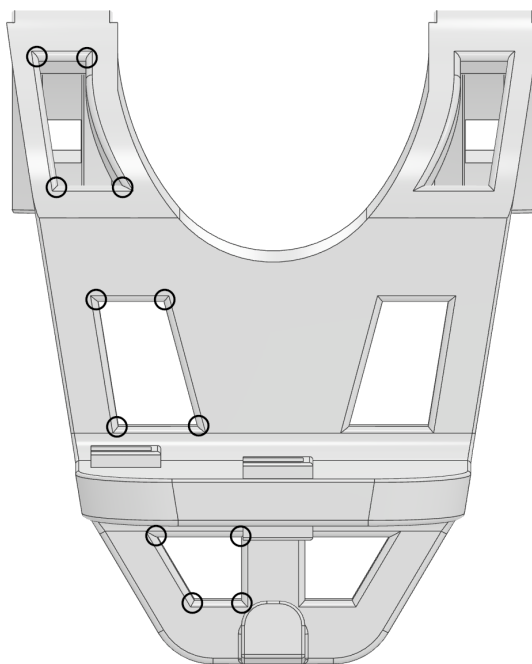
Slika 5.11 Dimenzije modeliranog cold shoe profila naspram dimenzija prema ISO 518:2006

Nadalje, na gotovo sve bridove nosača se uvode zaobljenja ili skošenja. Osim zbog smanjenja koncentracija naprezanja, uvode se zbog smanjenja nepravilnosti pri 3D tisku [46]. Slika 5.12 prikazuje sljedeću verziju 3D modela, s uvedenim zaobljenjima i skošenjima bridova.



Slika 5.12 Drugi 3D model nosača, nacrt i bokocrt

Kutovi prolaza za pomoćno vješanje se ne zaobljuju jer se ne očekuje da će na njima doći do velikih koncentracija naprezanja. Time se model pojednostavljuje, a posljedično se pojednostavljuje i proces 3D tiska, primarno štedeći na vremenu potrebnom za tisak. U slučaju pojave velikih naprezanja pri analizi metodom konačnih elemenata, ovi kutovi će se zaobliti. Na slici 5.13 su označeni spomenuti kutovi prolaza nosača.



Slika 5.13 Kutovi koji se neće zaobljavati

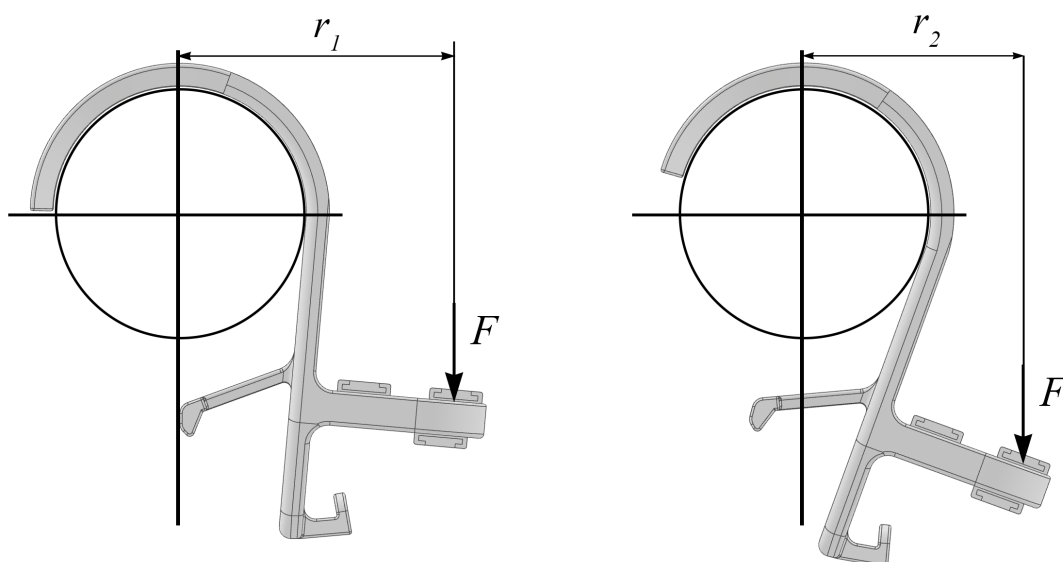
5.2. Statička analiza metodom konačnih elemenata

Na temelju 3D modela sa slike 5.12 se provodi analiza metodom konačnih elemenata unutar računalnog paketa Autodesk Inventor. Svrha analize je vršenje kontrole na naprezanja i deformacije koji se javljaju u nosaču te zatim eventualna izmjena dimenzija nosača ovisno o dobivenim rezultatima.

Provest će se tri analize. Dvjema će se analizirati izolirani slučajevi naprezanja na postolju za montažu pametnog telefona i dodataka te na kuki za vješanje dodatka. Njihova svrha je pružanje uvida u deformacije i naprezanja koji se javljaju neovisno o načinu montaže nosača. Njima se provjerava isključivo ako su postolje i kuka zadovoljavajuće dimenzionirani obzirom na

predviđena opterećenja. Te dvije analize će poslužiti i kao provjera rezultata kod treće analize gdje će se analizirati cijeli nosač u konfiguraciji koja odgovara korištenju u stvarnosti.

U sva tri slučaja se nosač analizira u orijentaciji kao da je montiran na poprečnu cijev ograde igrališta i pomoćnom kukom se savršeno naslanja na žičanu ogradu. Bira se takva konfiguracija iz razloga što će kod nje doći do najvećih momenata savijanja na kritičnim presjecima. Stoga ako svi rezultati analiza budu zadovoljavajući u toj konfiguraciji, može se zaključiti da će nosač imati dovoljnu čvrstoću i u ostalim načinima montaže. Analogno slici 4.11, slijedi vizualizacija opisanog, gdje je krak r_1 sile F koja djeluje na postolje (a time i moment u kritičnom presjeku) veći u uspravnoj konfiguraciji nosača u odnosu na onu kod koje se pomoćna kuka ne naslanja na ogradu, odnosno gdje nosač nije u savršeno uspravnom položaju.



Slika 5.14 Moment na postolje u dva različita načina montaže nosača

5.2.1 Postavke materijala

Kako je navedeno u potpoglavlju 4.3, sva mehanička svojstva materijala ASA proizvođača Bambu Lab su dobivena standardiziranim testovima pri 100%-tnoj razini ispune (engl. *infill*) ispitnog uzorka. Obzirom na to da 3D tiskanje dijela relativno velikih dimenzija kao što je ovaj nosač može biti vrlo dugotrajno, ali i zbog utroška materijala skupo pri 100%-tnoj razini ispune, pri tisku će se odabrati manja razina ispune. Konačni 3D model za tisak još nije izrađen, pa se niti ne mogu

usporediti vrijednosti utrošenog vremena i materijala ovisne o razini ispune koje bi izračunao računalni program za postavljanje 3D tiska (engl. *slicer*), no svakako se u ovoj fazi sa sigurnošću može tvrditi da se iz navedenih razloga pri 3D tisku neće koristiti 100%-tna razina ispune. Osim uštede vremena i materijala, tiskanje ASA materijala s manjom razinom ispune je povoljno iz razloga što ASA materijal ima tendenciju za izvijanjem uslijed temperaturnih dilatacija tijekom samog procesa 3D tiska pri visokim razinama ispune [47].

Obzirom na to da su mehanička svojstva tiskanog dijela direktno ovisna o razini ispune, proizvoljno se određuje manja razina koja će se koristiti u tisku. Odabrana razina ispune iznosi 40%, kao razina koja će rezultirati dovoljno zadovoljavajućom čvrstoćom dijela, uz znatnu uštedu materijala i vremena potrebnog za 3D tiskanje [47]. Obzirom na to da službeni podaci o mehaničkim svojstvima materijala za ovu razinu ispune nisu dostupna od strane proizvođača, usvajaju se eksperimentalni podaci iz literature. Iako podaci nisu dani za inačicu ASA materijala proizvođača Bambu Lab, usvajaju se s dovoljnom pouzdanošću zbog dovoljno malih razlika u poznatim vrijednostima pri 100%-tnoj razini ispune. U tablici 5.1 su ispisana (za MKE analizu bitna) mehanička svojstva materijala ASA proizvođača Bambu Lab i eksperimentalno dobivena mehanička svojstva ASA materijala proizvođača AzureFilm koji je korišten u ispitivanju. Podaci su ispisani uz napomenu da su vrijednosti proizvođača Bambu Lab u Tablica 4.3 dane u rasponima vrijednosti, dok su ovdje ispisane najmanje vrijednosti iz raspona. Osim toga, podaci za materijal proizvođača Bambu Lab su ispisani iz službene dokumentacije te su dobiveni testiranjem upravo od strane proizvođača [32], dok su podaci za materijal proizvođača AzureFilm dobiveni neovisnim eksperimentalnim ispitivanjem [48].

Tablica 5.1 Mehanička svojstva Bambu Lab i AzureFilm ASA materijala [32], [48]

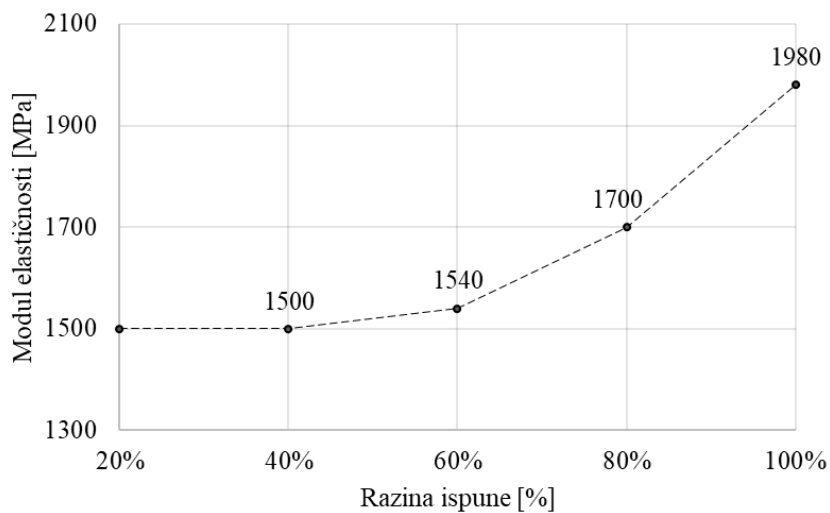
Mehaničko svojstvo	Mjerna jedinica	Bambu Lab	AzureFilm	Relativna razlika [%]
Gustoća	g/cm ³	1,05	1,07	1,89
Modul elastičnosti	MPa	2180	1980	9,61
Vlačna čvrstoća	MPa	34	37,7	10,32

U tablici 5.2 su ispisane vrijednosti modula elastičnosti i vlačne čvrstoće u ovisnosti o razini ispune ispitnog uzorka dobivene spomenutim eksperimentalnim ispitivanjima.

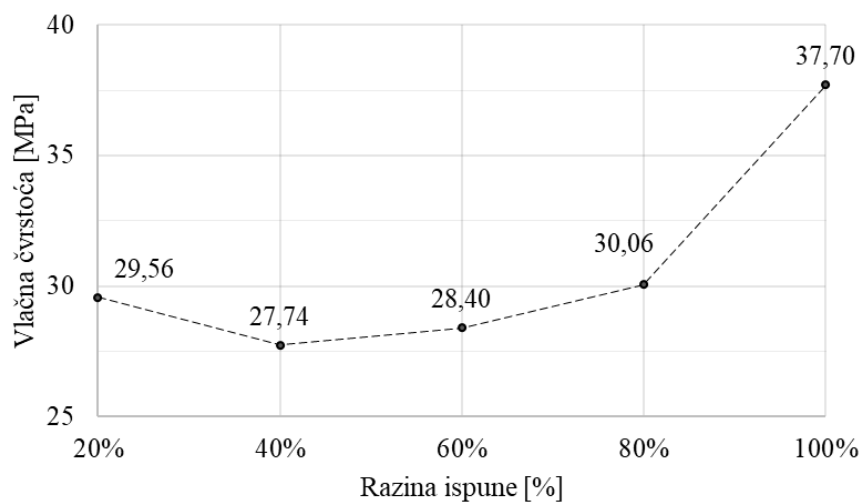
Tablica 5.2 Modul elastičnosti i vlačna čvrstoća AzureFilm ASA materijala [48]

<i>Postotak ispune</i>	<i>Modul elastičnosti [MPa]</i>	<i>Vlačna čvrstoća [MPa]</i>
20%	1500	29,56
40%	1500	27,76
60%	1540	28,40
80%	1700	30,06
100%	1980	37,70

U sljedećim dijagramima su prikazane vrijednosti iz gornje tablice.



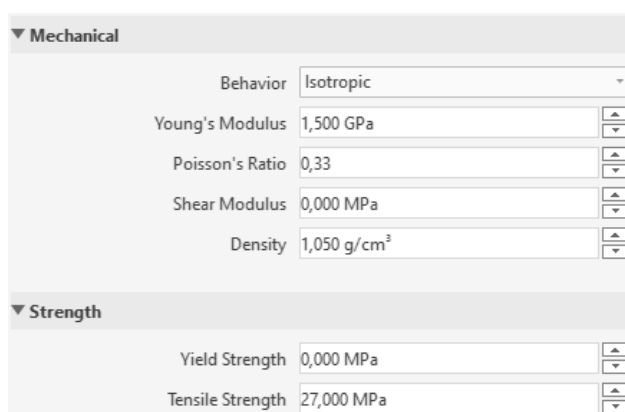
Slika 5.15 Dijagram ovisnosti modula elastičnosti ispitnog uzorka AzureFilm ASA materijala o postotku ispune



Slika 5.16 Dijagram ovisnosti vlačne čvrstoće ispitnog uzorka AzureFilm ASA materijala o postotku ispune

Iz dijagrama je vidljivo da su vrijednosti modula elastičnosti i vlačne čvrstoće za postotak ispune 40 % u svojim najmanjim vrijednostima te da rastu kako se postotak ispune povećava. Što je pozitivan rezultat u ovom kontekstu obzirom na to da je proizvoljno odabran upravo postotak ispune u iznosu 40 %. Ukoliko ovako zadani materijal bude rezultirao zadovoljavajućim rezultatom u MKE analizi, u fazi 3D tiska se postotak ispune može sa sigurnošću povećati bez potrebe za ponavljanjem MKE analize. Iz dijagrama sa slike 5.16 je vidljivo da je vrijednost vlačne čvrstoće za razinu ispune 20% veća od razina ispune za 40% i 60%. Autori su taj rezultat komentirali na način da je potrebno ponoviti ispitivanje za razinu ispune od 20% te time odbacili taj rezultat [48].

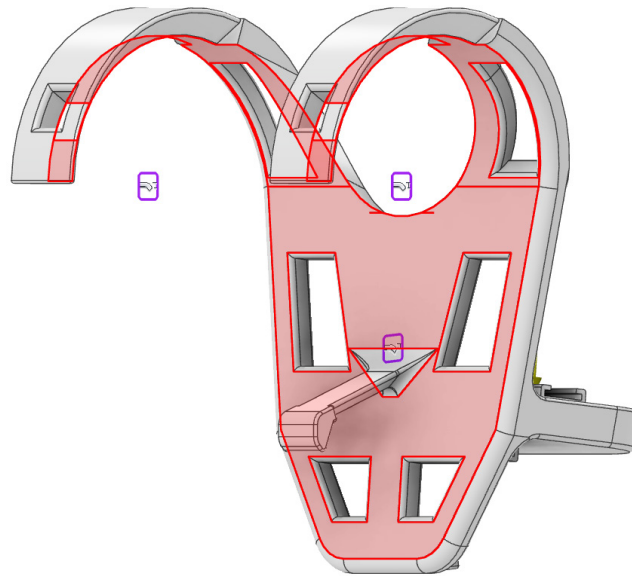
Na osnovi gore navedenog se u računalnom paketu Autodesk Inventor zadaje materijal sa sljedećim mehaničkim svojstvima. Modul elastičnosti (tj. Youngov modul, engl. *Young's Modulus*) se usvaja na vrijednost u iznosu 1500 MPa. Poissonov broj (engl. *Poisson's Ratio*) nije dan od strane proizvođača Bambu Lab, stoga se uzima eksperimentalno dobivena prosječna vrijednost koja iznosi 0,33 [49]. Modul smicanja (engl. *Shear Modulus*) nije dan, no analiza se može provesti i bez istog. Gustoća materijala (engl. *Density*) je dana od strane proizvođača i iznosi 1,05 g/cm³. Vrijednost vlačne čvrstoće (engl. *Tensile Strength*) se usvaja iz gore opisanog eksperimentalnog ispitivanja, a zbog dodatne sigurnosti se vrijednost zaokružuje na prvi manji cijeli broj, pa se usvaja vrijednost od 27 MPa. Granica tečenja (engl. *Yield Strength*) nije dana, a obzirom da se radi o krhkom materijalu, nije niti potrebna za MKE analizu. Slika 5.17 prikazuje unesena mehanička svojstva materijala u računalni paket Autodesk Inventor.



Slika 5.17 Postavljena mehanička svojstva materijala u računalnom paketu Autodesk Inventor

5.2.2 Analiza postolja za montažu pametnog telefona i dodataka

Provodi se analiza metodom konačnih elemenata. Obzirom na to da se najveća naprezanja očekuju na spoju glavne plohe nosača i postolja za montažu pametnog telefona i ostalih dodataka, ova analiza se postavlja i provodi s tom svrhom. Glavnoj plohi nosača koja je na strani ograde se ograničavaju sve slobode gibanja kako je prikazano na slici 5.18.



Slika 5.18 Plohe s ograničenim slobodama gibanja

Zatim se zadaju opterećenja za koja je potrebno odrediti mase dodatka koji se montiraju, kao i njihove smjerove djelovanja. Utvrđeno je da će se na središnji *cold shoe* priključak s gornje strane postolja montirati pametni telefon mase m_{tel} s držačem pametnog telefona mase $m_{\text{drž}}$ i hvataljkom pametnog telefona mase m_{hv} . Njihove mase su određene u potpoglavljima 3.1, 4.4.1 i 4.4.2, pa će ukupna masa na *cold shoe* priključku 1 iznositi:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{cs1}} &= m_{\text{tel}} + m_{\text{drž}} + m_{\text{hv}} \\
 m_{\text{cs1}} &= 0,255 \text{ kg} + 0,07 \text{ kg} + 0,064 \text{ kg} \\
 m_{\text{cs1}} &= 0,389 \text{ kg}
 \end{aligned}
 \tag{5.1}$$

Iz toga slijedi da će sila koja djeluje na *cold shoe* priključak 1, uz ubrzanje Zemljine sile teže u iznosu $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, iznositi:

$$\begin{aligned}
 F_{cs1} &= m_{cs1} \cdot g \\
 F_{cs1} &= 0,389 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\
 F_{cs1} &= 3,816 \text{ N}
 \end{aligned}
 \tag{5.2}$$

Zbog dodatne sigurnosti se ova sila usvaja kao $F_{cs1} = 5 \text{ N}$. Iako je proračunska masa pametnog telefona usvojena za telefon s trenutnom najvećom masom na tržištu, ovime se osigurava od činjenice da korisnik može kupiti i koristiti držač i hvataljku pametnog telefona veće mase nego što je odabrano u potpoglavljima 4.4.1 i 4.4.2.

Drugi priključak s gornje strane je uveden kao dodatna opcija za korisnika u svrhu montažu dodataka manje mase poput kišobrana za zaštitu od kiše i sunčevih zraka, montažu mikrofona i sl. Zbog raznovrsnosti takvih dodataka, masa koja će se montirati na ovaj priključak nije direktno poznata, stoga se s dobrom pouzdanošću usvaja ista masa, a time i sila, koja djeluje i na priključak 1, pa sila koja djeluje na *cold shoe* priključak 2 iznosi $F_{cs2} = 5 \text{ N}$.

