

# Konstrukce brýlí pro rozšířenou realitu

Jan Soukal, David Kovanda

ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav přístrojové a řídicí techniky, Technická 4, 166 07 Praha 6, Česká republika

## Abstrakt

Článek se zabývá konstrukcí brýlí pro rozšířenou realitu. Tyto brýle jsou vyvinuty jako pomůcka pro sluchově postižené a mapují zvukové jevy kolem uživatele, které vizualizují před oči samotného uživatele. V článku jsou popsány základní předpoklady pro správnou konstrukci a je zde zpracována optická toleranční analýza, která určuje výrobní přesnosti, za kterých je samotný princip rozšířené reality funkční. Dalšími parametry je dobrá ergonomie při běžném nošení, kde je samotná pohodlnost a váha celého zařízení také velmi důležitá. Na základě těchto požadavků je zde popsán výběr samotné výrobní technologie a popis samotné konstrukce. Poslední kapitolou jsou FEM výpočty, které simulují běžné stavy, které mohou během nošení nastat.

*Klíčová slova:* chytré brýle; rozšířená realita; konstrukce; 3D tisk

## 1. Úvod

V posledních letech je pojem rozšířená realita stále více skloňovanější slovo. Jedná se o technologii, která ještě není moc rozšířená, ale skrývá v sobě velký potenciál. V principu jde o doplnění vjemu z reálného světa o další digitální informace a virtuální grafické prvky.

Jedním z průkopníků v oblasti chytrých brýlí je společnost Google, která před několika lety přinesla na trh své řešení Google Glass. Jedním z důvodů, proč se chytré brýle úplně neujaly, je jejich vysoká cena. Proto se snažíme v našem řešení tento faktor minimalizovat, abychom je zpřístupnili širší veřejnosti. Dostupnost je pro nás primární požadavek, neboť naše chytré brýle slouží jako zdravotní pomůcka pro lidi s poruchou či úplnou ztrátou sluchu. Těchto handicapovaných lidí je v České republice téměř půl milionu. Z toho 7 600 osob je zcela hluchých. [1],[2]

Protože znakovou řeč ovládá přibližně 0,08 % populace a další metody dorozumívání jako je např. metoda odezírání řeči nejsou moc spolehlivé a snadné, vznikají různé projekty pro identifikaci a převod řeči na text. Nejčastěji se ale výstupy zobrazují na obrazovky počítačů a mobilních telefonů. Tento výstup není pro běžný život člověka s handicapem příliš pohodlný.

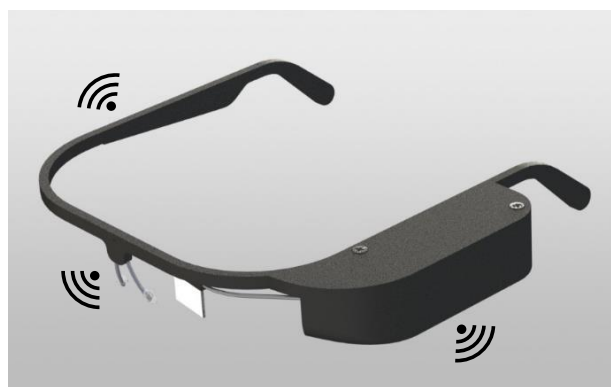
A právě využití rozšířené reality a její implementování do brýlí jsme se rozhodli z toho důvodu, že člověk může udržet oční kontakt s okolním světem, mít volné ruce a konat běžnou práci. S pomocí zabudovaných mikrofonů se analyzuje okolní zvuk a na displeji informuje uživatele o směru jeho šíření, nebo zobrazuje převedenou řeč na text. Může tak kromě zlepšení komunikace s druhými upozorňovat na jedoucí auto, troubení klaksonu či jiné varovné signály.

## 2. Základní rozvaha

Naším cílem bylo navrhnout jednoduchou pomůcku pro neslyšící, která by využívala princip rozšířené reality.