Cold shoe priključak 3, onaj s donje strane postolja za montažu dodataka, je predviđen za montažu SSD uređaja za pohranu podataka s pripadajućom hvataljkom ili za montažu nosača na tronožac. Masa SSD uređaja je određena u potpoglavlju 3.1 i iznosi $m_{SSD} = 0,0935 \text{ kg}$, a masa hvataljke se usvaja kao ona najveća od ispisanih u tablici 4.7 u potpoglavlju 4.4.3 i iznosi $m_{SSD, hv} = 0,115 \text{ kg}$. Stoga masa na *cold shoe* priključku 3 iznosi:

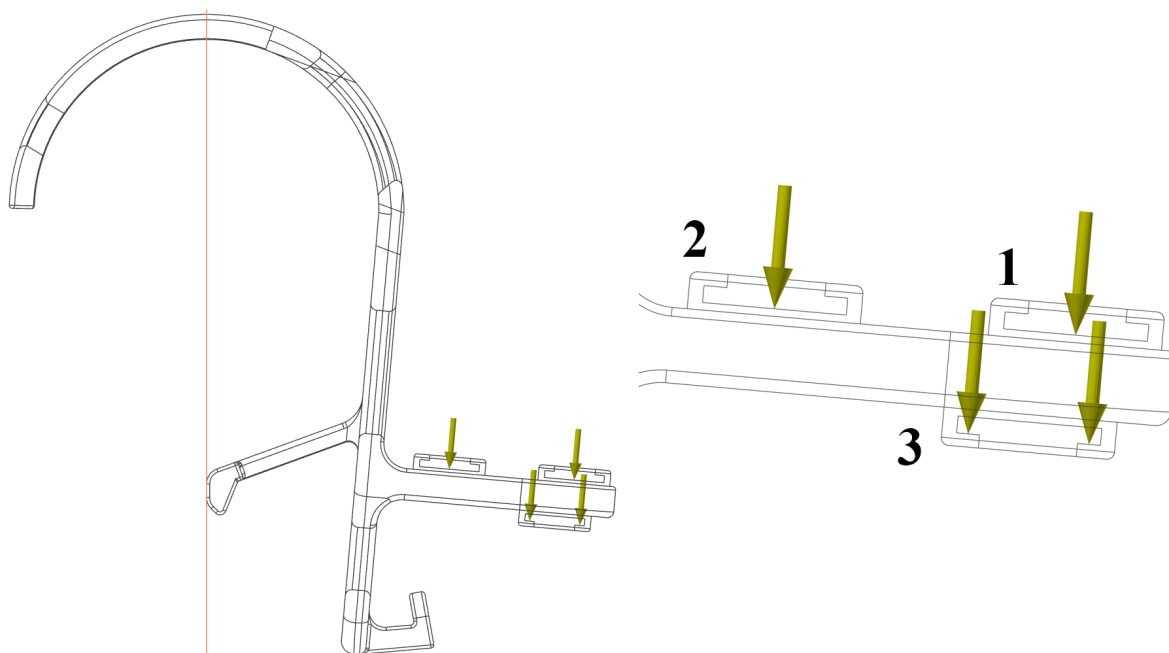
$$\begin{aligned}
 m_{cs3} &= m_{SSD} + m_{SSD, hv} \\
 m_{cs3} &= 0,0935 \text{ kg} + 0,115 \text{ kg} \\
 m_{cs3} &= 0,2085 \text{ kg}
 \end{aligned}
 \tag{5.3}$$

Iz čega slijedi da sila iznosi:

$$\begin{aligned}
 F_{cs3} &= m_{cs3} \cdot g \\
 F_{cs3} &= 0,2085 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\
 F_{cs3} &= 2,045 \text{ N}
 \end{aligned}
 \tag{5.4}$$

Također se usvaja veća vrijednost radi dodatne sigurnosti i nepoznanica, pa usvojena sila na *cold shoe* priključku 3 iznosi $F_{cs3} = 4 \text{ N}$.

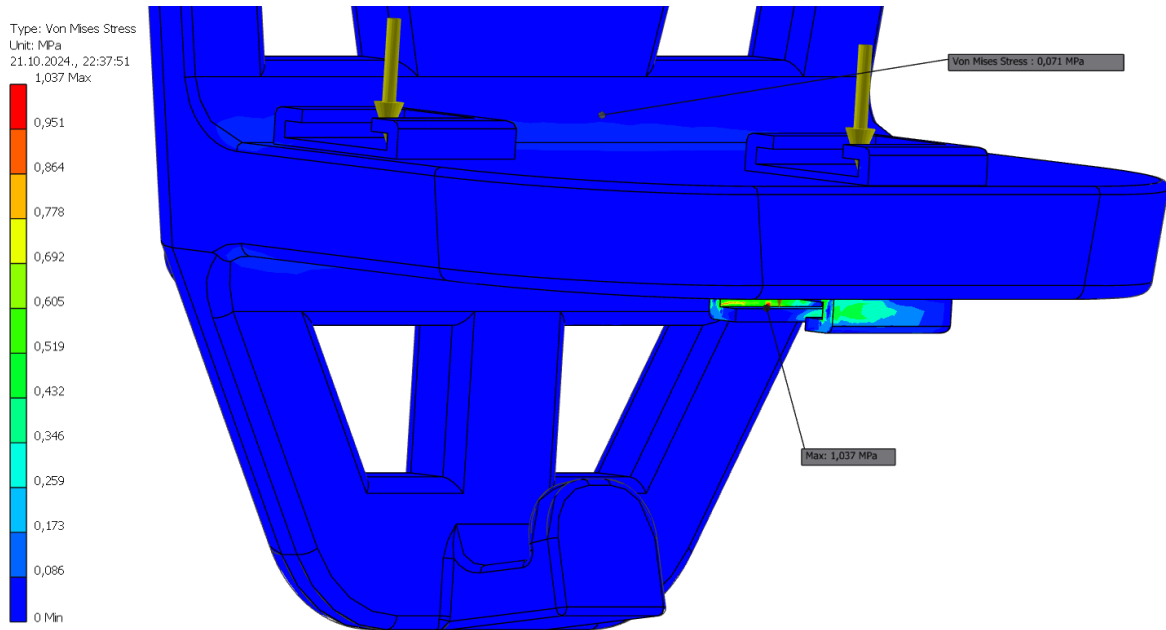
Obzirom na to da se provjerava čvrstoća nosača opterećenog na savijanje u spoju glavne plohe i postolja za montažu, smjer sila se postavlja na način da one djeluju direktno okomito na postolje za montažu dodataka kako bi moment u kritičnom presjeku bio što veće vrijednosti. Iako u praksi to neće biti slučaj, već će sile djelovati okomito prema tlu. Slika 5.19 prikazuje opisano, s vizualiziranom okomicom od središta poprečne cijevi ograde i označenim pozicijama priključaka.



Slika 5.19 Položaj i smjer sila

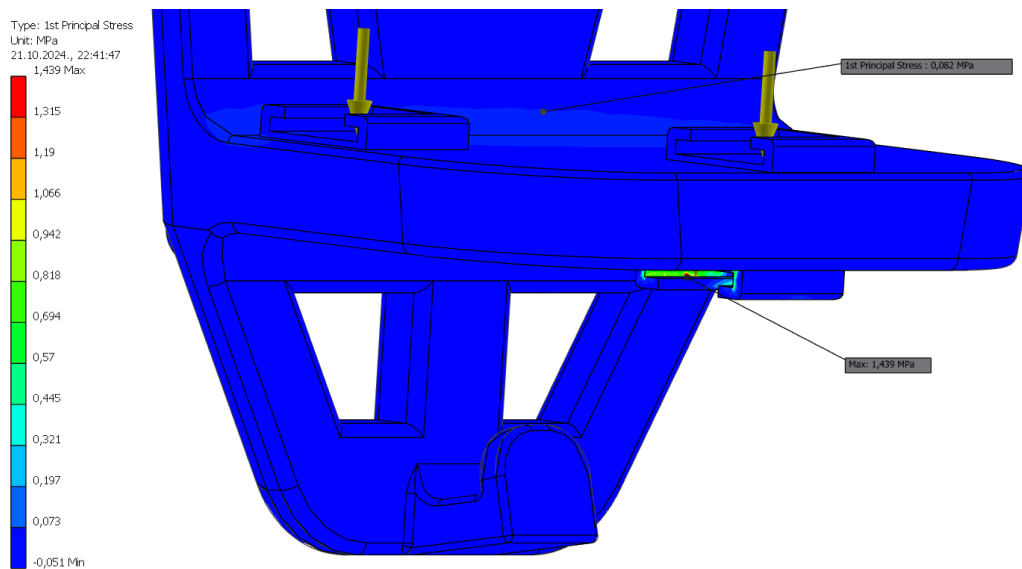
Postavke omrežavanja (engl. *meshinga*) su u svim analizama u nastavku zadane na način da je prosječna veličina jednog konačnog elementa (engl. *average element size*) 10 % u odnosu na gabaritne dimenzije modela (engl. *bounding box*), a najmanja veličina elementa je 15 % u odnosu na prosječnu veličinu.

Dobiveni rezultati analize s ovakvim postavkama su kako slijede. Postignuta konvergencija prema kriteriju Von Misesa iznosi 1,151%. Najveće ekvivalentno naprezanje prema Von Misesu iznosi 1,037 MPa i javlja se na *cold shoe* priključku 3, dok su naprezanja na promatranom kritičnom presjeku u iznosu 0,071 MPa.



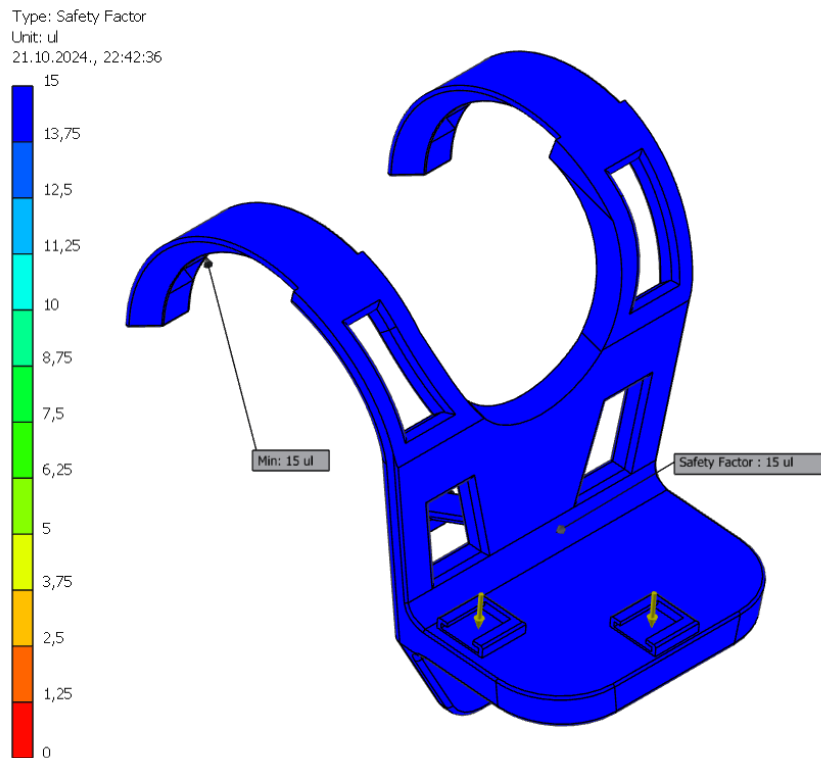
Slika 5.20 Ekvivalentna naprezanja prema Von Misesu na postolju za montažu

Prvo glavno naprezanje, koje se javlja uslijed vlačnih opterećenja, je također najveće na istoj poziciji, a iznosi 1,439 MPa.



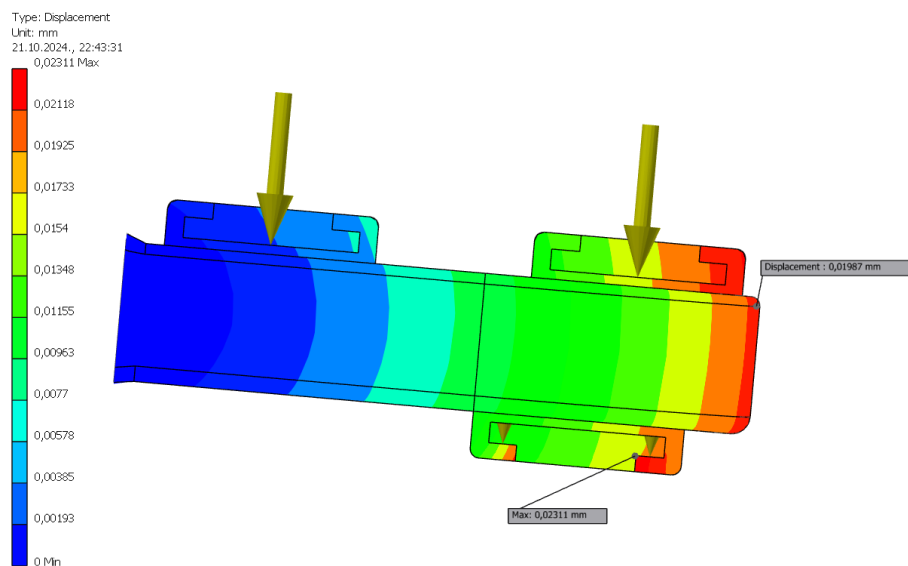
Slika 5.21 Prvo glavno naprezanje na postolju za montažu

Faktor sigurnosti na cijelom nosaču ne opada ispod 15.



Slika 5.22 Faktor sigurnosti na postolju za montažu

Deformacija na kraju postolja za montažu iznosi 0,01987 mm, a ona najveća se javlja također na priključku 3 te iznosi 0,02311 mm.



Slika 5.23 Deformacija postolja za montažu

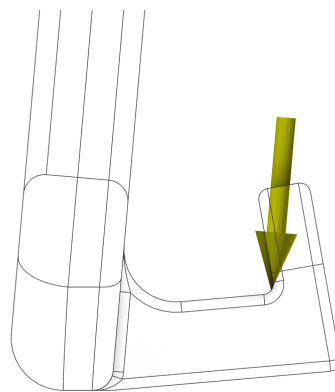
Iz navedenog se može zaključiti da je prva analiza zadovoljavajuća te da će postojeti za montažu dodataka izdržati zadano opterećenje i neće imati značajne deformacije koje mogu narušavati funkciju.

5.2.3 Analiza kuke za vješanje dodataka

Kontrolira se kuka za vješanje dodataka. Ranije je rečeno da će se ona dimenzionirati s ciljem da može podnijeti masu prosječne prijenosne baterije na tržištu. Iznos sile koja djeluje na kuku se određuje prema prethodno usvojenoj prosječnoj masi prijenosne baterije iz potpoglavlja 3.1 i koja iznosi $m_{\text{bat}} = 0,4315 \text{ kg}$. Stoga sila koja djeluje na kuku iznosi:

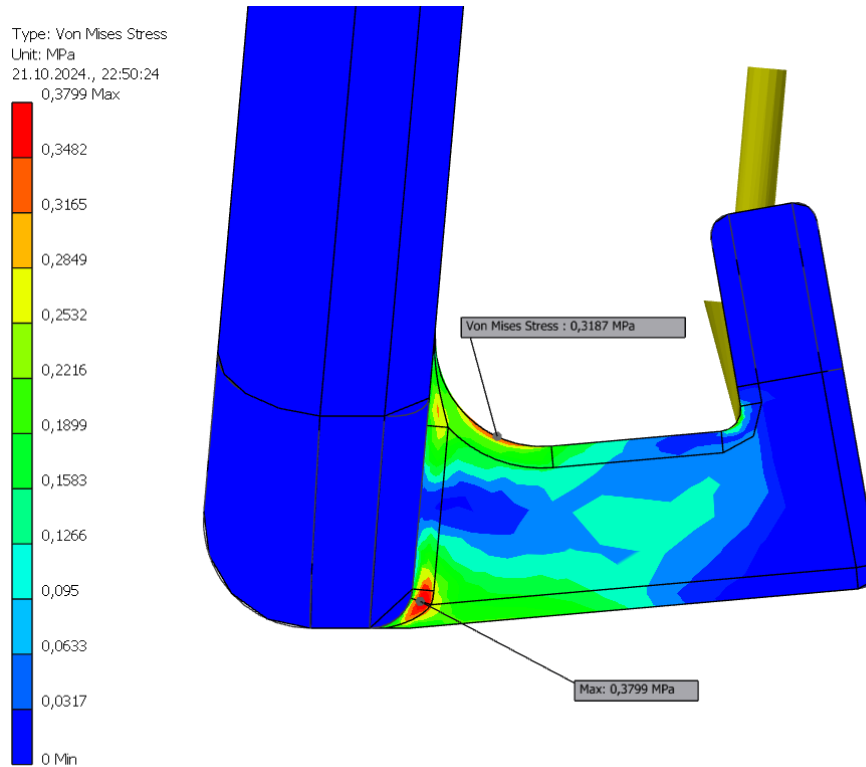
$$\begin{aligned} F_{\text{bat}} &= m_{\text{bat}} \cdot g \\ F_{\text{bat}} &= 0,4315 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\ F_{\text{bat}} &= 4,233 \text{ N} \end{aligned} \quad (5.5)$$

Sila se usvaja na veći cijeli broj, pa iznosi $F_{\text{bat}} = 5 \text{ N}$. Postavlja se na zaobljenu plohu kuke kako je prikazano na slici 5.24, a njezin smjer se također postavlja na način da vrši najveći moment na kritični presjek.



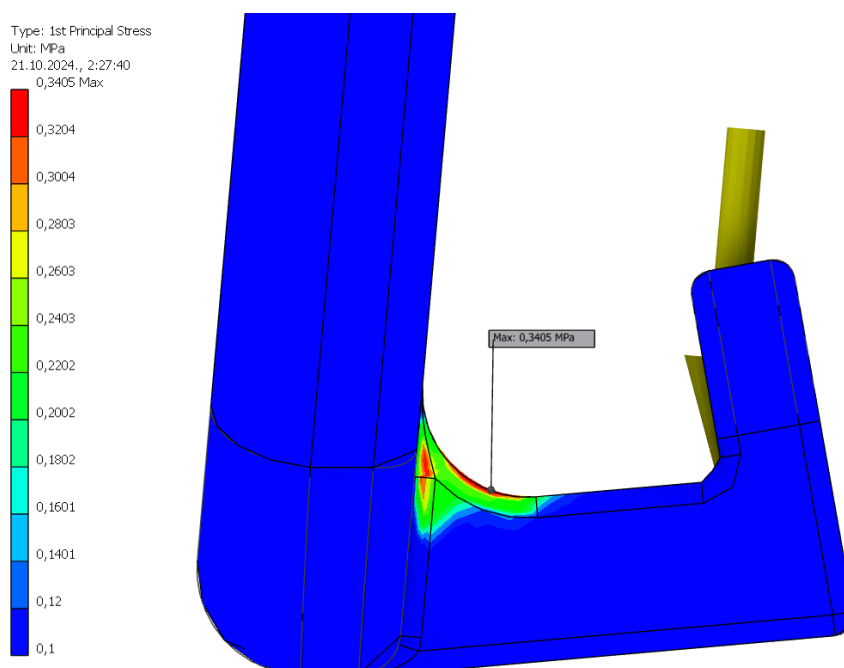
Slika 5.24 Položaj i smjer sile na pomoćnoj kuki

Postignuta konvergencija prema kriteriju Von Misesa iznosi 0,382%. Najveće ekvivalentno naprezanje prema Von Misesu iznosi 0,3799 MPa i javlja se na bočnom zaobljenju uz glavnu plohu nosača, dok su naprezanja na očekivano kritičnoj poziciji u iznosu od 0,3187 MPa.



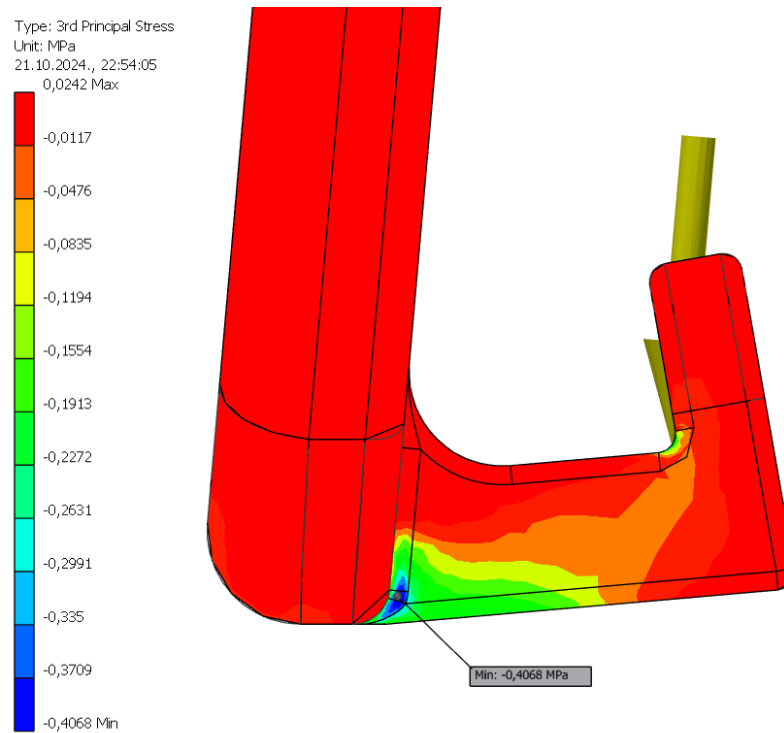
Slika 5.25 Ekvivalentna naprezanja prema Von Misesu na pomoćnoj kuki

Najveće prvo glavno naprezanje iznosi 0,3425 MPa i javlja se na očekivanoj kritičnoj poziciji.



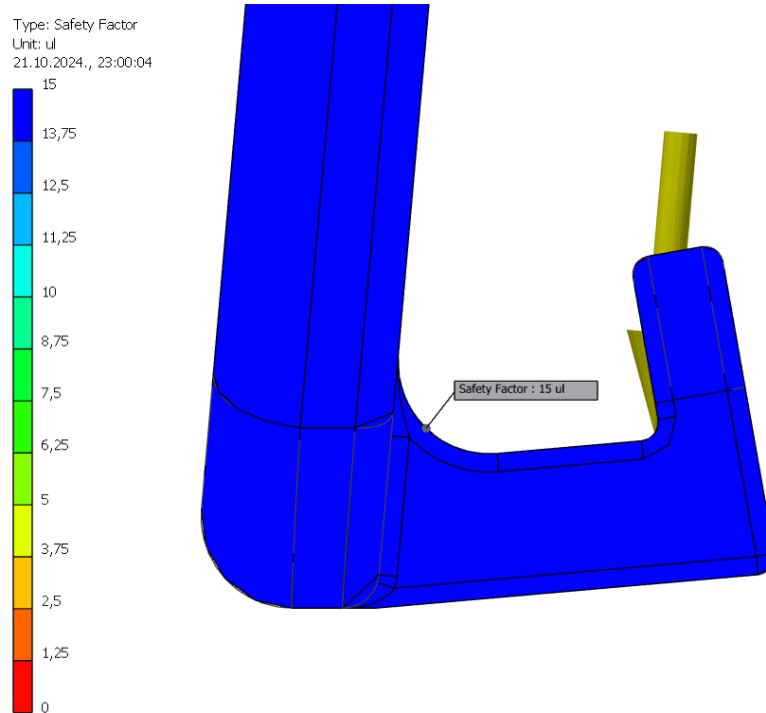
Slika 5.26 Prvo glavno naprezanje na pomoćnoj kuki

Najveće treće glavno naprezanje po apsolutnoj vrijednosti, koje nastaje uslijed tlačnog opterećenja, se javlja na bočnom zaobljenju uz glavnu plohu nosača, na istoj poziciji gdje se javljaju najveća ekvivalentna naprezanja prema Von Misesu.



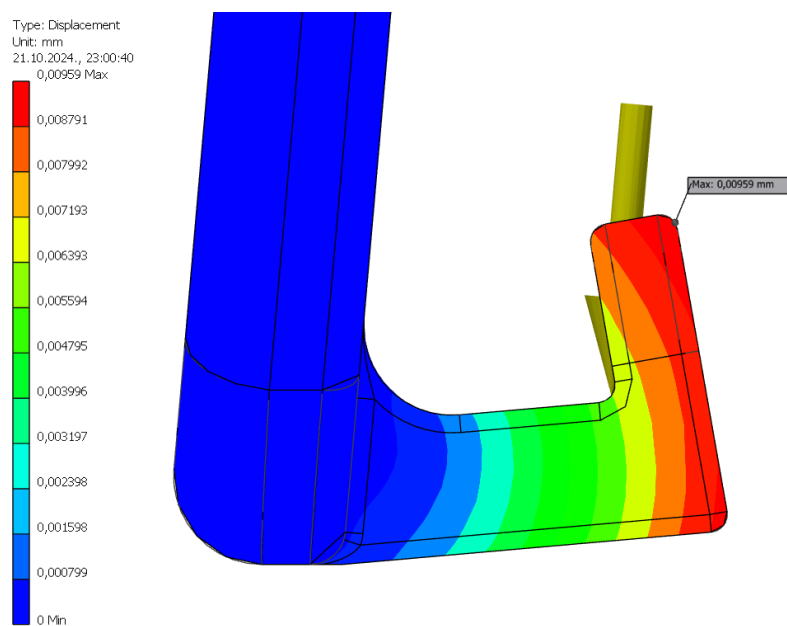
Dijagram 5.1 Treće glavno naprezanje na pomoćnoj kuki

Faktor sigurnosti u cijeloj kuki ne opada ispod vrijednosti od 15.



Slika 5.27 Faktor sigurnosti na pomoćnoj kuki

Deformacija je najveća na samom kraju kuke, a iznosi 0,00959 mm.

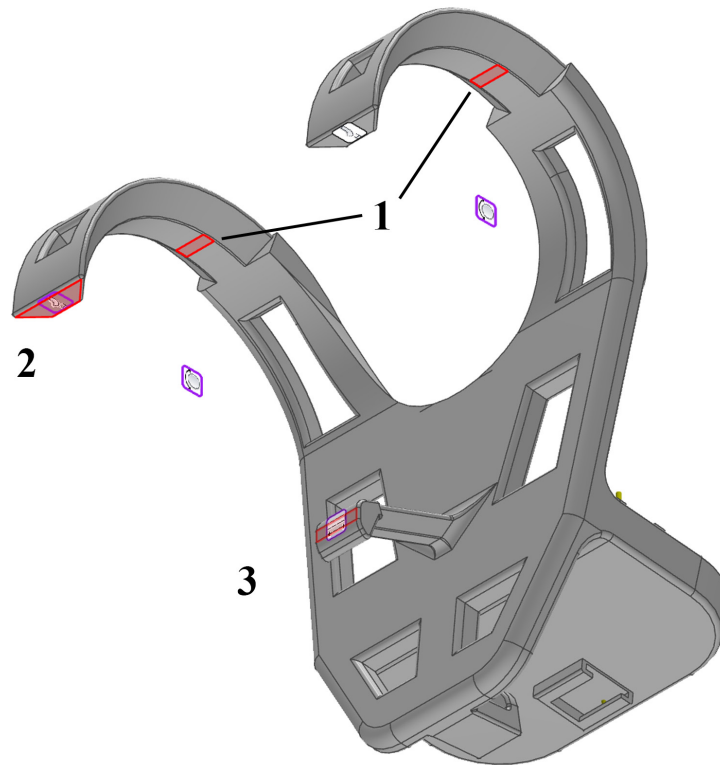


Slika 5.28 Deformacija pomoćne kuke

Iz navedenog se može zaključiti da je analiza zadovoljavajuća te da će kuka za vješanje dodataka izdržati zadano opterećenje i neće imati značajne deformacije koje mogu narušavati funkciju proizvoda.

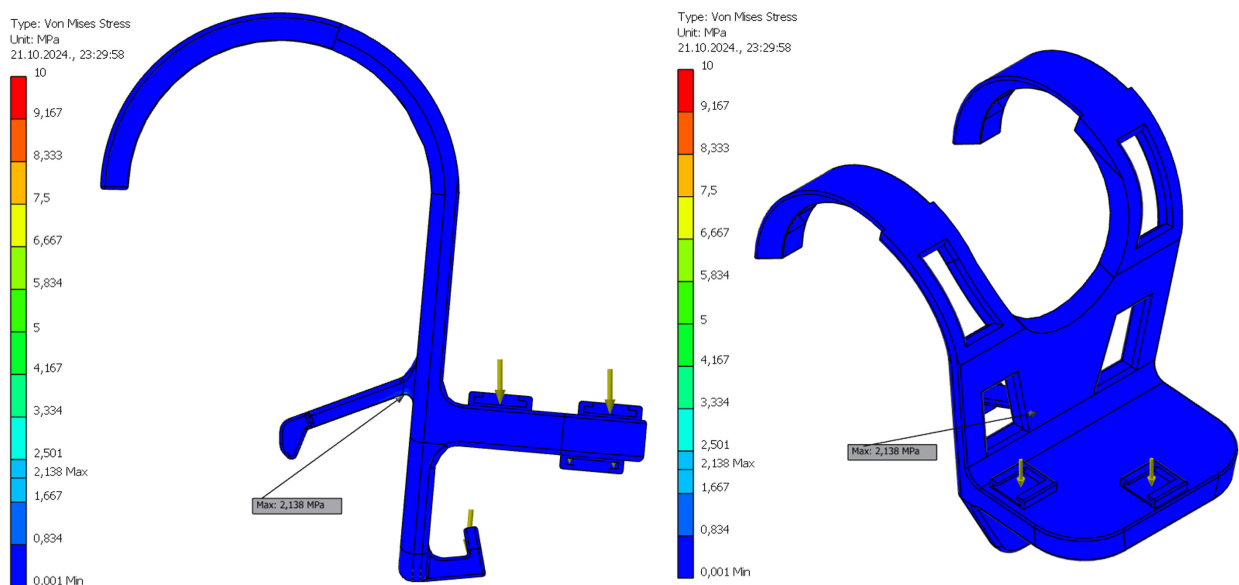
5.2.4 Analiza cijelog nosača

Nakon uspješnih analiza izoliranih slučajeva opterećenja, analizira se slučaj potpuno opterećenog nosača s ciljem provjere nosivosti glavne plohe nosača te glavnih kuka za vješanje, kao i ukupnih naprezanja i deformacija koje će se pojaviti. U ovom slučaju se zadaju sve sile; F_{cs1} , F_{cs2} , F_{cs3} i F_{bat} u prethodno opisanom iznosu, smjeru i poziciji. Ograničenja pomaka ploha modela su prikazana na slici 5.29. Postavljaju se na način da se plohi koja bi u stvarnosti dodirivala ogradu igrališta (pozicija 1) onemogućuje aksijalni i radijalni pomak, a dopušta se samo tangencijalni. Time se reproducira položaj nosača u kojem je on u statičkoj ravnoteži i visi na ogradi, bez da se u numerički model uvode dodatna tijela poput poprečne cijevi ograde igrališta. Kako bi rubni uvjeti bili potpuno definirani, krajnjim ploham kuka se onemogućuju svi smjerovi slobode gibanja (pozicija 2). Iako ovakvo stanje opterećenja nije istovjetno slučaju u stvarnosti, na toj poziciji se ne očekuje ikakvo naprezanje u praksi obzirom na činjenicu da nosač neće nikada biti obješen na samom kraju kuka. Stoga se ovakvo pojednostavljenje uvodi s dobrom pouzdanošću, a u slučaju dobivenih rezultata velikih naprezanja na krajevima kuka, rezultati na tim pozicijama će se odbaciti. Nadalje, pomoćnoj kuki se onemogućuju svi smjerovi slobode gibanja osim aksijalnog pomaka u dva smjera u ravnini plohe kojom kuka dodiruje ogradu (tzv. engl. *Frictionless constraint*) na poziciji 3.



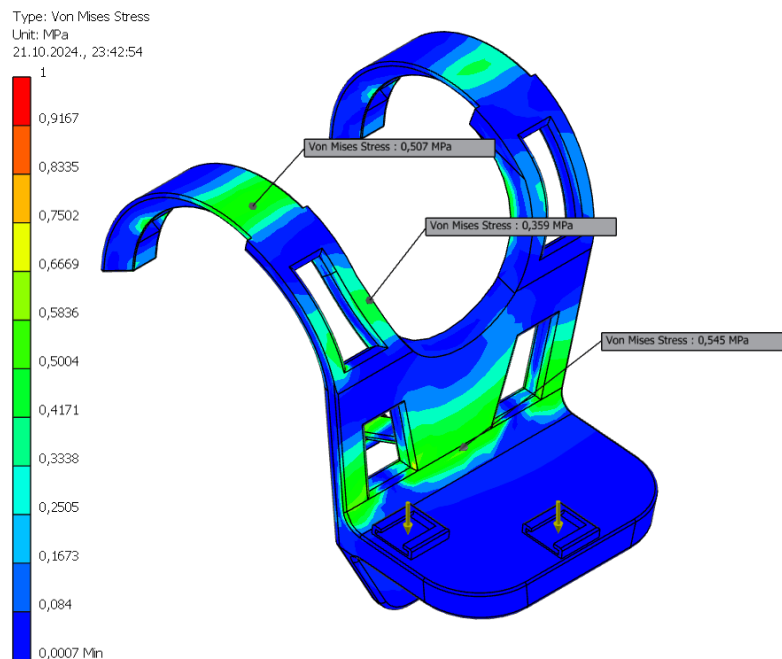
Slika 5.29 Plohe s ograničenim slobodama gibanja

Postignuta konvergencija prema kriteriju Von Misesa u ovoj analizi iznosi 3,376%. Najveće ekvivalentno naprezanje prema Von Misesu iznosi 2,138 MPa i javlja se na zaobljenom prijelazu s pomoćne kuke za stabilnost na glavnu plohu nosača.



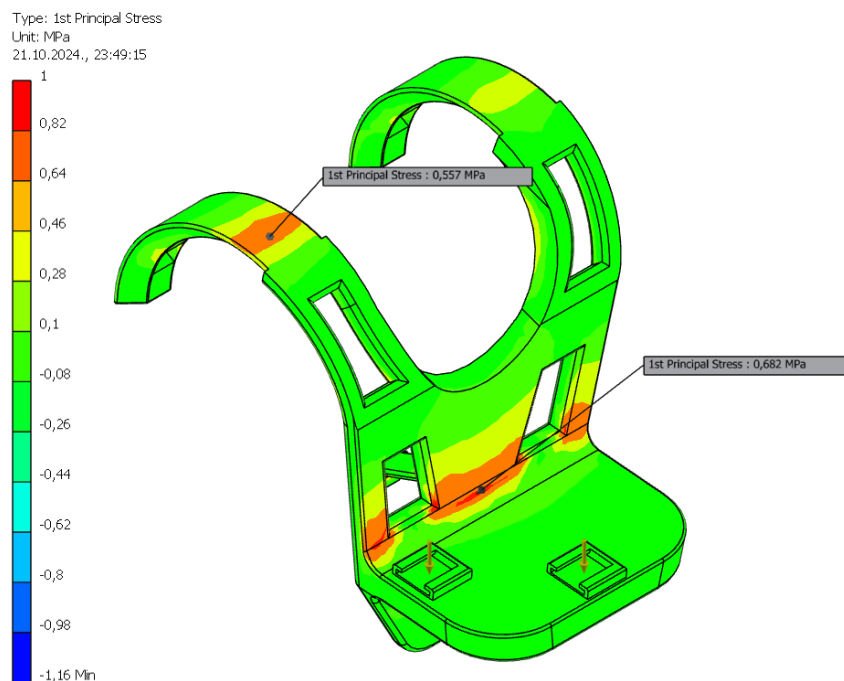
Slika 5.30 Ekvivalentna naprezanja prema Von Misesu u cijelom nosaču

Pomicanjem legende boja na način da je granica najvećeg naprezanja 1 MPa se mogu bolje vizualizirati pozicije ostalih većih naprezanja prema Von Misesu. Vidljivo je da se sva ostala naprezanja javljaju na očekivanim kritičnim mjestima, što potvrđuje točno postavljene rubne uvjete. Na tim pozicijama su vrijednosti naprezanja manje od 0,6 MPa.



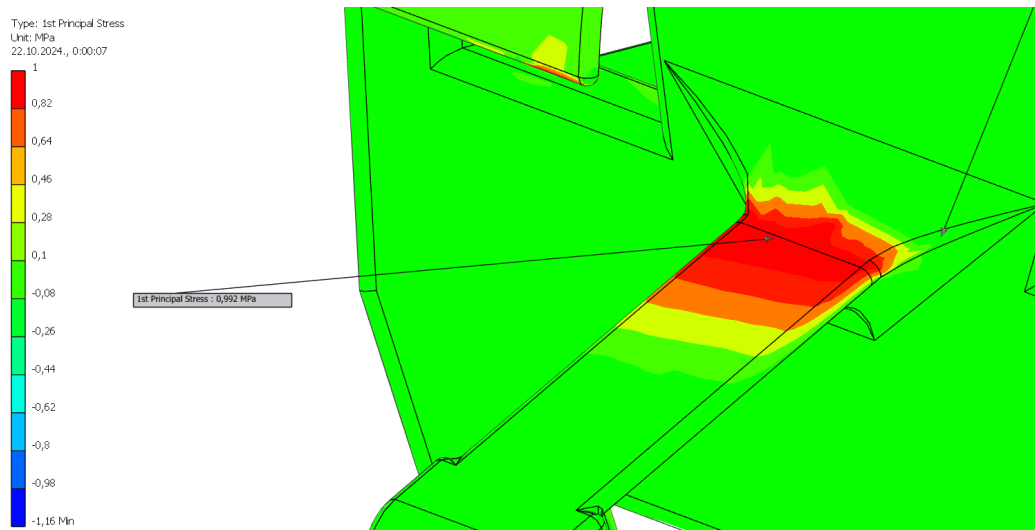
Slika 5.31 Ostala bitnija naprezanja prema Von Misesu u cijelom nosaču

Na isti način, s pomaknutom legendom boja, se vizualiziraju prva glavna naprezanja. Na istim pozicijama kao i na slici iznad, njihove vrijednosti su u iznosu 0,557 MPa i 0,682 MPa.



Slika 5.32 Prva glavna napreznja u cijelom nosaču

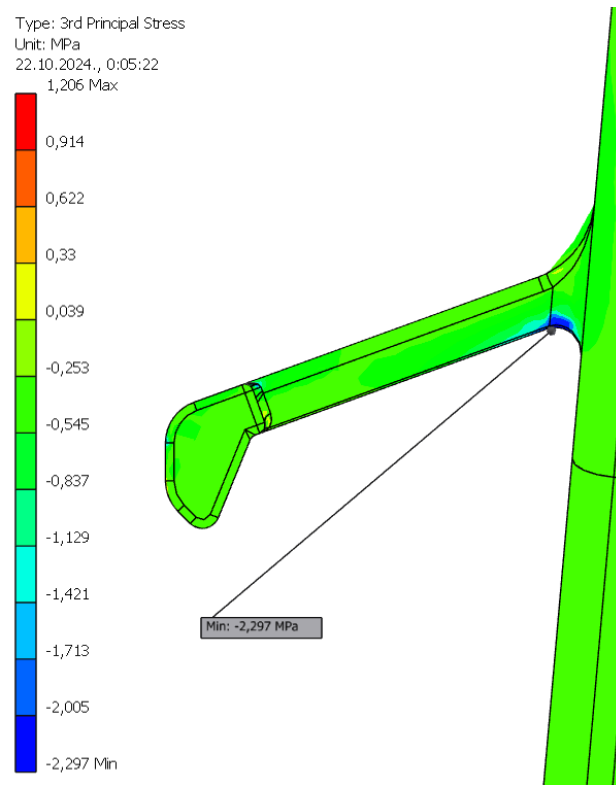
Na stražnjoj pomoćnoj kuki prvo glavno napreznje iznosi 0,992 MPa, a to je ujedno i najveće prvo glavno napreznje koje se javlja u nosaču.



Slika 5.33 Najveće prvo glavno napreznje u cijelom nosaču

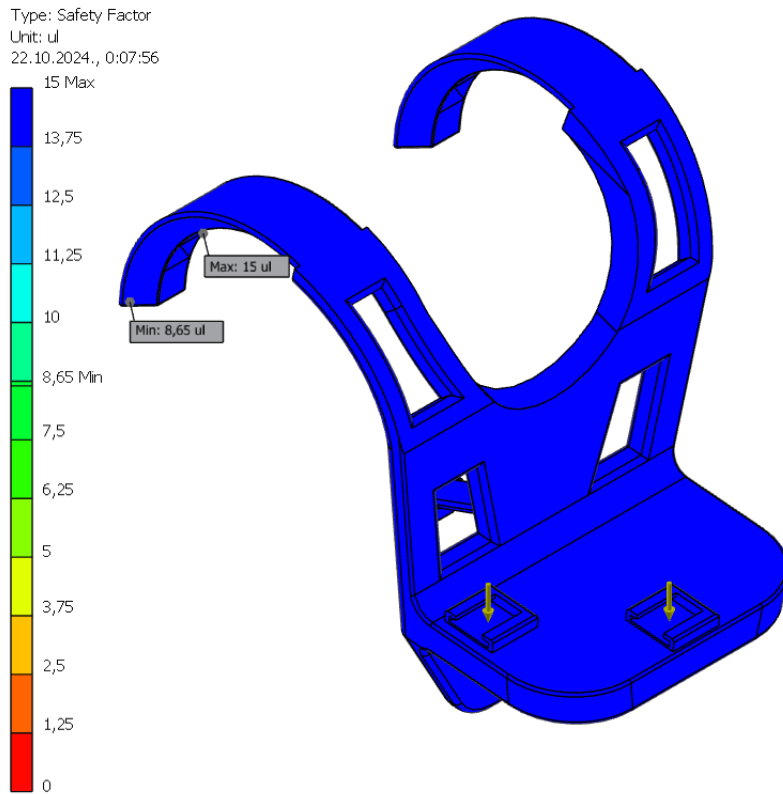
Najveće treće glavno napreznje se javlja na istoj poziciji gdje i najveće ekvivalentno napreznje prema Von Misesu i iznosi 2,297 MPa po apsolutnoj vrijednosti. Iz toga je vidljivo da su najveća

naprezanja u nosaču tlačna, što je povoljno zbog činjenice da polimeri koji se koriste za 3D tisak (ali i polimeri općenito) imaju veću tlačnu čvrstoću od one vlačne [50], makar je ona u ovom slučaju nepoznata.



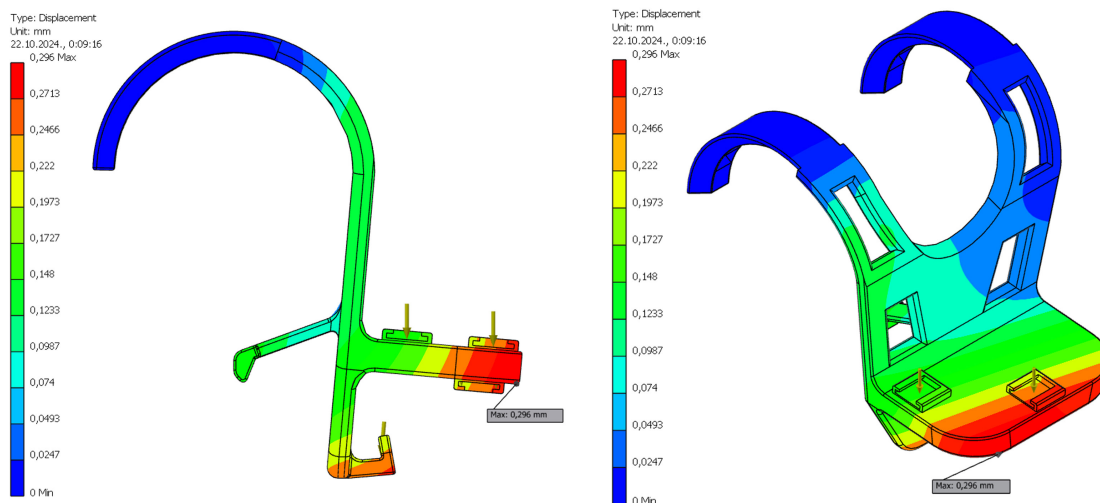
Slika 5.34 Najveće treće glavno naprezanje u cijelom nosaču

Faktor sigurnosti u cijelom nosaču ne opada ispod vrijednosti od 15, osim krajnje plohe gornje kuke, za što je rečeno da će se zanemariti.



Slika 5.35 Faktor sigurnosti u cijelom nosaču

Deformacija je najveća na kraju postolja za montažu, a iznosi 0,296 mm. Zbog opterećenja na *cold shoe* priključku 2 postolja se ujedno i uvija u jednu stranu.