Pro správnou funkci musí konstrukce splňovat předepsané výrobní tolerance a tolerance uložení, na které je především citlivá zobrazovací část řešení. S tímto problémem přímo souvisí několik dalších faktorů, kterými jsou např. volba výrobní technologie, cena produktu nebo použitý materiál. Vycházíme z předpokladu, že požadovaný počet brýlí je 100 ks. Je jasné, že to, jestli se pomůcka uchytí, závisí také na ceně, ke které přihlížíme v našich úvahách. Vždy jsme však pečlivě vážili, kde se šetřit vyplatí.

Konstrukce musí vydržet všechna zatížení vzniklá při běžném používání. Také jsme se zaměřili na extrémní podmínky např. při pádu pomůcky, kterým musí brýle také odolat.



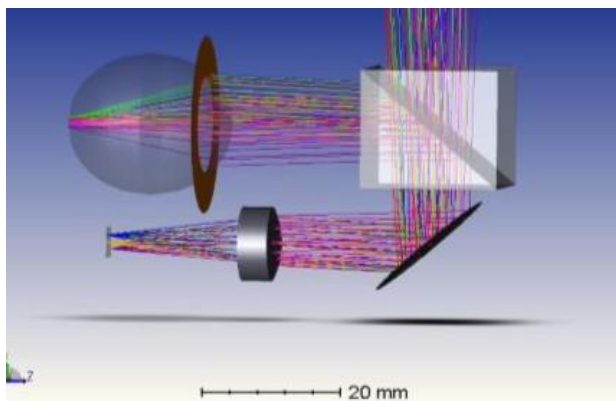
Obr. 1. Konceptní návrh brýlí

Vstupní zvukové signály jsou detekovány pomocí trojice mikrofonů umístěných zrcadlově v nožičkách a v čele brýlí. Identifikace směru, odkud se zvuk šíří, je založena na měření časového rozdílu, kdy jeden zvukový podnět zaznamenají postupně všechny 3 mikrofony s určitým časovým zpožděním. Zároveň se snažíme, aby brýle představovali platformu, která může plnit nejen současné požadavky, ale aby byla schopna čelit novým požadavkům a dalšímu SW vývoji. Především se jedná o zapojení komunikace s mobilním telefonem technologií Bluetooth. Možnými variantami jsou třeba

navigace kurčitému cíli za pomoci GPS dat, zobrazování mobilních notifikací nebo třeba převod řeči na text.

### 3. Optická analýza

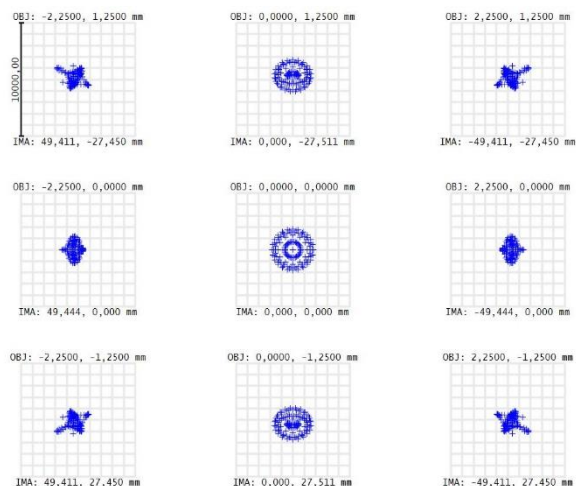
Samotnou konstrukci ovlivňují především tolerance uložení zobrazovací soustavy, která zprostředkovává vjem rozšířené reality. Samotná zobrazovací soustava je zobrazena na obr. 2. a skládá se z displeje KOPIN o uhlopříčce 0,2 palce, který má rozlišení 428 x 240 pixelů, dále je obraz promítán pomocí asferického dubletu, který zvětšuje a má ohniskovou vzdálenost 25 mm. Jeho předměťová vzdálenost od displeje je vypočtena na dvaceti násobné zvětšení, při obrazové vzdálenosti 500 mm. Poslední člen v této soustavě je polopropustné sklo, které obraz promítá na sítnici oka.