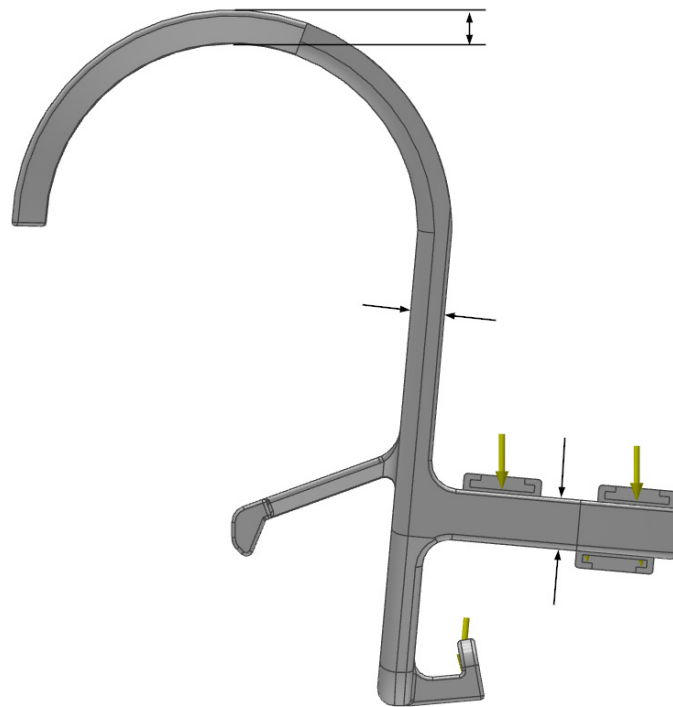
Slika 5.36 Deformacija cijelog nosača

Iz provedene analize se može zaključiti da je nosač dobro konstruiran obzirom na to da su sva najveća naprezanja koja se javljaju ispod 3 MPa, dok je vlačna čvrstoća materijala usvojena na 27 MPa. Osim toga, najveće prvo glavno naprezanje koje se pojavljuje ne doseže niti vrijednost od 1 MPa. Deformacije su minimalne te stoga zadovoljavajuće.

5.3. Optimizacija modela

Statička analiza metodom konačnih elemenata je uspješno provedena te su vrijednosti naprezanja i deformacija zadovoljavajuće s velikim faktorom sigurnosti. U nastavku se provodi parametarska optimizacija 3D modela, na način da se postavljaju najveća dopuštena naprezanja i deformacije koje se smiju pojaviti, a računalnom paketu se dopušta izmjena nekih dimenzija modela.

Volumen modela direktno utječe na količinu potrošenog materijala za 3D tisak, a time i na vrijeme potrebno za isti. Obzirom na to da najveći volumni udio nosača čini glavna ploha s glavnim kukama, a zatim postolje za montažu pametnog telefona i dodataka, računalnom paketu se dopušta izmjena parametara koji utječu na te dimenzije. Time će se nastojati smanjiti volumen modela, dok će se ograničiti vrijednosti najvećih dopuštenih naprezanja i deformacija. Slika 5.37 vizualizira dimenzije koje će se parametarski optimizirati. Trenutne vrijednosti koje su označene, na kojima je izvršena postojeća MKE analiza, iznose 10 mm za debljinu nosača i kuka te 15 mm za debljinu postolja za montažu pametnog telefona i dodataka.



Slika 5.37 Dimenzije za parametarsku optimizaciju modela

Kao ograničenje se zadaje da maksimalna vrijednost ekvivalentnog naprezanja prema Von Misesu ne smije prijeći 15 MPa s faktorom sigurnosti 3 te da maksimalna deformacija ne smije prijeći 1 mm.

Proizvoljno se odabire raspon dimenzija koji će se generirati, a zatim i analizirati. Raspon dimenzija debljine nosača i glavnih kuka se odabire kao 5...10 mm, s korakom od 1 mm, a raspon dimenzije debljine postolja za montažu pametnog telefona i dodataka se uzima kao 8...15 s korakom od 1 mm. Slika 5.38 u žičanom (engl. *wireframe*) prikazu prikazuje model s najvećim vrijednostima obje dimenzije, a osjenčano (engl. *shaded*) prikazuje model s najmanjim vrijednostima obje dimenzije.



Slika 5.38 Najmanje i najveće dimenzije optimizacijskog modela

Rezultat analize s obje varijable u maksimalnoj vrijednosti (najveća debljina nosača i kuke te najveća debljina postolja za montažu) su već opisane u potpoglavlju 5.2.4. Stoga se u nastavku daje pregled tri rezultata gdje je jedna varijabla u najvećoj vrijednosti, a druga u najmanjoj te rezultat kada su obje varijable u najmanjoj vrijednosti.

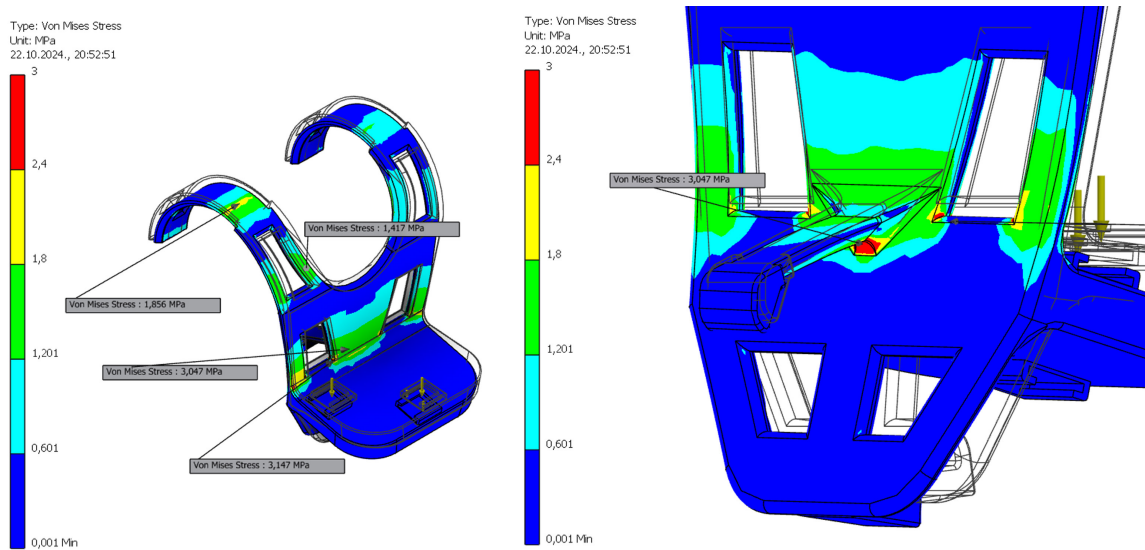
Tablica 5.3 Vrijednosti varijabli za dane rezultate analize

<i>Redni broj rezultata</i>	<i>Debljina nosača i glavnih kuka [mm]</i>	<i>Debljina postolja za montažu [mm]</i>
1	5	15
2	10	8
3	5	8

5.3.1 Rezultat 1

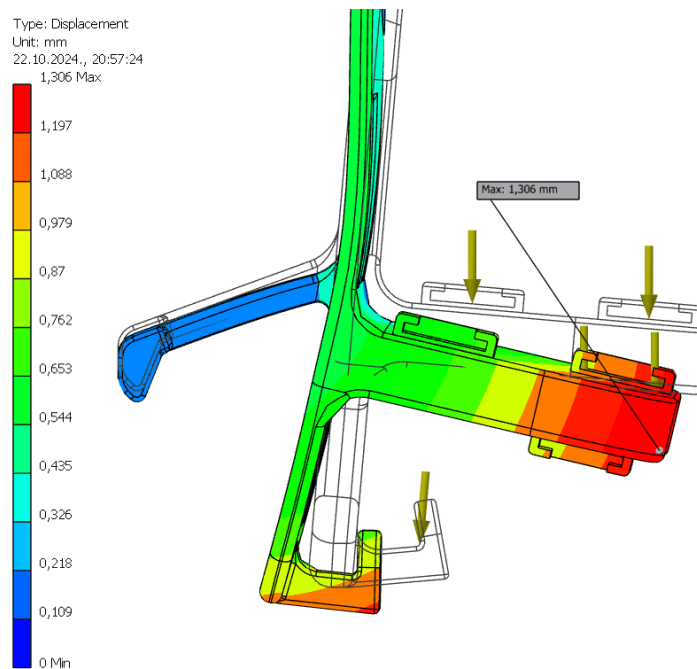
Pri debljini nosača i glavnih kuka u vrijednosti 5 mm, a debljini postolja za montažu od 15 mm, najveća ekvivalentna naprezanja prema Von Misesu se također javljaju na spoju pomoćne kuke i glavne plohe nosača (3,047 MPa), ali i na zaobljenim bridovima prolaza iznad postolja za montažu

(3,147 MPa). Na gornjoj plohi glavne kuke ekvivalentna naprežanja iznose 1,856 MPa i 1,417 MPa.



Slika 5.39 Rezultat 1: ekvivalentna naprežanja prema Von Misesu

Najveća deformacija se javlja na kraju postolja za montažu i iznosi 1,306 mm.

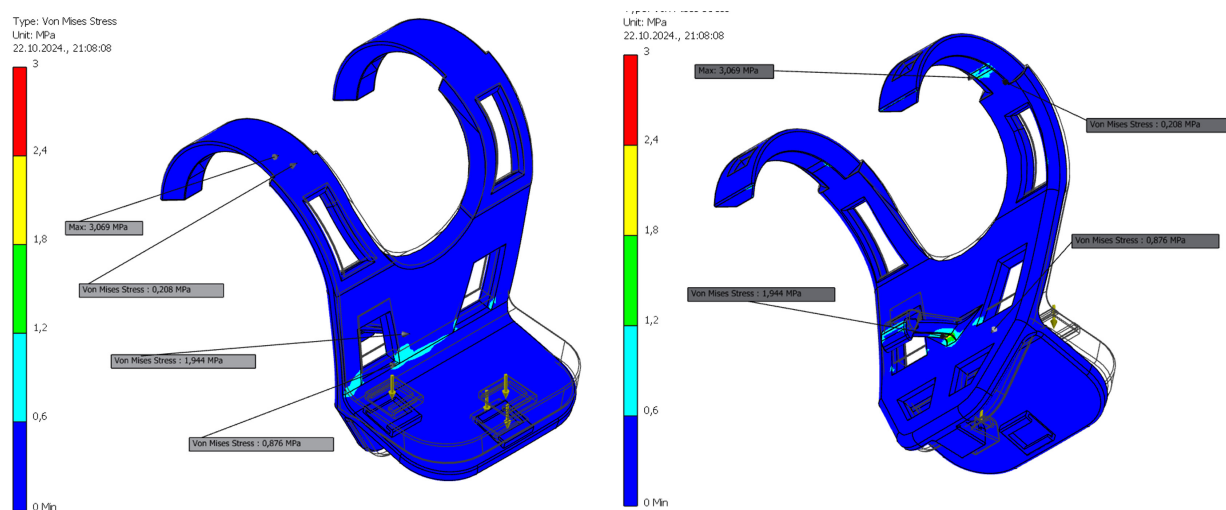


Slika 5.40 Rezultat 1: deformacije

Ekvivalentno naprezanje prema Von Misesu je i dalje daleko unutar dopuštenih vrijednosti, dok je najveća deformacija veća od dopuštene koja iznosi 1 mm.

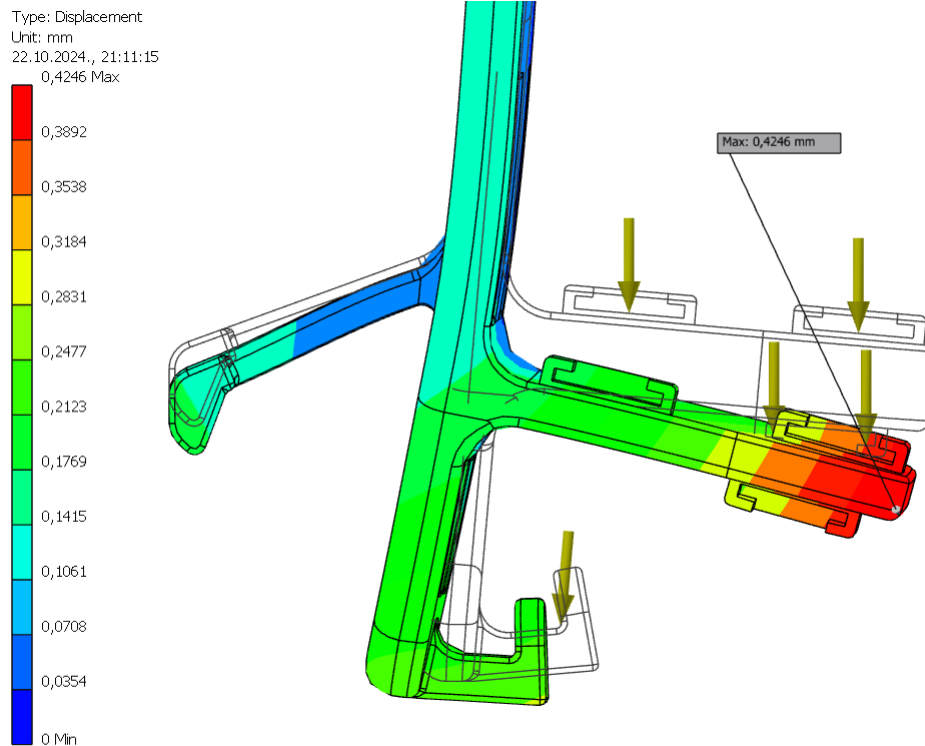
5.3.2 Rezultat 2

U suprotnom ekstremu, pri debljini nosača i glavnih kuka u vrijednosti 10 mm, a debljini postolja za montažu u vrijednosti 8 mm, najveća ekvivalentna naprezanja iznose u 3,069 MPa i javljaju se na dijelu plohe glavne kuke koja će biti u kontaktu s cijevi ograde. Najveća naprezanja na pozicijama iz prethodne konfiguracije (rezultat 1) su očekivano manja i iznose 1,876 MPa na bridu prolaza iznad spoju glavne plohe i postolja za montažu, 1,944 MPa na spoju pomoćne kuke i glavne plohe, te 0,208 MPa na gornjoj plohi glavne kuke.



Slika 5.41 Rezultat 2: ekvivalentna naprezanja prema Von Misesu

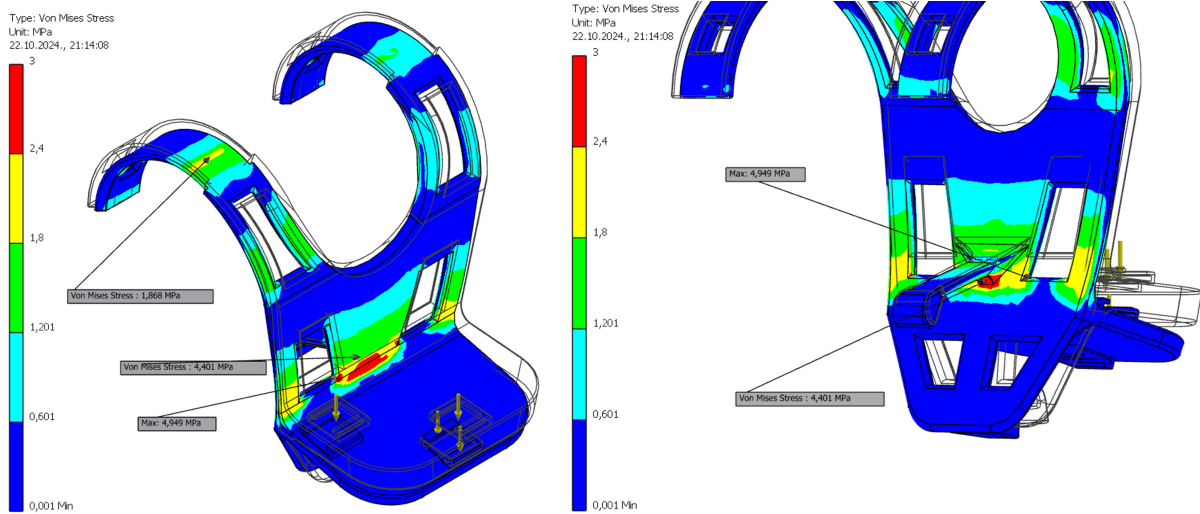
Najveća deformacija postolja za montažu je također manja i iznosi 0,4246 mm, što proizlazi iz veće krutosti glavne plohe nosača zbog njezine veće dimenzije.



Slika 5.42 Rezultat 2: deformacije

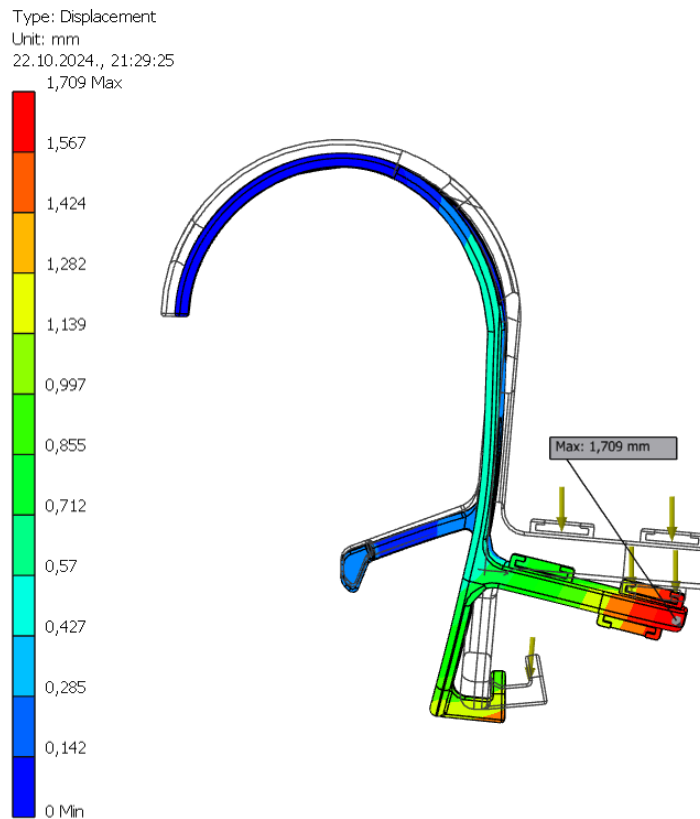
5.3.3 Rezultat 3

Pri najmanjim vrijednostima obje dimenzije; debljini nosača i kuka 5 mm te debljini postolja za montažu 8 mm, najveća vrijednost ekvivalentnog naprezanja prema Von Misesu se javlja na zaobljenim bridovima prolaza iznad postolja za montažu gdje iznosi 4,949 MPa. Sljedeća najveća vrijednost se javlja na spoju pomoćne kuke i glavne plohe nosača i iznosi 4,401 MPa. Najveća naprezanja na gornjoj plohi glavne kuke iznosi 1,868 MPa.



Slika 5.43 Rezultat 3: ekvivalentna naprezanja prema Von Misesu

Najveća deformacija koja se pojavljuje je također na kraju postolja za montažu pametnog telefona i dodatka te iznosi 1,709 mm.



Slika 5.44 Rezultat 3: deformacije

5.3.4 Osvrt na rezultate i odabir konačnih dimenzija

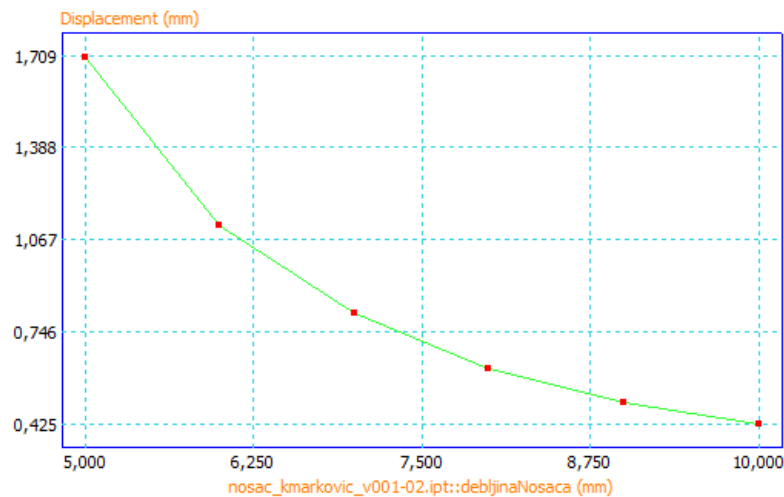
Radi bolje preglednosti, u tablici 5.4 je dan pregled rezultata analize ovisno o vrijednostima varijabli debljine, uključujući prvotno dobiveni rezultat u potpoglavlju 5.2.4. Ispisane su najveće vrijednosti opisane u prethodnim potpoglavljima.

Tablica 5.4 Najveće vrijednosti naprežanja i deformacije u dobivenim rezultatima

Rezultat	Debljina nosača i glavnih kuka [mm]	Debljina postolja za montažu [mm]	Najveće ekviv. napr. Von Mises [MPa]	Najveća deformacija [mm]
Početni	10	15	2,138	0,296
1	5	15	3,147	1,306
2	10	8	3,069	0,4246
3	5	8	4,949	1,709

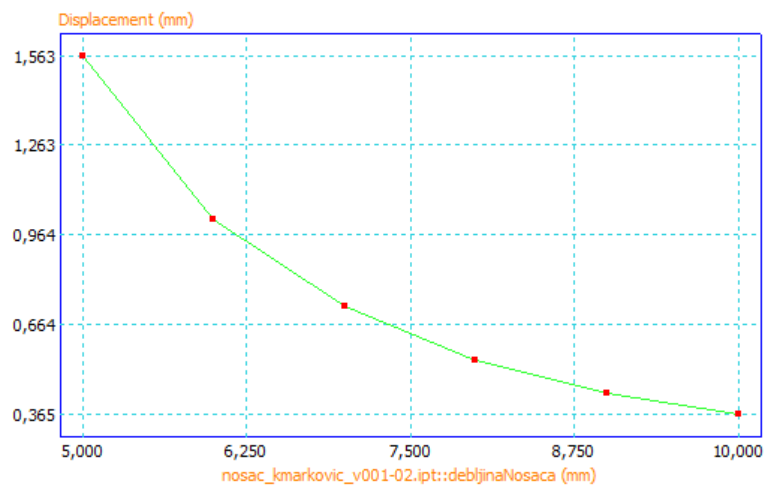
Vidljivo je da svi rezultati zadovoljavaju postavljeni kriterij za najveća ekvivalentna naprežanja prema Von Misesu. Deformacije izlaze iz dopuštenih vrijednosti u slučajevima kada je debljina nosača najmanja i kada iznosi 5 mm, stoga se može zaključiti da će debljina nosača i glavnih kuka ovisiti o tom rezultatu.