Obr. 5. Optická soustava v programu Zemax [1]

Kvalita výsledného obrazu je závislá na přesnosti uložení všech optických členů soustavy, proto jsme se rozhodli provést toleranční analýzu, abychom zvolili správnou technologii výroby, která nám zaručí kvalitní obraz. Analýzu provádíme pomocí programu Zemax, ve kterém provádíme sekvenční analýzu paprsku pro analýzu optických vad. Výsledky těchto simulací prezentujeme pomocí spot diagramu, který ukazuje výsledný spot, který je výsledkem trasování paprsků bodu předmětu. Z diagramu pak můžeme určit velikost spotu v obraze a aberace, které má výsledný obraz. Na obr. 3 vidíme spot diagram ideálního stavu, kde RMS poloměr je odmocnina z průměru kvadrátů vzdáleností bodů od referenčního paprsku. GEO radius nám určuje pouze informaci o vzdálenosti jednoho paprsku, který je nejvzdálenější od referenčního paprsku. Pro nás je tedy důležitější hodnota RMS, která nám dává větší představu o šíření všech paprsků.

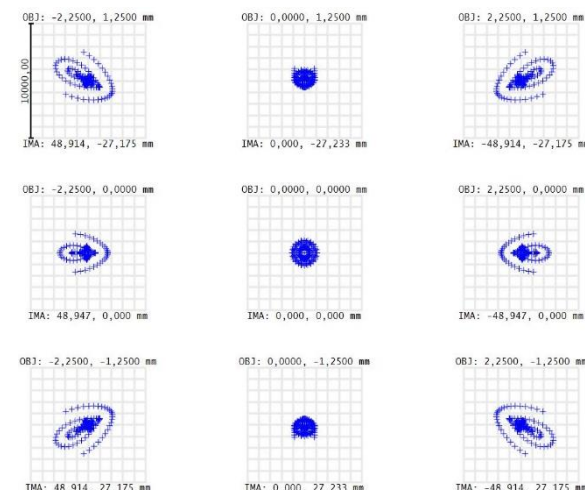
Samotný displej je zde prezentován pomocí 9 bodů. Jedná se o krajní body displeje a jeden středový bod. Je zde vidět, že RMS je průměrně 1 mm. Pro toleranci jsme zvolili  $\pm 0,1$  mm, což odpovídá třídě přesnosti f u délkových rozměrů pro délku vedení 6 – 30 mm, což je délka optické soustavy. Na základě této úvahy jsme provedli posunutí předmětové vzdálenosti  $\pm 0,1$  mm a naklonění čočky o  $1^\circ$ . Výsledky jsou opět prezentovány pomocí spot diagramů. Při posunutí dubletu o +0,1 mm dopředu nedochází k tak velkým rozdílům od výchozího



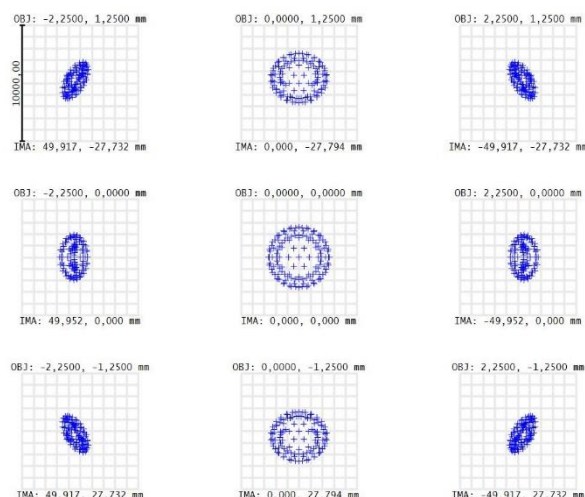
Obr. 2. Zobrazení ideálního uložení dubletu do optické osy

stavu. Jen okraje displeje mají větší RMS (obr. 4). Pokud posuneme předmětovou vzdálenost o  $-0,1$  mm, projeví se velká otvorová vada a RMS se zvětší v průměru na 2 mm (obr.5). Poslední stav je naklonění čočky, který je zobrazen na obr. 6. a průměrné RMS je 2 mm.