Na dijagramu generiranom od strane Autodesk Inventora koji je prikazan u nastavku su ucrtane vrijednosti najvećih deformacija u ovisnosti o debljini nosača i glavnih kuka. Može se iščitati da je vrijednost najveće deformacije ispod 1 mm kada je debljina nosača i glavnih kuka 8 mm ili deblja uz napomenu da je dijagram generiran za najmanju vrijednost debljine postolja za montažu u iznosu 8 mm.



Slika 5.45 Deformacija u ovisnosti o debljini nosača, pri debljini postolja 8 mm

Proizvoljno se povećava vrijednost debljine postolja za montažu i odabire se vrijednost od 10 mm te se generira novi dijagram deformacije u ovisnosti o debljini nosača i glavnih kuka.

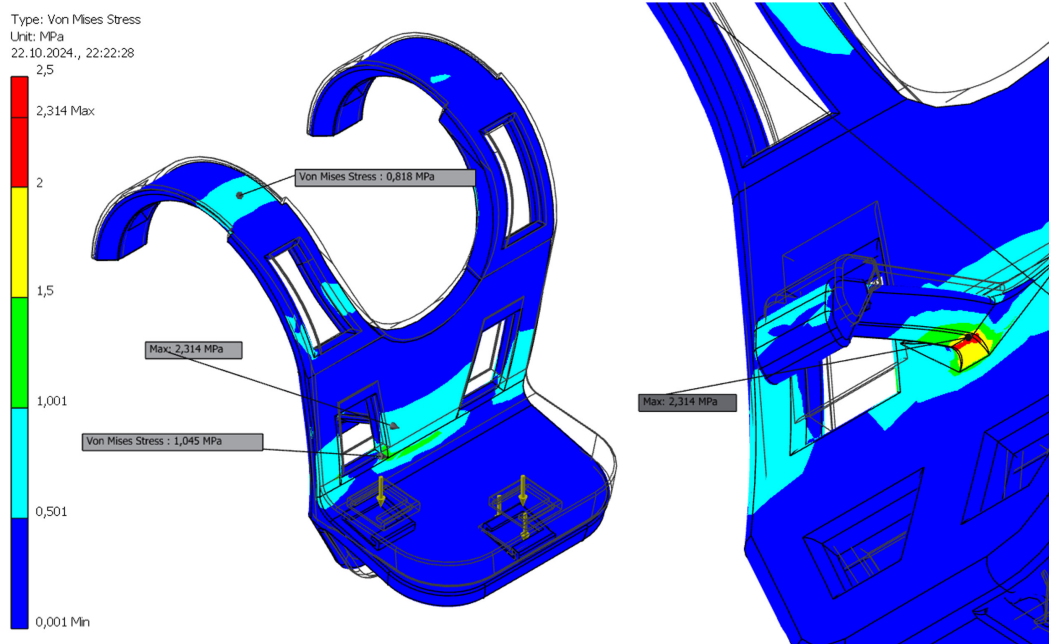


Slika 5.46 Deformacija u ovisnosti o debljini nosača, pri debljini postolja 10 mm

Vidljivo je da je za vrijednost debljine nosača i glavnih kuka od 8 mm (i debljine postolja za montažu od 10 mm) najveća deformacija oko 0,5 mm što je zadovoljavajuće te se takve vrijednosti varijabli usvajaju.

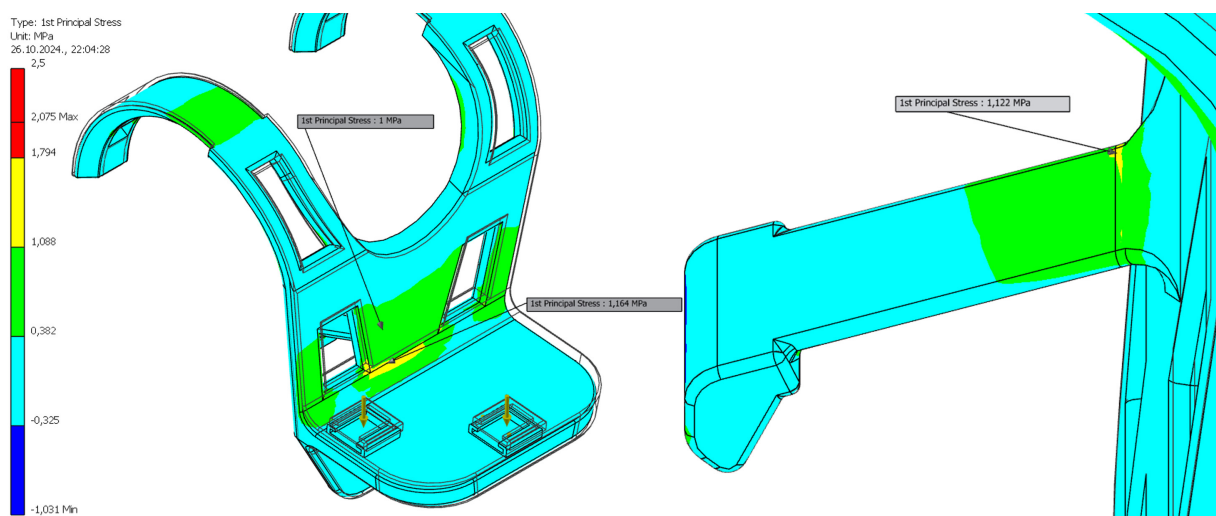
U nastavku je dan pregled rezultata MKE analize s navedenim usvojenim vrijednostima. Najveća vrijednost ekvivalentnog naprezanja prema Von Misesu iznosi 2,314 MPa i javlja se na spoju

pomoćne kuke i glavne plohe nosača. Naprezanja na ostalim pozicijama interesa su; 1,045 MPa na zaobljenim bridovima prolaza iznad postolja za montažu te 0,818 MPa gornjoj plohi glavne kuke.



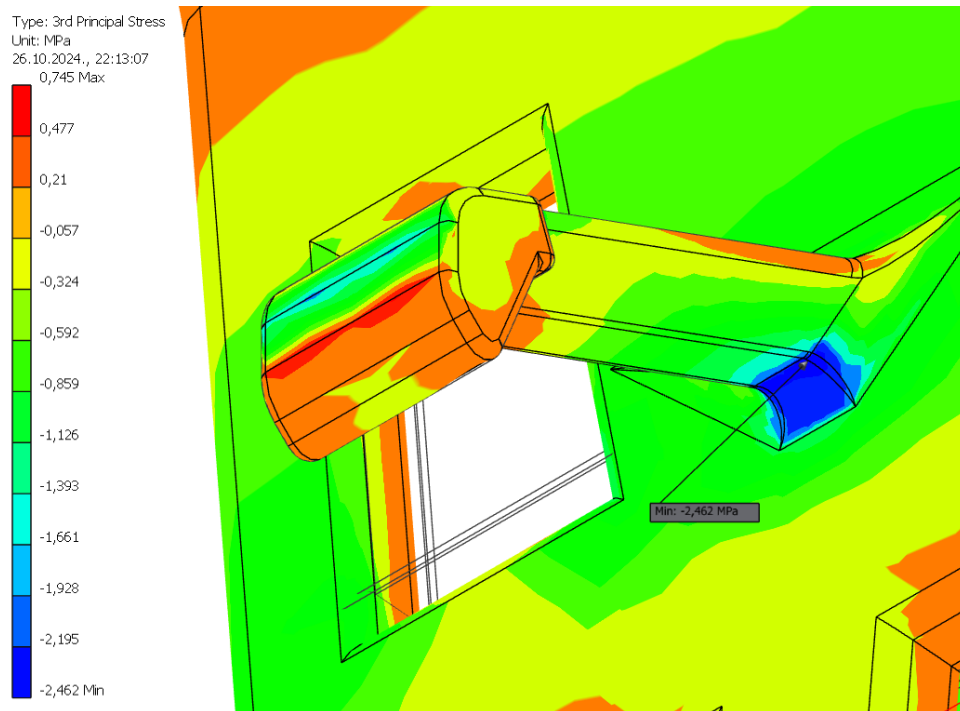
Slika 5.47 Ekvivalentna naprezanja prema Von Misesu kod optimiziranog modela

Prva glavna naprezanja su najveća na spoju pomoćne kuke i glavne plohe nosača gdje iznose 1,122 MPa te na zaobljenju s glavne plohe nosača na postolje za montažu gdje iznose 1,164 MPa.



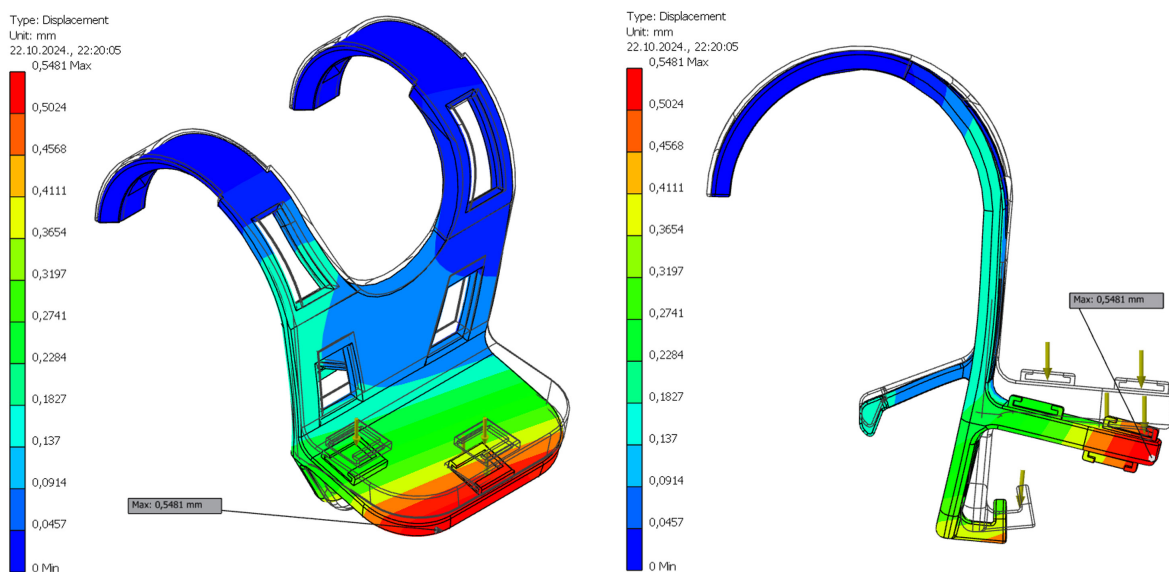
Slika 5.48 Prva glavna naprezanja kod optimiziranog modela

Najveća treća glavna naprezanja po apsolutnoj vrijednosti iznose 2,462 MPa i javljaju se s donje strane zaobljenja s pomoćne kuke na glavnu plohu nosača.



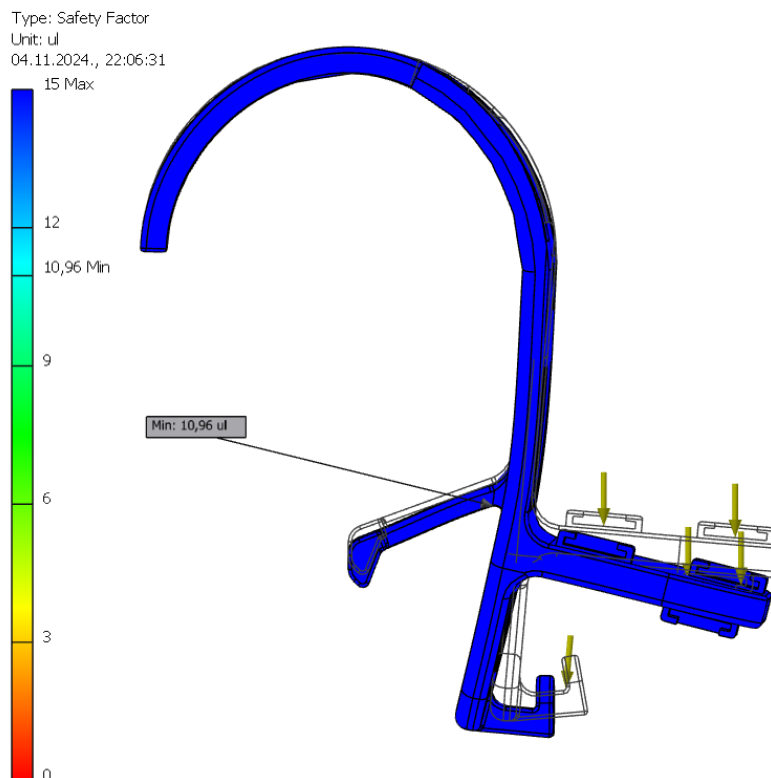
Slika 5.49 Najveće treće glavno naprezanje kod optimiziranog modela

Najveća deformacija se javlja na kraju postolja za montažu i iznosi 0,5481 mm.



Slika 5.50 Deformacije kod optimiziranog modela

Najmanji faktor sigurnosti s ovim dimenzijama nosača i postolja za montažu iznosi 10,96 i javlja se s donje strane zaobljenja s pomoćne kuke na glavnu plohu nosača.



Slika 5.51 Faktor sigurnosti kod optimiziranog modela

Iz dobivenih rezultata se može zaključiti da su usvojene dimenzije zadovoljavajuće.

U Autodesk Inventoru su generirani fizikalni podaci na osnovu dimenzija modela. Početni model, s debljinom nosača i glavnih kuka u iznosu od 10 mm te s debljinom postolja za montažu od 15 mm, ima volumen jednak $370\,414,387\text{ mm}^3$ i masu 0,389 kg. Optimizirani model s debljinom nosača u iznosu od 8 mm i debljinom postolja 10 mm ima volumen $284\,476,241\text{ mm}^3$ i masu od 0,299 kg. Tako je provedenom parametarskom optimizacijom volumen umanjen za:

$$\begin{aligned}\Delta V &= 370\,414,387\text{ mm}^3 - 284\,476,241\text{ mm}^3 \\ \Delta V &= 85\,938,146\text{ mm}^3\end{aligned}\tag{5.6}$$

Masa je umanjena za:

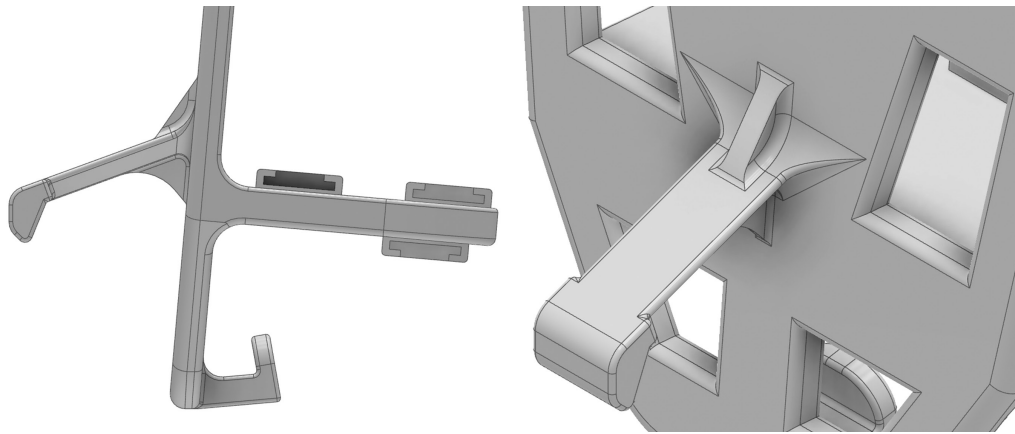
$$\begin{aligned}\Delta m &= 0,389 \text{ kg} - 0,299 \text{ kg} \\ \Delta m &= 0,09 \text{ kg} = 90 \text{ g}\end{aligned}\tag{5.7}$$

Odnosno, parametarskom optimizacijom ovih dviju dimenzija, volumen i masa su umanjeni za 26,2 % stoga će se u teoriji i toliki postotak materijala manje utrošiti, uz napomenu da Autodesk Inventor računa masu s pretpostavkom da je materijal savršeno homogen. Kako je rečeno, pri 3D tisku će se koristiti postotak ispune od 40 % ili više (ali ne 100 %) pa će konačna masa i utrošak materijala biti još manji.

5.4. Dodavanje orebrenja zbog nepredvidivih opterećenja

Nosač je uspješno konstruiran obzirom na predviđena opterećenja koja će se pojaviti u planiranom režimu rada kada je on montiran na ogradu igrališta i opterećen pretpostavljenim teretom. U nastavku se na nosač dodaju orebrenja s ciljem povećanja čvrstoće najkritičnijih dijelova radi otpornosti na nepredviđena opterećenja koja se mogu pojaviti. Pod njima se podrazumijevaju ona opterećenja koja se mogu pojaviti zbog rukovanja nosačem u vidu korisnikovog nehotičnog preopterećivanja dijelova, bacanja nosača umjesto pažljivog odlaganja i sl. Osim takvog rukovanja, pod nepredviđenim opterećenjima se podrazumijevaju i opterećenja koja se mogu pojaviti pri transportu u sportskim torbama obzirom na to da se i sportskim torbama često može nepažljivo rukovati.

Kako je iz dosadašnjih analiza metodom konačnih elemenata utvrđeno da se najveća naprezanja javljaju na spoju pomoćne kuke i glavne plohe nosača te da su ona i tlačne i vlačne prirode (slika 5.48 i slika 5.49), ona će se nastojati umanjiti uvođenjem orebrenja na tim pozicijama. Njihovim umanjivanjem se nosač osigurava od pucanja na tim pozicijama, koje su ujedno i pozicije najvećih koncentracija naprezanja. Slika 5.52 prikazuje modelirana orebrenja.

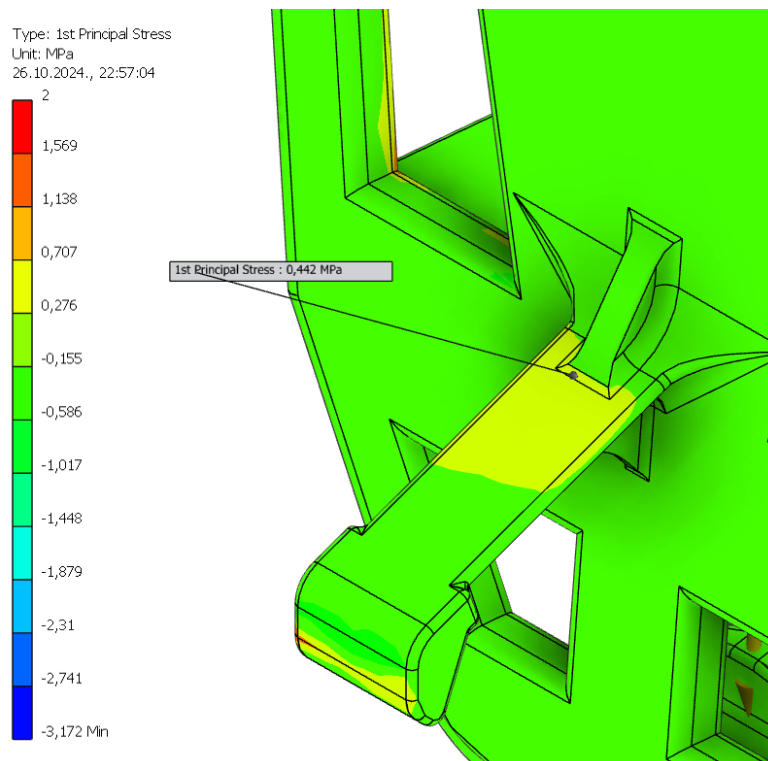


Slika 5.52 Modelirana orebrenja

5.4.1 Analiza napreznja

Provodi se statička analiza metodom konačnih elemenata kako bi se provjerilo jesu li lokalizirana napreznja na pomoćnoj kuki umanjena.

Najveća prva glavna napreznja, koja nastaju uslijed vlačnih opterećenja iznose 0,442 MPa.



Slika 5.53 Prva glavna napreznja na pomoćnoj kuki

Najveća treća glavna naprezanja koja nastaju uslijed tlačnih opterećenja, po apsolutnoj vrijednosti iznose 1,824 MPa.



Slika 5.54 Treća glavna naprezanja na pomoćnoj kuki

U tablici 5.5 je ispisana usporedba prvih i trećih glavnih naprezanja koja se javljaju na pomoćnoj kuki između optimiziranog modela bez orebrenja iz potpoglavlja 5.3.4 i modela na kojem su modelirana orebrenja.

Tablica 5.5 Usporedba naprezanja između modela sa i bez orebrenja na pomoćnoj kuki

Naprezanje/model	Bez orebrenja	S orebrenjima	Relativna razlika [%]
Najveća prva glavna naprezanja [MPa]	1,122	0,442	86,96
Najveća treća glavna naprezanja [MPa]	2,462	1,824	29,77

Iz prikazanih rezultata je vidljivo da su naprezanja na gornjoj strani pomoćne kuke (prva glavna naprezanja) jako umanjena, dok su s donje strane također umanjena po iznosu, ali ono što najbitnije je da više nisu toliko lokalizirana. Time se uvođenjem orebrenja osiguralo nosač od pucanja na područjima najvećih koncentracija naprezanja prilikom nepredvidivog rukovanja ili transporta.

Modeliranjem orebrenja se povećao volumen i masa nosača, no ovdje se neće davati pregled novih podataka obzirom na to da su oni generirani u Autodesk Inventoru dani za savršeno homogen materijal sa 100%-tnom ispunom. Stoga će se pregled mase dati u poglavlju 6.

6. IZRADA NOSAČA 3D TISKOM

U ovom poglavlju je opisan proces 3D tiskanja modela nosača iz CAD računalnog paketa. Dat će se pregled glavnih postavki 3D tiska te obrazloženje iza odabira onih bitnijih i nestandardnih. Također će se dati osvrt na konačnu masu i cijenu proizvoda obzirom na utrošeni materijal.

6.1. Postavke za 3D tisak

Kako se za 3D tisak koristi 3D pisac X1 Carbon proizvođača Bambu Lab, radi što veće kompatibilnosti i jednostavnosti korištenja se koristi i Bambu Labov računalni program za zadavanje postavki 3D tiska (engl., i u nastavku, *slicer*) Bambu Studio. Prilikom odabira pisaca i materijala za tisak (engl., i u nastavku, *filament*) u *sliceru*, on automatski postavlja optimalne postavke.

Koristi se Bambu Labova tzv. Engineering Plate podloga 3D pisaca zbog preporuke za korištenjem iste prilikom tiskanja materijala s višim talištem. Nadalje, podloga će se prije tiska premazati ljepilom radi boljeg prijanjanja, ali i zbog jednostavnijeg uklanjanja nakon tiska, što je preporuka kod korištenja Engineering Platea. [51]

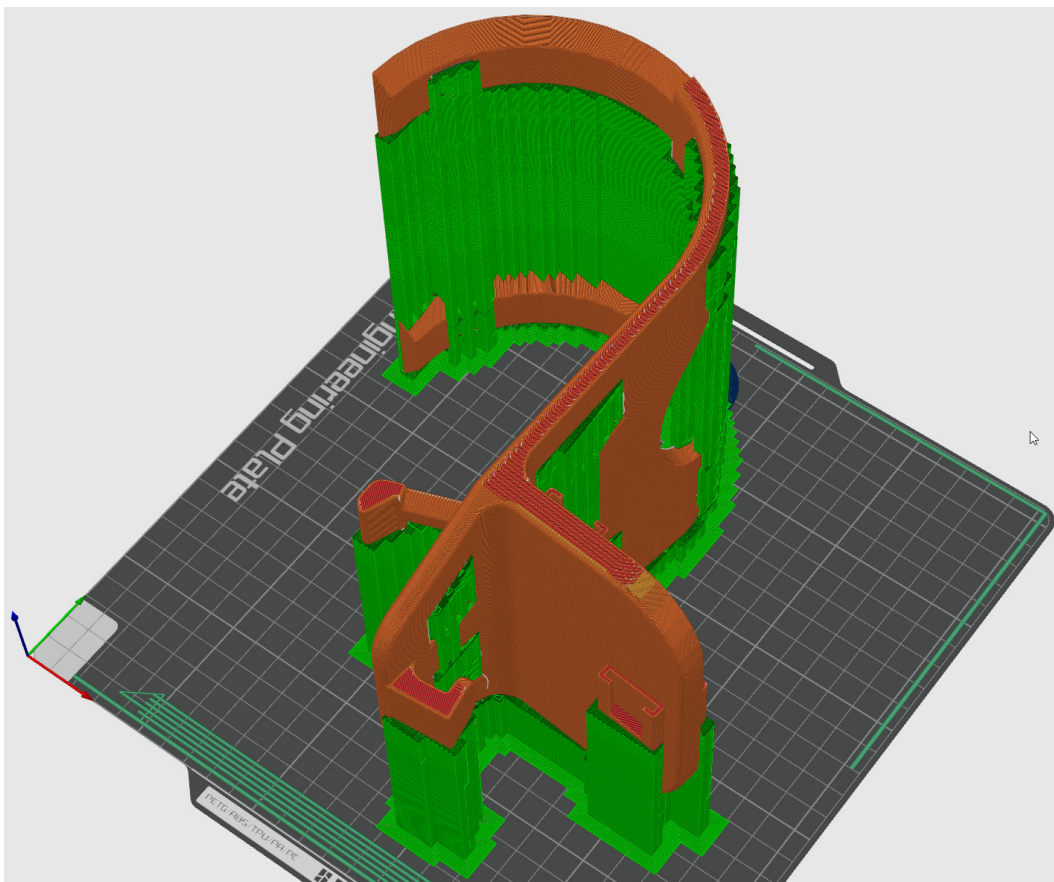
Temperatura podloge 3D pisaca (engl. *plate*) pri tisku prvog sloja se postavlja na 100 °C, umjesto na zadanih 90 °C. To je postavka koja bi trebala spriječiti izvijanje početnih slojeva 3D tiska. Radi sprječavanja izvijanja ostalih slojeva, temperatura pri tiskanju istih se podiže sa zadanih 90 °C na 95 °C. Iako kasniji slojevi nisu u kontaktu s podlogom, viša temperatura podloge će povisiti temperaturu komore 3D pisaca, što je također povoljno pri tiskanju ASA *filamentom* [51].

Broj tzv. petlji zidova (engl. *wall loops*) se podiže sa zadane dvije na pet petlji što je postavka koja će pridonijeti čvrstoći tiskanog modela. Postotak ispune (engl. *sparse infill density*) se povećava sa zadanih 20 % na 40 % što je već određeno u potpoglavlju 5.2.1. Uzorak ispune (engl. *sparse infill pattern*) se ostavlja kao zadani *grid* (hrv. mrežasti ili rešetkasti). Neki izvori iz literature navode da izbor uzorka ispune ima neznatjan utjecaj na vlačnu čvrstoću materijala za 3D tisak [52], neki navode da spomenuti *grid* uzorak postiže najbolju vlačnu čvrstoću u odnosu na ostale uzorke [53], dok neki navode da daleko najveću vlačnu čvrstoću postižu koncentrični uzorci [54]. Obzirom na to da je prilikom konstruiranja nosača provedena zadovoljavajuća analiza metodom konačnih elemenata koja postiže visok faktor sigurnosti, manja važnost se daje odabiru uzorka ispune s ciljem postizanja veće čvrstoće nosača te se stoga on ostavlja kao zadani.

Brzina tiskanja prvog sloja se postavlja na 30 mm/s sa zadanih 50 mm/s. Brzina tiskanja unutarnjeg uzorka ispune i unutarnjih zidova se postavlja na 250 mm/s. Ove postavke utječu na kvalitetu prijanjanja tiska za podlogu te smanjenje izvijanja.

Iz istog razloga se proširenje prvog sloja potpora postavlja na 5 mm te se dodaje obod (engl. *brim*) u širini 20 mm.

Nosač će se 3D tiskati s navedenim postavkama. Slika 6.1 prikazuje sliku zaslona iz Bambu Studio *slicera* gdje je prikazan *sliceani* model nosača pripremljen za 3D tisak. Također je vidljivo da je ispoštovan smjer tiskanja (Z-os pisača) odabran u poglavlju 5.1.1.



Slika 6.1 Sliceani model (narančasto) s potporama (zeleno) u Bambu Studiju

6.1.1 Konačna masa i cijena proizvoda

Nakon zadavanja postavki za 3D tisak, *slicer* računa potrebno vrijeme za tisak, količinu utrošenog materijala te cjenovni trošak materijala, što je prikazano na slici 6.2.

Line Type	Time	Percent	Used filament	Display
Inner wall	2h24m	23,8%	43,89 m 110,86 g	✓
Outer wall	59m18s	9,8%	10,91 m 27,56 g	✓
Overhang wall	2m38s	0,4%	0,24 m 0,60 g	✓
Sparse infill	1h53m	18,7%	23,57 m 59,52 g	✓
Internal solid infill	10m14s	1,7%	1,86 m 4,70 g	✓
Top surface	5m23s	0,9%	0,42 m 1,06 g	✓
Bridge	2m12s	0,4%	0,28 m 0,72 g	✓
Gap infill	2m45s	0,5%	0,30 m 0,75 g	✓
Brim	37s	0,1%	0,03 m 0,09 g	✓
Support	2h43m	26,9%	29,86 m 75,41 g	✓
Support interface	14m39s	2,4%	1,57 m 3,97 g	✓
Custom	6m59s	1,2%	0,12 m 0,30 g	✓
Travel	1h21m	13,4%		
Retract				
Unretract				
Wipe				
Seams				✓
Total Estimation				
Total Filament:	113,06 m	285,53 g		
Model Filament:	81,63 m	206,16 g		
Cost:	9,13			
Prepare time:	6m45s			
Model printing time:	9h59m			
Total time:	10h6m			

Slika 6.2 Količina potrošenog materijala i vremena potrebnog za 3D tisk

Vidljivo je da će se na cijeli 3D tisk utrošiti ukupno 285,53 g materijala (engl. *Total filament*) od čega će 206,16 g biti utrošeno na sami nosač (engl. *Model filament*), a ostatak na potrebne potpore.

Parametarskom optimizacijom u potpoglavlju 5.3 se masa nosača smanjila s 0,389 g na 0,299 g, uz pretpostavku da nosač ima 100 %-tnu razinu ispune te je time ostvarena ušteda materijala od 26,2 %. Nakon optimizacije su na pomoćnu kuku dodana orebrenja radi umanjenja koncentracija naprezanja. Vidljivo je da se pri razini ispune od 40 % konačna masa nosača smanjila za dodatnih:

$$\begin{aligned} \Delta m &= 0,299 \text{ kg} - 0,20616 \text{ kg} \\ \Delta m &= 0,09284 \text{ kg} = 92,84 \text{ g} \end{aligned} \quad (6.1)$$

Konačna masa nosača se smanjila za dodatnih 36,76 % u odnosu na optimizirani, a 61,44 % u odnosu na početni, neoptimizirani 3D model. Nadalje, sa slike 6.2 je vidljivo da će trošak (engl. *Cost*) za ukupnu količinu materijala iznositi 9,13 €. Stoga se, analogno izrazu (4.1) za preliminarnu cijenu nosača $c_{\text{nos,pr}}$ iz potpoglavlja 4.5, može izračunati konačna cijena nosača c_{nos} kao zbroj cijene

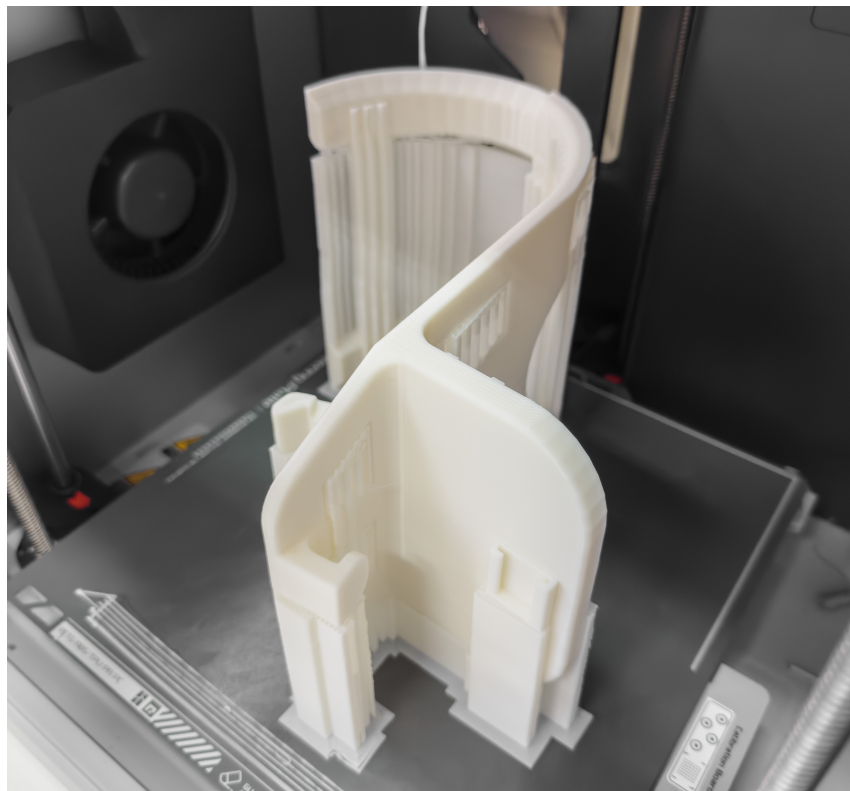
utrošenog materijala c_{3Dt} , maloprodajne cijene držača pametnog telefona c_{dr} i maloprodajne cijene hvataljke pametnog telefona c_{hv} koji su odabrani u potpoglavljima 4.4.1 i 4.4.2.

$$\begin{aligned}c_{nos} &= c_{3Dt} + c_{dr} + c_{hv} \\c_{nos} &= 9,13 \text{ €} + 5,50 \text{ €} + 30,00 \text{ €} \\c_{nos} &= 44,63 \text{ €}\end{aligned}\tag{6.2}$$

Konačna cijena može biti i manja ukoliko se odaberu dodaci od treće strane koji su jeftiniji te ukoliko se koristi jeftiniji materijal.

6.2. Izrađeni nosač

Nosač je uspješno izrađen s prethodno navedenim postavkama za 3D tisak. Slika 6.3 prikazuje nosač s potporama za 3D tisak (engl. *supports*) na podlozi 3D pisača Bambu Lab X1 Carbon.

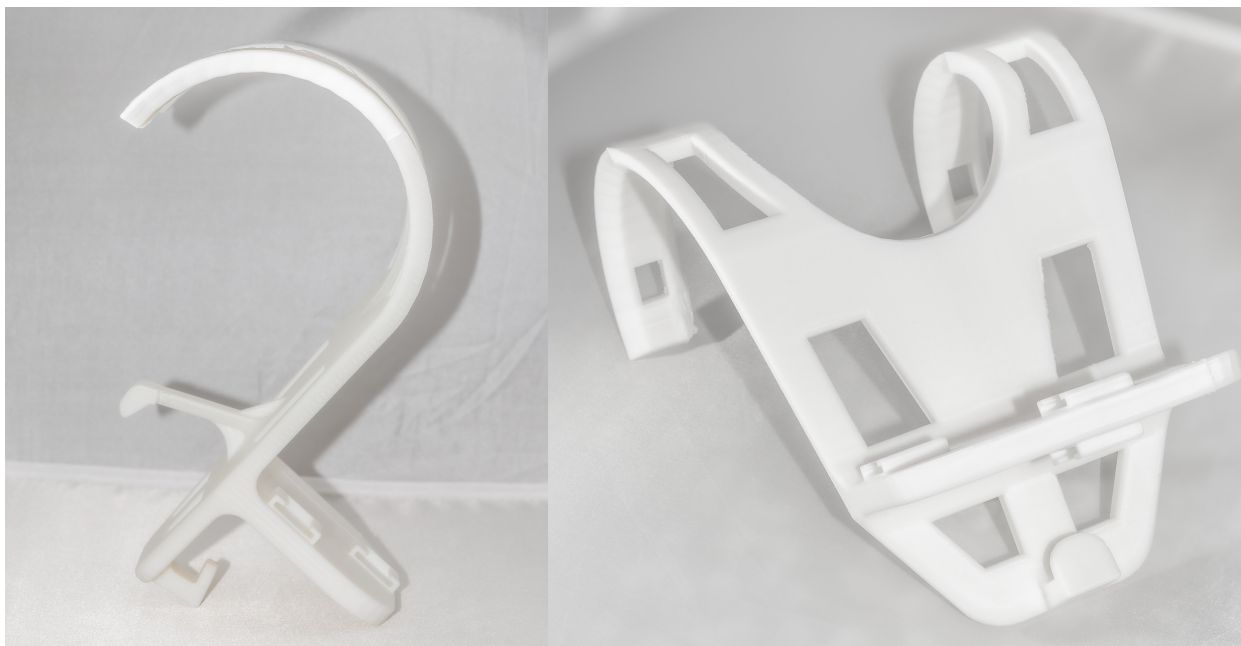


Slika 6.3 Izrađeni nosač s potporama na podlozi 3D pisača

Nosač je izvagan nakon uklanjanja potpora te konačna masa iznosi 204 g.

7. KONAČNI PROIZVOD

3D tisak je uspješno proveden te je nosač izrađen. Funkcionalnost nosača je testirana u praksi, što je prikazano u nastavku. Potom se nosač konačno vrednuje čime se kvantificira ispunjenost liste zahtjeva i liste želja. Slika 7.1 prikazuje izrađeni nosač s uklonjenim potporama od 3D tiska.



Slika 7.1 Izrađeni nosač

7.1. Nosač u upotrebi

U nastavku je testirana funkcionalnost nosača u praksi kako bi se dobila spoznaja o uspješnosti procesa konstruiranja i kako bi se moglo provesti vrednovanje konačnog proizvoda.

7.1.1 Montaža pametnog telefona i dodatka

Prije montiranja nosača na ogradu, obzirom na postavljene zahtjeve se na njega montira pametni telefon, odabrani držač i hvataljka pametnog telefona te prijenosna baterija. Pametni telefon koji se koristi je iPhone 15 Pro Max proizvođača Apple, mase 221 g na kojeg je postavljen oklop (engl.

phone case) zanemarive mase. Držać pametnog telefona (engl. *ball head mount*) koji se koristi je odabrani držać SmallRig 761 mase 70 g te odabrana hvataljka Leofoto PC-90 mase 64 g.

U *cold shoe* priključak 1 se umeće *cold shoe* umetak s navojem koji je odvojivi dio držaća pametnog telefona. Držać i hvataljka pametnog telefona se spajaju predodređenom vijčanom vezom te se zatim držać montira na navoj *cold shoe* umetka. Naposljetku se u hvataljku umeće pametni telefon. Slika 7.2 prikazuje opisani proces.



Slika 7.2 Koraci montiranja pametnog telefona na nosač

Zatim se na kuku za vješanje dodataka vješa prijenosna baterija PowerCore 20K proizvođača Anker. Prijenosna baterija je umetnuta u torbicu s vezicom za vješanje, a ukupna masa ovog tereta iznosi 480 g.

Time je nosač opterećen ranije definiranim obaveznim dodacima (držać i hvataljka pametnog telefona te sami pametni telefon), ali i jednim neobaveznim dodatkom. Prijenosna baterija je neobavezni dodatak koji ima najveću masu od svih dodataka koji su se razmatrali i za koje je nosač namijenjen, stoga je ovo prihvatljiv i mjerodavan slučaj opterećenja za potrebe testiranja nosivosti kuke za vješanje dodataka.

7.1.2 Montaža na poprečnu cijev ograde

Nosač se u konfiguraciji iz prethodnog potpoglavlja montira na poprečnu cilindričnu cijev ograde sportskog igrališta (u ovom slučaju teniskog terena), što je prikazano na slici 7.3. Izmjereni promjer cijevi na koju se montira iznosi 50,73 mm. Sa slike je vidljivo da glavne kuke nosača dobro nasjedaju na cijev, a pomoćna kuka prolazi kroz žičanu ogradu. Također je vidljivo da je nosač očekivano nagnut prema naprijed zbog vlastite težine i uslijed opterećenja koja na njega djeluju, stoga se nosač na žicu ograde oslanja s donjim dijelom glavne plohe. Kroz jedan od prolaza je provučena najlonska vezica koja je karabinerom prihvaćena za žicu ograde radi osiguranja od pada konstrukcije. Druga takva vezica je povezana s oklopom pametnog telefona i žicom ograde. Pametni telefon je spojen na prijenosnu bateriju s kabelom za napajanje.



Slika 7.3 Nosač montiran na poprečnu cijev ograde igrališta

Nosač se na ovaj način montira vrlo jednostavno. Nakon montiranja pametnog telefona, držača i hvataljke u *cold shoe* priključak, nosač se može objesiti za ogradu samo jednom rukom, a jedino ograničenje je visina osobe koja ga montira i najveći predviđeni promjer cijevi za kojeg je nosač konstruiran (110 mm). Ukupno trajanje montaže, uključujući montažu pametnog telefona na *cold shoe* priključak 1 i povezivanje nosača za žicu radi sigurnosti, traje oko dvije minute. To vrijeme korisnik može i skratiti ukoliko se odluči ranije montirati *cold shoe* umetak s navojem, spojiti

držač i hvataljku pametnog telefona te ranije provući najlonsku vezicu radi povezivanja sa žičanom ogradom.

Nosač je u ovoj konfiguraciji vrlo stabilan te se ne javljaju neželjeni pomaci niti se nosač dodatno rotira prema tlu uslijed težine sklopa jednom kada se glavnom plohom osloni na žičanu ogradu. Ne javljaju se niti nepredviđene i oku vidljive deformacije, što je i očekivano obzirom na provedenu analizu metodom konačnih elemenata. Jedini slučaj pri kojem se javljaju pomaci i vibracije je onaj kada teniska loptica udari u žičanu ogradu u neposrednoj blizini dodira glavne plohe nosača i žičane ograde, no te vibracije se u vrlo kratkom roku priguše.

Na slici 7.4 je prikazana sličica (engl. *frame*) iz video isječka snimljenog pametnim telefonom montiranom na najvišu poprečnu cijev ograde igrališta.