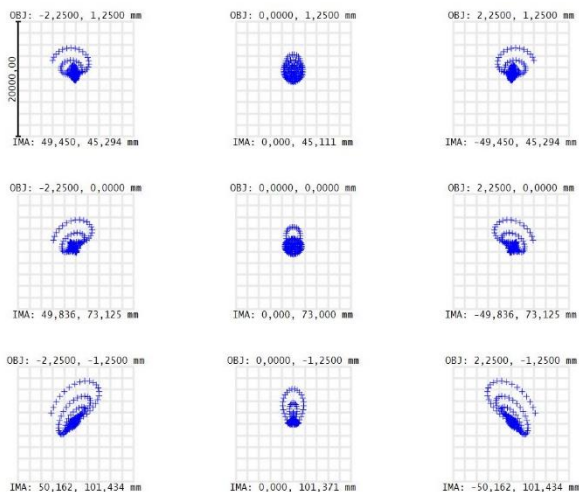
Z této analýzy je patrné, že uložení optických členů má velký vliv na kvalitu zprostředkovaného obrazu, protože v důsledku nepřesností se zvětšují aberace a obraz se rozostřuje.



Obr. 3. Posunutí dubletu o +0,1 mm na optické ose



Obr. 4. Posunutí dubletu o -0,1 mm na optické ose



Obr. 6. Natočení dubletu o 1° vzhledem k optické ose

## 4. Konstrukce

Největší pozornost jsme soustředili na správný návrh konstrukce, která by vyhovovala již zmíněným požadavkům. Jedním z hlavních vlivů na samotnou konstrukci je technologie výroby pomůcky a ta souvisí s volbou materiálu. Jako první uvedeme rozvahu nad stanovením materiálu.

### 4.1 Volba materiálu

Brýle pro rozšířenou realitu jsou určeny pro každodenní použití. Zároveň se musí zohlednit i jejich umístění na nose při používání. Pro běžné používání musí vykazovat dostatečnou pevnost. Jedná se o relativně malý předmět, který lze snadno shodit ze stolu, na kterém jsou položeny, nebo při nešikovné manipulaci mohou spadnout z výšky úrovně očí. Při uchycení za jednu nožičku musí vydržet ohyb způsobený vlastní hmotností protilehlé strany. Kromě pevnostní podmínky je tu další omezení, a to ze strany hmotnosti. Při nošení by brýle neměly tlačit, a tak způsobovat nepohodlí, pro které by je uživatel přestal používat. Dále musíme počítat s tím, že uvnitř brýlí bude elektronika, a tedy musíme zajistit uchycení vnitřního vybavení do nevodivých materiálů. Dalším nechtěným jevem, který by mohl v konstrukci nastat, je případný elektrostatický náboj. Ten by mohl způsobit nechtěné komplikace.

Ze stanovených požadavků jsme museli zamítnout materiály ze skupiny kovů, neboť mají velikou hmotnost a jsou vodivé, byť by pevnostně vyhověly, ale i materiály keramické a skleněné.

Za těchto podmínek jsme vyhodnotili jako nejlepší materiál plast, ale z důvodu vyšších požadavků na přesnost uložení optických členů a možnosti konstruování ostríčího mechanismu, jsme zvolili i kovové pouzdro, které bude pouze v oblasti uložení čočky.

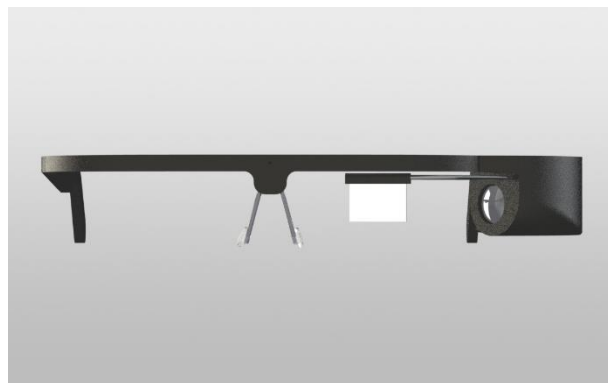
Tabulka 1. Přehled vlastností materiálu PLA [3]

Vlastnosti	PLA
Teplota trysky (°C)	180 – 230
Teplota podložky (°C)	20 - 60
Přilnutí první vrstvy	Dobré
Modul pružnosti (GPa)	4
Pevnost v ohybu (MPa)	80
Pevnost v tahu (MPa)	110

## 4.2 Technologie výroby

Výroba plastových součástek je možná několika způsoby. Jednou z nejrozšířenějších technologií je vstřikování plastů. Jedná se o technologii, při které roztavený granulát vstřikujeme do formy za působení vysokého tlaku. Tato technologie je poměrně finančně náročná záležitost a vyplatí se pro větší sériový počet kusů, mezi které se rozpočítá vysoká výrobní cena. Ta se pohybuje dle složitosti od desítek tisíc Kč až po několikaset tisícové položky. Přesnost výlisků je především dána přesností formy. Vstřikování se tedy pro náš případ vytvoření prototypu nehodí.

Další metodou je poměrně mladý, za to rychle se rozvíjející se obor – 3D tisk. Používají se 4 základní technologie: FDM – fusiondeposition modeling, SLA – stereolytografie, SLS – selective laser sintering, DMLS – direct metal laser sintering. [4]



Obr. 7. Přední pohled brýlí

Ve škole je k dispozici tiskárna s technologií FDM. Ta pracuje na principu nanášení tenkých vrstev roztaveného filamentu na sebe. Tím vzniká charakteristické vroubkování povrchu tištěného dílu a je dosažováno přesnosti kolem 0,1 mm. [5] Obecně patří 3D tisk do skupiny technologií označovaných jako rapid prototyping. Charakteristickým společným znakem je to, že se materiál neodebírá z polotovaru s cílem získat požadovaný tvar, ani přidáním materiálu najednou (odlévání).

Finanční stránka 3D tisku je velice příhodná, protože v porovnání s výše uvedeným vstřikováním jsou náklady minimální a dostupné. Tedy tato technologie vyhovuje našim požadavkům při plánování kusové výroby, cenové

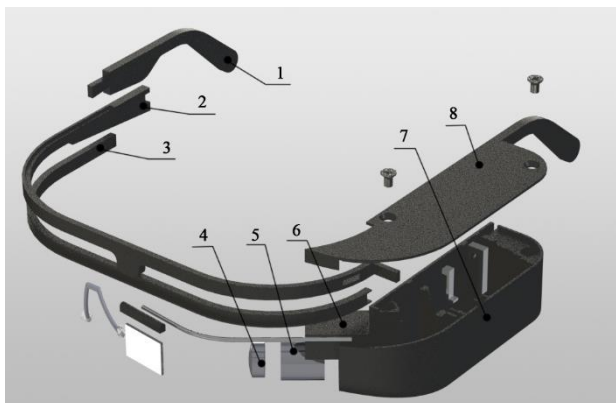
dostupnosti. Zároveň jsme museli mít na paměti omezení a úskalí při tvorbě konstrukce.

Protože paleta nabízených materiálů je poměrně bohatá, testovali jsme, jaký materiál se nejlépe tiskne. Zvolili jsme PLA a model podrobili pevnostní analýze.

### 4.3 Konstrukční řešení

V konstrukci brýlí jsme se inspirovali designem již existujících modelů chytrých brýlí. Zásadní volbou je uložení elektroniky do těla nožičky. K tomuto řešení jsme se přiklonili hlavně proto, že již není potřeba žádná další případná krabička pro elektroniku, která je podle nás nepraktická. Dále jsme rozhodli, že k tomuto účelu využijeme pouze levou nožičku. Neboť v případě rozložení HW do obou nožiček by se nám rozměr brýlí zvětšil a designově by toto řešení nebylo vyhovující.

Základní rozměry jsme volili s ohledem na různé velikosti hlavy, tedy jsme se drželi průměrné velikosti obyčejných slunečních a dioptrických brýlí, které jsou na trhu. Vzdálenost vnitřních stěn nožiček je 140 mm a délka nožiček je 165 mm. Brýle jsou modulární a skládají se z 8 základních dílů, kterými lze případnou



Obr. 8. Rozložená soustava brýlí

velikost brýlí modifikovat. Při návrhu konstrukce jsme kladli velký důraz na design, ergonomii a funkčnost.