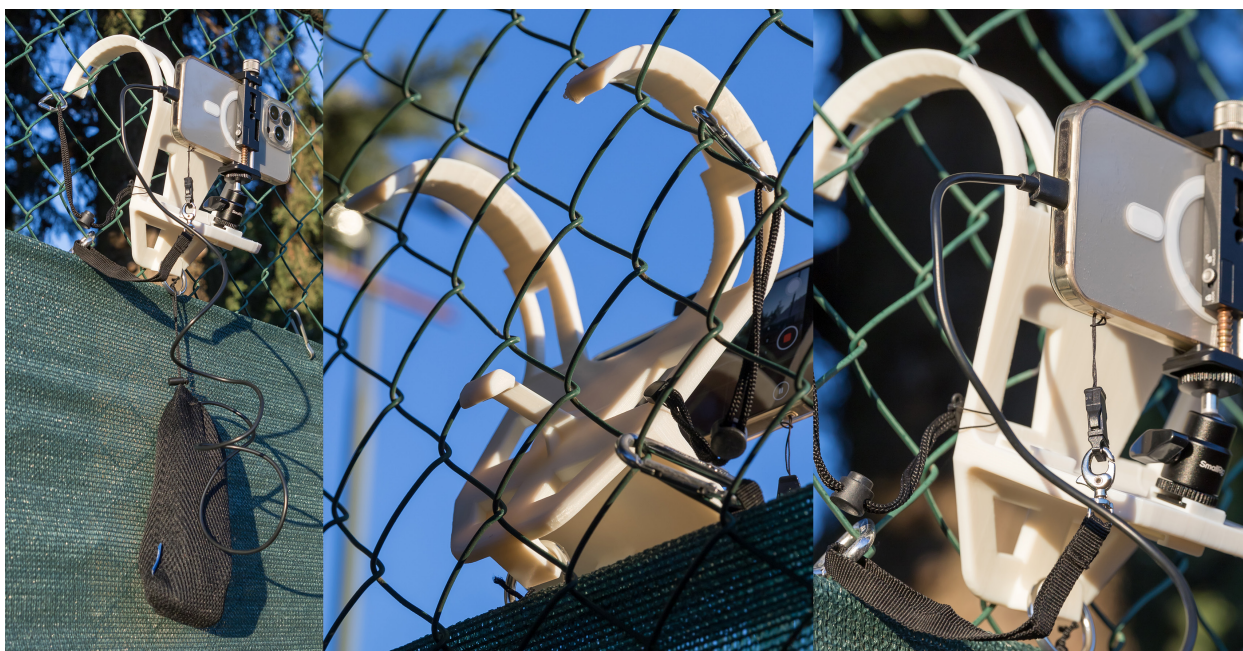


Slika 7.4 Sličica iz video isječka pri montaži na poprečnu cijev ograde igrališta

Iz navedenog se može zaključiti da nosač u potpunosti ispunjava svoju funkciju pri ovoj konfiguraciji te da nema nepredviđenih nedostataka.

7.1.3 Montaža na žičanu ogradu

Nosač se zatim montira na žičanu ogradu istog sportskog igrališta. Dimenzija stranice kvadrata koju čine ukrštene žice ograde (dimenzija sa slike 4.4) je 52,42 mm, a promjer jedne žice je 2,71 mm. Vidljivo je da glavne kuke nosača nasjedaju na žice ograde kako je i planirano, odnosno sa bokovima svojih trapezoidnih poprečnih presjeka. U ovom slučaju, zbog nesavršenosti montirane žice, glavne kuke nasjedaju samo s jednim bokom, što je i očekivano i na što se unaprijed obratila pažnja pri koncipiranju nosača. Iz istog razloga pomoćna kuka u ovom slučaju ne nasjeda na žice te ne pridonosi stabilnosti, već nosač ponovno dodiruje žicu donjim bridom glavne plohe uslijed rotacije prema naprijed zbog vlastite težine i opterećenja koja na njega djeluju. Konstrukcija se i u ovom slučaju osigurava od pada povezivanjem za ogradu kroz jedan od predviđenih prolaza. Slika 7.5 prikazuje nosač montiran na žičanu ogradu igrališta.



Slika 7.5 Nosač montiran na žičanu ogradu igrališta

Nosač je očekivano manje stabilan u odnosu na prethodni način montaže zbog činjenice da ne naliježe savršeno na žice ograde. Nadalje, iz istog razloga ima slobodu rotacije oko vertikalne osi, ali i zbog toga što sama žica ima nisku krutost. Zbog niske krutosti ograde udari teniske loptice u okolini montiranog nosača izazivaju više vibracija i intenzivnije neželjene pomake, no i u ovom slučaju se sve vibracije u kratkom roku priguše. Obzirom na okolnosti i na očekivanu manju

stabilnost pri ovakvom načinu montaže, zaključuje se da je postignuta zadovoljavajuća i očekivana stabilnost konstrukcije.

Na slici 7.6 je prikazana sličica iz video isječka snimljenog pametnim telefonom na nosaču montiranom na žičanu ogradu igrališta. Vidljivo je da je u odnosu na sliku 7.4 kadar više rotiran prema tlu te linija horizonta nije savršeno vodoravna što proizlazi iz niske krutosti i nesavršene izvedbe žičane ograde i na što se u praksi ne može utjecati. U slučaju ovakvih neželjenih pojava, korisnik će morati demontirati nosač, korigirati nagib kuglastog zgloba držača pametnog telefona te zatim ponovno montirati nosač na ogradu ili montirati nosač na drugu poziciju.



Slika 7.6 Sličica iz video isječka pri montaži na žičanoj ogradi igrališta

7.2. Konačno vrednovanje

Nakon provedenih testova korištenja nosača u praksi, u nastavku slijedi vrednovanje konačnog proizvoda obzirom na postavljenu listu zahtjeva i listu želja iz potpoglavlja 3.1.1. te se dodijeljene ocjene uspoređuju s onima dodijeljenima u već provedenom vrednovanju postojećih rješenja (potpoglavlje 3.2.2) i prvom vrednovanju novog rješenja (potpoglavlje 4.6).

Potrebna nosivost je ostvarena. Ona je preliminarno usvojena na iznos od 1,3 kg, a pri analizi metodom konačnih elemenata se definiralo kako nosač mora biti dimenzioniran na način da izdrži

opterećenje od po 5 N (odnosno teret mase 500 g) na *cold shoe* priključku 1 i 2, te teret mase 400 g na priključku 3. Postolje za montažu mora imati ukupnu nosivost od 1,4 kg, a kuka za vješanje dodataka mora imati nosivost za još 500 g tereta. Obzirom na to da je analiza metodom konačnih elemenata (potpoglavlje 5.3.4) pokazala da pod takvim opterećenjem neće doći do puknuća konstrukcije niti do značajnih deformacija uz faktor sigurnosti 10,96, a test u praksi je potvrdio tu činjenicu, ostvarena nosivost se može vrednovati kao odlična.

Postignuta stabilnost je zadovoljavajuća. Pri montaži na poprečnu cijev ograde igrališta, ona je odlična te se ne javljaju ikakvi neželjeni pomaci, a vibracije su minimalne. Pri montaži na žičanu ogradu, stabilnost je vrlo dobra, no očekivano je manja zbog nesavršenog dodira glavnih kuka nosača i žice. Zbog manje krutosti žice vibracije zbog naleta vjetra ili udara lopte u žičanu ogradu se lakše prenose na nosač, ali se brzo priguše.

Numeričkom analizom je zaključeno da su najveće deformacije koje će se pojaviti one na kraju postolja za montažu te da će iznositi 0,5481 mm. Najveća deformacija u tom iznosu je vrlo prihvatljiva obzirom na to da neće utjecati na kvalitetu videozapisa ni u kojoj mjeri. Zbog korištenog ASA materijala, otpornost na sunčeve zrake (tj. na UV zračenje Sunca) je odlična, kao i otpornost na kišu i na snijeg. Odabirom materijala se također procjenjuje da je funkcionalnost proizvoda u rasponu temperatura od 0 do 40 °C ostvarena. Nosač se može lako održavati i očistiti od površinskih nečistoća. Neophodni dodaci kupljeni od treće strane (držač i hvataljka pametnog telefona) su također otporni na navedene uvjete okoline, no nije ih toliko jednostavno očistiti, a njihove komponente su sklone i koroziji, što utječe na ocjenu tog svojstva cjelokupnog proizvoda.

Iz provedenog testiranja nosača je vidljivo da se on vrlo jednostavno može montirati na različite vrste ograda, odnosno na poprečne cijevi ograde cilindričnog poprečnog presjeka do promjera 110 mm i na žičanu ogradu. Iz testiranja se može i zaključiti da će se nosač jednostavno montirati i na mrežaste pregrade koje se zbog svoje male krutosti odlično prilagođavaju obliku ovješnog predmeta. Iako taj slučaj nije testiran, s dobrom sigurnošću se može pretpostaviti i da će se nosač moći montirati na neke poprečne cijevi kvadratnog poprečnog presjeka. Provedenim testiranjem se uvidjelo i da se nosač vrlo lako i brzo montira na ogradu. Masa nosača koja iznosi 204 g je vrlo prihvatljiva, a gabaritne dimenzije su zadovoljavajuće, iako bi bilo poželjnije da su manje. Kut zakretanja pametnog telefona je neometan s prednje strane nosača, a nosač će zaklanjati vidno

polje kamere pametnog telefona samo ukoliko ga korisnik rotira oko vertikalne osi za više od 90 stupnjeva u bilo kojem smjeru. Iako je izveden *cold shoe* priključak 2 te brojni prolazi s ciljem montiranja dodataka poput kišobrana i pokrova zbog zaštite od kiše i Sunčevih zraka, proizvod nema direktno rješenje za montažu ovih dodataka.

Izvedene su tri pozicije za montažu dodataka (*cold shoe* priključci 2 i 3 te kuka za vješanje dodataka) koje su odlične nosivosti, a sami *cold shoe* priključci su izvedeni prema standardu ISO 518:2006 prema kojem su izvedeni svi dodaci s *cold shoe* priključcima na tržištu. Stoga korisnik ima slobodu montirati mnogo različitih dodataka po želji. *Cold shoe* priključak 3 se također može iskoristiti za montažu nosača na tronožac tj. stativ.

Cijena nosača iznosi 44,63 € te uključuje cijenu utrošenog materijala za 3D tisak, držača i hvataljke pametnog telefona. U usporedbi s ostatkom tržišta, cijena je vrlo prihvatljiva obzirom na postignutu nosivost, stabilnost, praktičnost i modularnost proizvoda. Ovom cijenom nosač konkurira čak i hvataljkama s internetskih trgovina (potpoglavlje 2.1.4) koje općenito imaju manju nosivost i stabilnost te puno manju praktičnost i modularnost, a posebice konkurira skupljim postojećim rješenjima.

Na nosaču je izvedeno osam prolaza kako bi se korisniku omogućilo pomoćno vješanje tj. povezivanje tereta za nosač i nosača za ogradu po želji, što je vrlo zadovoljavajuće.

Prilikom oblikovanja (3D modela) nosača se zaoblilo što više bridova što pozitivno utječe na estetiku. Bridovi prolaza za pomoćno vješanje nosača prate konturu glavne plohe nosača, no kutovi istih prolaza svjesno nisu zaobljeni radi pojednostavljenja procesa 3D tiska, iako bi bilo estetičnije da jesu.

Istom metodologijom kao i u potpoglavljima 3.2.2 i 4.6 se u nastavku vrednuje konačni proizvod. U tablici 7.1 su ispisane ocjene dodijeljene nosaču The OG tvrtke Nexus Mount, kao postojećem rješenju koje je ostvarilo najveću apsolutnu vaganu dobrotu, ocjene dodijeljene pri prvom vrednovanju novog rješenja te ocjene koje se dodjeljuju konačnom novom rješenju proizvoda.

Tablica 7.1 Konačno vrednovanje novog rješenja

Kriterij	g_{ki}	Svojstvo	g_{si}	The OG		Prvo vrednovanje		Konačni proizvod	
				v_i	$g_{si} \cdot v_i$	v_i	$g_{si} \cdot v_i$	v_i	$g_{si} \cdot v_i$
Nosivost	0,15	masa tereta	0,150	4	0,600	3	0,450	4	0,600
Stabilnost	0,1	stabilno montiranje	0,075	1	0,075	2	0,150	3	0,225
		ublažavanje vibracija	0,025	1	0,025	1	0,025	2	0,050
Trajnost	0,1	male deformacije	0,027	4	0,108	2	0,054	4	0,108
		otpornost na sunčeve zrake	0,025	4	0,100	4	0,100	4	0,100
		otpornost na kišu/snijeg	0,015	3	0,045	4	0,060	2	0,030
		radni raspon temperatura	0,020	4	0,080	3	0,060	3	0,060
		lako održavanje	0,013	4	0,052	4	0,052	3	0,039
		kompatibilnost s različitim vrstama ograda	0,075	1	0,075	3	0,225	3	0,225
Praktičnost	0,2	lakoća montaže	0,035	2	0,070	3	0,105	4	0,140
		zaštita pametnog telefona od sunca/kiše	0,025	3	0,075	2	0,050	1	0,025
		kut zakretanja pametnog telefona	0,040	0	0,000	3	0,120	3	0,120
		male gabaritne mjere i masa	0,025	1	0,025	3	0,075	3	0,075
		pozicije za montažu dodataka	0,100	3	0,300	4	0,400	4	0,400
Modularnost	0,2	korištenje standardnih dijelova	0,050	1	0,050	2	0,100	4	0,200
		montaža nosača na tronožac	0,050	4	0,200	4	0,200	4	0,200
		trošak za krajnjeg korisnika	0,100	1	0,100	2	0,200	4	0,400
Sigurnost	0,1	osiguranje tereta	0,040	2	0,080	2	0,080	3	0,120
		osiguranje nosača	0,060	2	0,120	3	0,180	3	0,180
Estetika	0,05	dizajn	0,050	2	0,100	2	0,100	2	0,100
Σ	1		1						
Ukupna nevagana dobrota V				47		56		63	
Ukupna vagana dobrota V_g				2,2800		2,7860		3,3970	
Ukupna nevagana apsolutna dobrota V_{aps}				0,5875		0,7000		0,7875	
Ukupna vagana apsolutna dobrota V_{gaps}				0,5700		0,6965		0,8493	

Vrednovanjem konačnog rješenja i usporedbom ukupne vagane apsolutne dobrote s ranije provedenim vrednovanjima se zaključuje da je konstruiranje nastavljeno u dobrom smjeru u odnosu na početni koncept osmišljen u poglavlju 4 te da je novo rješenje bliže idealnom rješenju obzirom na postavljenu listu zahtjeva i želja u odnosu na sva analizirana postojeća rješenja. Visoka vrijednost apsolutne vagane dobrote upućuje na činjenicu da se u procesu konstruiranja korektno dala važnost onim zahtjevima koji su definirani kao najbitniji.

8. ZAKLJUČAK

Kroz ovaj diplomski rad se proveo konstrukcijski proces razvoja novog rješenja za montažu pametnih telefona i ostalih mobilnih uređaja na ograde i ostale slične konstrukcije na sportskim terenima.

Na temelju provedene analize tržišta je konstruiran nosač koji je u gotovo svim pogledima rješenje koje je bliže onom optimalnom u odnosu na postojeća rješenja na tržištu. Proizvod ima odličnu nosivost i stabilnost u predviđenim slučajevima upotrebe, a nudi i visoki stupanj praktičnosti i modularnosti što korisniku omogućuje montažu na različite vrste ograda sportskih terena i montažu velikog broja različitih dodataka ovisno o potrebi, a montaža cijelog sklopa koji je spreman za snimanje videozapisa je kratkotrajna i jednostavna. Zbog korištenog materijala je otporan na UV zračenje Sunca, na kišu i snijeg, može izvršavati funkciju u definiranom rasponu temperatura od 0 do 40 °C, a i vrlo lako se čisti od nečistoća. Osim toga, proizvod je niske cijene zbog čega je pristupačniji većem broju potencijalnih korisnika. U slučaju puknuća konstrukcije zbog preopterećenja ili zamora materijala, nosač se za samo cijenu utroška materijala može ponovno izraditi tehnologijom 3D tiska, a držač i hvataljka pametnog telefona se mogu montirati na novoizrađeni nosač, što je velika prednost u odnosu na postojeća rješenja. Transport nosača u sportskim torbama je jednostavan zbog njegove male mase i relativno malih gabaritnih dimenzija.

Proizvod se može dodatno unaprijediti daljnjim iterativnim optimiziranjem dimenzija, pozicija priključaka i ostalih konstrukcijskih detalja. Konstrukcija koja ne objedinjuje više načina montaže na različite vrste ograda može biti puno manjih dimenzija, a i dalje može pružati zadovoljavajuću nosivost i stabilnost. Stoga nosač konstruiran u ovom diplomskom radu može poslužiti kao temelj za jedno ovakvo konstrukcijsko rješenje na temelju kojeg se mogu izraditi različite varijantne i specijaliziranije izvedbe.

9. LITERATURA

- [1] HOOPS: „HOOPS“, s Interneta, <https://hoopsapp.com>, 17.7.2024.
- [2] Chua, J.: „Sports technology blog“, s Interneta, <https://sportstechnologyblog.com/2021/12/20/startup-spotlight-swingvision/>, 17.7.2024.
- [3] Uplift Labs: „Uplift Labs“, s Interneta, <https://www.uplift.ai/>, 17.7.2024.
- [4] LynkSpyder: „LynkSpyder“, s Interneta, <https://lynkspyder.com/>, 17.7.2024.
- [5] Nexus Mount: „Nexus Mount“, s Interneta, <https://thenexusmount.com/>, 17.7.2024.
- [6] Swing Vision: „Swing Vision“, s Interneta, <https://swing.tennis/shop/swing-stick-offer>, 17.7.2024.
- [7] Amazon: „Amazon“, s Interneta, https://www.amazon.com/Proanko-Mounting-Recording-Baseball-Aluminium/dp/B0CY5MTCXT/ref=sr_1_14?dib=eyJ2IjoiMSJ9.50oozMRR_jPec8gTt1JWXirpsfDXFBIGZL3NaOnbqIlfsvjsqPzkOMeTZZr1xtsm-4EYU9QtzZG4a06QTp7gJK0J3BypcSbJrLg_LJJW2KXSg8ANMHNzXc9Sys0waegGLWxMYh-z8JaF_OM, 17.7.2024.
- [8] Phone by Size: „Phone by Size“, s Interneta, <https://www.phonesbysize.com/>, 5.7.2024.
- [9] Anker: „Anker“, s Interneta, https://www.anker.com/products/a1277?variant=37437650665622&collections_under-3-phone-charges=undefined, 02.09.2024.
- [10] Anker: „Anker PowerCore 20100“, s Interneta, https://www.anker.com/products/a1271?variant=37436932554902&collections_under-3-phone-charges=undefined, 02.09.2024.
- [11] Amazon: „Amazon.com UGREEN Power Bank 20000 mAh 22.5 W“, s Interneta, https://www.amazon.de/-/en/External-Battery-Digital-Display-Compatible/dp/B0CSSRD4NT/ref=sr_1_6?crd=338E0003AE6RX&dib=eyJ2IjoiMSJ9.QBCUx9Uz_gMlhbMm64WWex5aGOPKOLk5tFfnunBz-8V9TnYfmPLGLzqkUbhMdKaS_78wBZR827sT41m4ak-_M3Y2TRugwTztkyi9iPALYaYXebDf00CedCkheiX, 02.09.2024.
- [12] Baseus EU: „Baseus Airpow Power Bank 20W 20000mAh“, s Interneta, <https://eu.baseus.com/products/airpow-power-bank-20w-20000mah?>, 02.09.2024.
- [13] Samsung: „Samsung“, s Interneta, <https://www.samsung.com/us/computing/memory-storage/portable-solid-state-drives/portable-ssd-t9-usb-3-2-gen2-2-tb-gray-mu-pk2t0g-ww/>, 02.09.2024.
- [14] Samsung: „Samsung“, s Interneta, <https://www.samsung.com/us/computing/memory-storage/portable-solid-state-drives/portable-ssd-t7-shield-usb-3-2-2tb-black-mu-pe2t0sam/#specs>, 02.09.2024.
- [15] Amazon: „Amazon.com“, s Interneta, <https://www.amazon.com/SanDisk-2TB-Extreme-Portable-SDSSDE81-2T00->

- G25/dp/B08GV4YYV7/ref=sr_1_1?crid=3SYHE2MB2YSPS&dib=eyJ2IjoiMSJ9.rZAFBntR-ip2oLth3-5SsFbBqz1ZVskGkqUHLRcOf0DRg-nUekW72KStp3oxc5kpZI5OixQI_OKUFDh0ZArpKENVV8MOFW628QqdExDijt3CVS zBlkz-fl5qpce, 02.09.2024.
- [16] Amazon: „Amazon.com”, s Interneta, https://www.amazon.com/WD_BLACK-1TB-Game-Drive-WDBAWY0010BBK-WESN/dp/B09ZRD38D8/ref=sr_1_1?crid=1FOQO82PO0VC0&dib=eyJ2IjoiMSJ9.47ir_iROMqwxFIUXbJWMGVwDfGhxuAHNBHZE0soHJOCVluJ5p75cgDoHAbeE9B-jxFtiYqiF701Rc9COILwVNBPPyZrKIr62D2V2uVla-XQGtKrk4CwWBFBkBXmn-3VC, 02.09.2024.
- [17] BambuLab: „BambuLab X1Carbon”, s Interneta, <https://eu.store.bambulab.com/products/x1-carbon>, 16.8.2024.
- [18] B. Križan, Materijali s predavanja kolegija „Metodičko konstruiranje i razvoj proizvoda”, Rijeka: Tehnički fakultet sveučilišta u Rijeci, 2014.
- [19] British Standards: „BS 1722-1:2006; Fences - Part 1: Specification for chain link”, British Standards, 2006.
- [20] Wire Fence: „Wire Fence”, s Interneta, <https://www.wirefence.co.uk/fencing/chain-link/>, 01.08.2024.
- [21] SmallRig: „Amazon”, s Interneta, <https://www.amazon.com/SMALLRIG-Adapter-Thread-Camera-Camcorder/dp/B00HJFBUCQ?th=1>, 02.08.2024.
- [22] ISO: „ISO 518:2006”, ISO, 2006.
- [23] P. Wallace Johnson i J. M. Blackstone: „Children and gender - Differences in exposure and how anthropometric differences can be incorporated into the design of computer input devices”, Scandinavian Journal of Work, Environment and Health, br. 3, pp. 26-32, 2007.
- [24] Simplify3D: „Simplify3D”, s Interneta, <https://www.simplify3d.com/resources/materials-guide/>, 15.08.2024.
- [25] BambuLab: „BambuLab”, s Interneta, <https://store.bambulab.com/collections/bambu-lab-3d-printer-filament/products/pla-basic-filament?skr=yes>, 15.8.2024.
- [26] BambuLab: „BambuLab”, s Interneta, <https://store.bambulab.com/collections/petg/products/petg-basic>, 15.8.2024.
- [27] BambuLab: „BambuLab”, s Interneta, <https://store.bambulab.com/collections/asa-abs/products/abs-filament>, 15.8.2024.
- [28] BambuLab: „BambuLab ASA filament”, s Interneta, <https://eu.store.bambulab.com/en-hr/collections/asa-abs/products/asa-filament>, 15.8.2024.
- [29] BambuLab: „Bambu Filament Technical Data Sheet V3.0: PLA Basic”, BambuLab.
- [30] BambuLab: „Bambu Filament Technical Data Sheet V3.0: PETG Basic”, BambuLab.
- [31] BambuLab: „Bambu Filament Technical Data Sheet V3.0: ABS”, BambuLab.

- [32] BambuLab: „Bambu Filament Technical Data Sheet V3.0: ASA", BambuLab.
- [33] BambuLab: „Bambu Filament Technical Data Sheet V1.0: ASA Aero", BambuLab.
- [34] prizma-foto: „Manfrotto LYKOS", s Interneta, https://prizma-foto.hr/hr/products/manfrotto-lykos-kuglasta-glava-sa-hot-shoe-nastavkom-r109831?_pos=13&_sid=66f35612b&_ss=r, 16.09.2024.
- [35] prizma-foto: „Fomei LS", s Interneta, https://prizma-foto.hr/hr/products/copy-of-manfrotto-lykos-kuglasta-glava-sa-hot-shoe-nastavkom-r109831?_pos=22&_sid=66f35612b&_ss=r, 16.09.2024.
- [36] Aviteh: „SmallRig 761", s Interneta, <https://www.aviteh.hr/smallrig-1-4-camera-hot-shoe-mount-w-additional-1-4-screw-761.html>, 16.09.2024.
- [37] Aviteh: „Leofoto, MBH-19", s Interneta, <https://www.aviteh.hr/leofoto-mbh-19-ballhead.html>, 16.09.2024.
- [38] Aviteh: „Aviteh SmallRig 4382", s Interneta, <https://www.aviteh.hr/smallrig-metal-phone-holder-with-cold-shoe-mount-4382.html>, 17.09.2024.
- [39] Aviteh: „Aviteh Leofoto PC-90", s Interneta, <https://www.aviteh.hr/leofoto-pc-90-phone-holder.html>, 17.09.2024.
- [40] Aviteh: „Aviteh Bresser BR-140", s Interneta, <https://www.aviteh.hr/bresser-br-140-mobile-phone-holder.html>, 17.09.2024.
- [41] Prizma foto: „Prizma foto Manfrotto MCPIXI", s Interneta, <https://prizma-foto.hr/hr/collections/smartphone-pribor/products/manfrotto-pixi-universal-clamp-mcpixi-drzac-mobitela>, 17.09.2024.
- [42] SmallRig: „SmallRig Universal Holder for External SSD", s Interneta, <https://www.smallrig.com/smallrig-universal-holder-for-external-ssd-bsh2343.html>, 20.09.2024.
- [43] Kondor Blue: „Kondor Blue Universal SSD Holder for External Recording", s Interneta, https://kondorblue.com/products/t5-ssd-holder-for-bmpcc-4k-6k-z-cam-cages?srsltid=AfmBOopzm7f7knMgNXSrsNwEm3FKDeBE-7zJko3K4CfC-YVY4k-Yyz_d, 20.09.2024.
- [44] Neewer: „Neewer UA035", s Interneta, <https://neewer.com/products/neewer-ua035-mount-bracket-ssd-holder-66603376>, 20.09.2024.
- [45] B. Redwood, F. Schöffner i B. Garret: „The 3D Printing Handbook", 3D Hubs B.V., 2017.
- [46] Wikifactory: „Wikifactory - Ultimate Guide: How to design for 3D Printing", s Interneta, <https://wikifactory.com/+wikifactory/stories/ultimate-guide-how-to-design-for-3d-printing>, 20.10.2024.
- [47] M. Tyson: „3D Printing Solutions - Advanced guide to printing ASA Filament", s Interneta, <https://www.3dprintingsolutions.com.au/User-Guides/how-to-3d-print-asa-filament>, 21.10.2024.
- [48] A. Pandžić i D. Hodžić: „Tensile Mechanical Properties Comparison of PETG, ASA and PLA-Strongman FDM Printed Materials With and Without Infill Structure", u

- Proceedings of the 33rd International DAAAM Symposium 2022, DAAAM International, 2022, pp. 221-230.
- [49] MatWeb: „MatWeb - Overview of materials for Polycarbonate/ASA Alloy, Unreinforced", s Interneta, <https://www.matweb.com/search/datasheettext.aspx?matguid=99370cc98ea74464a72481d4289db059>, 20.10.2024.
- [50] T. Vukasovic, D. Celentano, C. M. Garcia-Herrer i J. F. Vivanvo: „Characterization of the mechanical response of thermoplastic parts fabricated with 3D printing", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, svez. 104, pp. 1-12, 2019.
- [51] Bambu Lab: „Bambu Lab Wiki: Filament & plate compatibility and parameter settings", s Interneta, <https://wiki.bambulab.com/en/x1/manual/compatibility-and-parameter-settings-of-filaments>, 27.10.2024.
- [52] J. Kananathan, S. Mahendran, K. Kadirgama, R. Devarajan i M. Rahman: „Comprehensive investigation and prediction model for mechanical properties of coconut wood–polylactic acid composites filaments for FDM 3D printing", *European Journal of Wood and Wood Products*, svez. 80, p. 5, 2022.
- [53] S. S. Ambati i R. Ambatipudi: „Effect of infill density and infill pattern on the mechanical properties of 3D printed PLA parts", *Materials Today: Proceedings*, svez. 64, br. 1, pp. 804-807, 2022.
- [54] M. Rismalia, S. C. Hidajat, I. G. R. Permana i B. Hadisujoto: „Infill pattern and density effects on the tensile properties of 3D printed PLA material", *Journal of Physics: Conference Series*, svez. 1402, br. 4, 2019.
- [55] AzureFilm: „AzureFilma - ASA filament White", s Interneta, <https://azurefilm.com/product/asa-filament-white/>, 21.10.2024.

10. POPIS KRATICA

<i>Kratika</i>	<i>Značenje</i>	<i>Prijevod i opis</i>
CAD	Computer-aided design	Oblikovanje pomoću računala
SSD	Solid state drive	Uređaj za pohranu podataka
MKE	Metoda konačnih elemenata	Numerička metoda za rješavanje parcijalnih diferencijalnih jednažbi

11. POPIS SLIKA

<i>Slika 1.1</i> Primjeri nosača pametnog telefona	2
<i>Slika 1.2</i> Primjeri hvataljke pametnog telefona	3
<i>Slika 1.3</i> Primjer držača pametnog telefona/kamere	3
<i>Slika 1.4</i> Primjer žičane ograde (lijevo) i ograde (desno)	4
<i>Slika 1.5</i> Primjer mrežaste pregrade	4
<i>Slika 2.1</i> HOOPS aplikacija za analizu košarkaške igre [1]	5
<i>Slika 2.2</i> SwingVision aplikacija za analizu teniskih mečeva [2]	6
<i>Slika 2.3</i> Uplift Labs aplikacija za analizu kinematike tijela pri igranju golfa i bejzbola [3]	6
<i>Slika 2.4</i> Preporuke za montažu pametnog telefona (slika zaslona iz aplikacije SwingVision)	7
<i>Slika 2.5</i> LynkSpyder [4]	9
<i>Slika 2.6</i> Nexus Mount The OG [5]	10
<i>Slika 2.7</i> Swing Stick [6]	12
<i>Slika 2.8</i> Hvataljke za ogradu [7]	13
<i>Slika 4.1</i> Skica prve verzije koncepta, nacrt i bokocrt	27
<i>Slika 4.2</i> Skica druge verzije koncepta, nacrt i bokocrt	28
<i>Slika 4.3</i> Mjerena poprečna cijev ograde javnog sportskog igrališta	29
<i>Slika 4.4</i> Standardne i usvojene dimenzije žičane (chain link) ograde [20]	30
<i>Slika 4.5</i> Pojednostavljeni prikaz žičane ograde	31
<i>Slika 4.6</i> Gabaritne dimenzije nosača s odabranim kvadratima za vješanje	32
<i>Slika 4.7</i> Razmaci između dodirnih točaka kuka s ogradom	32
<i>Slika 4.8</i> Skica poprečnog presjeka kuke	33
<i>Slika 4.9</i> Poprečni presjek jedne glavne kuke nosača	34
<i>Slika 4.10</i> Promjer kružnice i kut kružnog luka kuke	34
<i>Slika 4.11</i> Pretpostavljeni načini montiranja nosača ovisno o izvedbi ograde	35
<i>Slika 4.12</i> Dimenzije pomoćne kuke	36
<i>Slika 4.13</i> Prolazi za pomoćno vješanje i povezivanje	37
<i>Slika 4.14</i> Cold shoe (lijevo) i hot shoe priključak (desno) [21]	38
<i>Slika 4.15</i> Dimenzije cold shoe priključka prema ISO 518:2006 [22]	39
<i>Slika 4.16</i> Skica presjeka vijčanog cold shoe spoja	39
<i>Slika 4.17</i> Cold shoe priključci za montažu	40
<i>Slika 4.18</i> Dodatan cold shoe priključak	41
<i>Slika 4.19</i> Kuka za vješanje dodataka	41

<i>Slika 4.20 Odabrani držač pametnog telefona SmallRig 761 [36]</i>	46
<i>Slika 4.21 Odabrana hvataljka pametnog telefona Leofoto PC-90 [39]</i>	47
<i>Slika 4.22 SmallRig hvataljka za SSD uređaj montirana na cold shoe priključak kamere</i>	48
<i>Slika 5.1 Skica nosača s označenim glavnim dijelovima</i>	53
<i>Slika 5.2 Prvi 3D model nosača, izometrijski prikaz</i>	54
<i>Slika 5.3 Prvi 3D model nosača, nacrt i bokocrt</i>	54
<i>Slika 5.4 Gabaritne dimenzije modela</i>	55
<i>Slika 5.5 Promjer glavnih kuka i nagib glavne plohe nosača</i>	56
<i>Slika 5.6 Dimenzije pomoćne kuke za vješanje</i>	57
<i>Slika 5.7 Prolazi na nosaču, nacrt (lijevo) i pogled straga (desno)</i>	58
<i>Slika 5.8 Pozicije cold shoe priključaka</i>	59
<i>Slika 5.9 Preporučljiv smjer opterećenja (lijevo) u odnosu na slojeve 3D tiskanog dijela [45]</i> ..	59
<i>Slika 5.10 Smjer tiskanja i položaj podloge 3D pisača</i>	60
<i>Slika 5.11 Dimenzije modeliranog cold shoe profila naspram dimenzija prema ISO 518:2006</i> ..	61
<i>Slika 5.12 Drugi 3D model nosača, nacrt i bokocrt</i>	61
<i>Slika 5.13 Kutovi koji se neće zaobljavati</i>	62
<i>Slika 5.14 Moment na postolje u dva različita načina montaže nosača</i>	63
<i>Slika 5.15 Dijagram ovisnosti modula elastičnosti ispitnog uzorka AzureFilm ASA materijala o postotku ispune</i>	65
<i>Slika 5.16 Dijagram ovisnosti vlačne čvrstoće ispitnog uzorka AzureFilm ASA materijala o postotku ispune</i>	65
<i>Slika 5.17 Postavljena mehanička svojstva materijala u računalnom paketu Autodesk Inventor</i>	66
<i>Slika 5.18 Plohe s ograničenim slobodama gibanja</i>	67
<i>Slika 5.19 Položaj i smjer sila</i>	69
<i>Slika 5.20 Ekvivalentna naprezanja prema Von Misesu na postolju za montažu</i>	70
<i>Slika 5.21 Prvo glavno naprezanje na postolju za montažu</i>	70
<i>Slika 5.22 Faktor sigurnosti na postolju za montažu</i>	71
<i>Slika 5.23 Deformacija postolja za montažu</i>	71
<i>Slika 5.24 Položaj i smjer sile na pomoćnoj kuki</i>	72
<i>Slika 5.25 Ekvivalentna naprezanja prema Von Misesu na pomoćnoj kuki</i>	73
<i>Slika 5.26 Prvo glavno naprezanje na pomoćnoj kuki</i>	73
<i>Slika 5.27 Faktor sigurnosti na pomoćnoj kuki</i>	75
<i>Slika 5.28 Deformacija pomoćne kuke</i>	75
<i>Slika 5.29 Plohe s ograničenim slobodama gibanja</i>	77
<i>Slika 5.30 Ekvivalentna naprezanja prema Von Misesu u cijelom nosaču</i>	77

<i>Slika 5.31 Ostala bitnija naprezanja prema Von Misesu u cijelom nosaču.....</i>	<i>78</i>
<i>Slika 5.32 Prva glavna naprezanja u cijelom nosaču.....</i>	<i>79</i>
<i>Slika 5.33 Najveće prvo glavno naprezanje u cijelom nosaču.....</i>	<i>79</i>
<i>Slika 5.34 Najveće treće glavno naprezanje u cijelom nosaču.....</i>	<i>80</i>
<i>Slika 5.35 Faktor sigurnosti u cijelom nosaču.....</i>	<i>81</i>
<i>Slika 5.36 Deformacija cijelog nosača.....</i>	<i>81</i>
<i>Slika 5.37 Dimenzije za parametarsku optimizaciju modela.....</i>	<i>83</i>
<i>Slika 5.38 Najmanje i najveće dimenzije optimizacijskog modela.....</i>	<i>84</i>
<i>Slika 5.39 Rezultat 1: ekvivalentna naprezanja prema Von Misesu.....</i>	<i>85</i>
<i>Slika 5.40 Rezultat 1: deformacije.....</i>	<i>85</i>
<i>Slika 5.41 Rezultat 2: ekvivalentna naprezanja prema Von Misesu.....</i>	<i>86</i>
<i>Slika 5.42 Rezultat 2: deformacije.....</i>	<i>87</i>
<i>Slika 5.43 Rezultat 3: ekvivalentna naprezanja prema Von Misesu.....</i>	<i>88</i>
<i>Slika 5.44 Rezultat 3: deformacije.....</i>	<i>88</i>
<i>Slika 5.45 Deformacija u ovisnosti o debljini nosača, pri debljini postolja 8 mm.....</i>	<i>90</i>
<i>Slika 5.46 Deformacija u ovisnosti o debljini nosača, pri debljini postolja 10 mm.....</i>	<i>90</i>
<i>Slika 5.47 Ekvivalentna naprezanja prema Von Misesu kod optimiziranog modela.....</i>	<i>91</i>
<i>Slika 5.48 Prva glavna naprezanja kod optimiziranog modela.....</i>	<i>91</i>
<i>Slika 5.49 Najveće treće glavno naprezanje kod optimiziranog modela.....</i>	<i>92</i>
<i>Slika 5.50 Deformacije kod optimiziranog modela.....</i>	<i>92</i>
<i>Slika 5.51 Faktor sigurnosti kod optimiziranog modela.....</i>	<i>93</i>
<i>Slika 5.52 Modelirana orebrenja.....</i>	<i>95</i>
<i>Slika 5.53 Prva glavna naprezanja na pomoćnoj kuki.....</i>	<i>95</i>
<i>Slika 5.54 Treća glavna naprezanja na pomoćnoj kuki.....</i>	<i>96</i>
<i>Slika 6.1 Sliceani model (narančasto) s potporama (zeleno) u Bambu Studiju.....</i>	<i>99</i>
<i>Slika 6.2 Količina potrošenog materijala i vremena potrebnog za 3D tisak.....</i>	<i>100</i>
<i>Slika 6.3 Izrađeni nosač s potporama na podlozi 3D pisača.....</i>	<i>101</i>
<i>Slika 7.1 Izrađeni nosač.....</i>	<i>102</i>
<i>Slika 7.2 Koraci montiranja pametnog telefona na nosač.....</i>	<i>103</i>
<i>Slika 7.3 Nosač montiran na poprečnu cijev ograde igrališta.....</i>	<i>104</i>
<i>Slika 7.4 Sličica iz video isječka pri montaži na poprečnu cijev ograde igrališta.....</i>	<i>105</i>
<i>Slika 7.5 Nosač montiran na žičanu ogradu igrališta.....</i>	<i>106</i>
<i>Slika 7.6 Sličica iz video isječka pri montaži na žičanoj ogradi igrališta.....</i>	<i>107</i>

12. POPIS TABLICA

<i>Tablica 3.1 Mase pametnih telefona na tržištu [8]</i>	15
<i>Tablica 3.2 Mase prenosivih baterija na tržištu</i>	15
<i>Tablica 3.3 Mase prenosivih SSD uređaja na tržištu</i>	15
<i>Tablica 3.4 Lista zahtjeva</i>	18
<i>Tablica 3.5 Lista želja</i>	19
<i>Tablica 3.6 Opis svojstava i pripadajući bodovi [18]</i>	22
<i>Tablica 3.7 Vrednovanje postojećih rješenja</i>	24
<i>Tablica 4.1 Rezultati provedenih mjerenja ograda javnih igrališta</i>	29
<i>Tablica 4.2 Prednosti i nedostaci najčešće korištenih materijala pri 3D tisku</i>	42
<i>Tablica 4.3 Mehanička svojstva materijala za 3D tisak [29], [30], [31], [32], [33]</i>	43
<i>Tablica 4.4 Fizikalna i kemijska svojstva materijala za 3D tisak [29], [30], [31], [32], [33]</i>	44
<i>Tablica 4.5 Glavne karakteristike nekoliko držača za kamere na tržištu</i>	45
<i>Tablica 4.6 Glavne karakteristike hvataljki pametnih telefona na tržištu</i>	46
<i>Tablica 4.7 Glavne karakteristike hvataljki za SSD uređaje na tržištu</i>	47
<i>Tablica 4.8 Prvo vrednovanje novog rješenja</i>	52
<i>Tablica 5.1 Mehanička svojstva Bambu Lab i AzureFilm ASA materijala [32], [48]</i>	64
<i>Tablica 5.2 Modul elastičnosti i vlačna čvrstoća AzureFilm ASA materijala [48]</i>	65
<i>Tablica 5.3 Vrijednosti varijabli za dane rezultate analize</i>	84
<i>Tablica 5.4 Najveće vrijednosti naprezanja i deformacije u dobivenim rezultatima</i>	89
<i>Tablica 5.5 Usporedba naprezanja između modela sa i bez orebrenja na pomoćnoj kuki</i>	96
<i>Tablica 7.1 Konačno vrednovanje novog rješenja</i>	110

13. SAŽETAK

Ovaj diplomski rad se bavi razvojem koncepta i konstrukcije nosača za pametne telefone i slične mobilne uređaje s mogućnosti snimanja videozapisa u svrhu montaže istih na ograde sportskih terena. Analizirana su postojeća rješenja na tržištu i identificirani su njihovi najveći nedostaci, a na temelju analize se izradila lista zahtjeva za novi proizvod. Osmišljen je koncept novog rješenja koji se razradio s pažnjom na zadane kriterije i zahtjeve, a zatim je izrađen 3D model u CAD računalnom paketu na kojem se provela numerička analiza metodom konačnih elemenata. Model je optimiziran i usvojene su konačne dimenzije, a zatim se nosač izradio tehnologijom 3D tiska. Izrađeni nosač je testiran u praksi radi uvida u moguće nedostatke, a zatim se na temelju svih saznanja provelo vrednovanje konačnog rješenja.

Ključne riječi:

nosač pametnog telefona, videokamera, sport, sportski teren, ograda, lista zahtjeva, vrednovanje, konstruiranje, faze konstruiranja, metodičko konstruiranje, koncipiranje, CAD konstruiranje, numerička analiza, metoda konačnih elemenata, optimizacija, 3D tisak

14. SUMMARY

This master's thesis focuses on the development and detailed design of a fence mount for smartphones and similar mobile devices with the capability of video recording, intended for mounting on sports field fences. Existing market solutions were analyzed and their main shortcomings were identified, based on which a requirements list was created. A new concept was designed, carefully considering the specified criteria and requirements, which was followed by 3D modelling using CAD software. A numerical analysis using finite element method was conducted on the model. The 3D model was then optimized, and final dimensions were adopted, after which the fence mount was manufactured using 3D printing technology. The manufactured mount was tested in real conditions in order to identify potential shortcomings. A technical evaluation of the final product was carried out based on the gathered insights.

Keywords:

smartphone fence mount, camera, sport, sports field, fence, requirement list, evaluation, design, engineering design process, methodical design, conceptualization, CAD, numerical analysis, finite element method, optimization, 3D print