Pravá nožička je tvarově zasunuta do dílu, který významně kopíruje tvar čela. Z rovné přední stěny součástky vybíhají dva výběžky ve tvaru písmene U. To nám vytvořilo dutinu, kterou se povedou připojovací dráty k mikrofonům na čele a v pravé nožičce brýlí. Kryt této dutiny je také zajištěn zahnutým profilem U, který je širší než předchozí. K tomu abychom zajistili dobré vsunutí obou U profilů do sebe, nechali jsme vůli mezi nimi 0,2 mm, která se vymezila teplotním smrštěním při výrobě. Součástka č. 2 na obr. 8 má v dolní části uprostřed výběžek s drážkou. Do něj je vsunut a připevněn zohýbaný drát, na jehož konce jsou upevněny pacičky pro pohodlné nasazení na nos. Drát jsme zvolili z toho důvodu, že lze snadno upravit pro různé tloušťky nosů.

Na levé straně se nachází modul, ve které je uloženo potřebné elektrické a optické vybavení. Volbou tohoto uspořádání jsme docílili toho, že bude možné snadné nahlédnutí, správa a servis „střev“ brýlí. Spojené profily U tvarově zapadají do horního víčka. Na jednom jeho konci vystupuje ohnutý tvar levé nožičky. Spojení horního dílu se spodní vaničkou je realizované

šroubovým spojením (konkrétně dvěma šrouby M3), kterému vylepšují vzájemné polohování tvarové části zapadající do sebe. Technologie 3D tisku není vhodná pro tvorbu a řezání jemného závitu, proto jsou v tomto díle vytvořeny šestihřanné díry pro nalepení matek. Jedná se o standardní řešení tohoto problému.

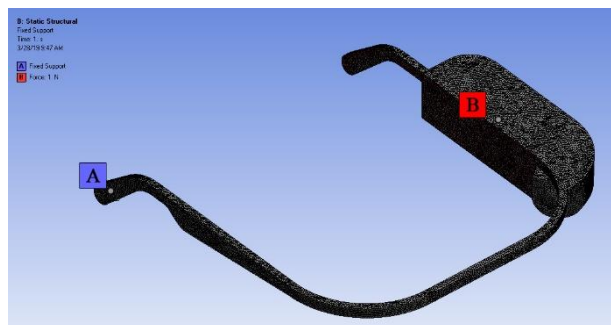
Přechody ploch jsou zaobleny, aby nevznikaly žádné zbytečné ostré hrany. Ve spodní vaničce je válcová plocha pro uložení pouzdra s dubletem. V optické ose je umístěn stolek pro displej použitý pro vizualizaci zvuku. Dále je zde slot na umístění velké desky plošných spojů (DPS) s řídicí jednotkou. V přesně odměřených místech je průchozí otvor pro konektor micro USB, který je umístěn na DPS. Tento port byl navržen pro snadnou komunikaci s řídicí jednotkou. U vnitřní strany vaničky je místo pro uložení baterie s označením 502248 a kapacitou 500 mAh. Tato hodnota byla spočítána z požadované délky výdrže pomůcky.

### 4.4 Uložení elektroniky

Vzhledem k zachování kompaktních rozměrů brýlí, jsme řešili problém s vnitřním uspořádáním a uchycení HW. Osazení desky plošných spojů s řídicí jednotkou zasahuje téměř až do krajů. Proto jsme se ji rozhodli umístit do dvou mělkých drážek a shora zajistit tvarovým dílem. Jeho konec jsme umístili do míst, kde nehrozí poškození napájených součástek na povrchu desky. Tento úchyt je přitlačován horním víkem při dotahování šroubů. K této desce je připojena deska pro zpracování pružnou propojkou. S ohledem na omezenost prostoru jsme tuto druhou desku plošných spojů vložili do nevodivé pěny a umístili mezi baterii a první DPS. Díky žebrování sloupků pro uchycení baterie je prostor pro umístění pěny omezen, a tak zamezen další její pohyb. Díky výborným tlumícím účinkům je tak deska uvnitř ní ochráněna při pádu z výšky.

## 5. Pevnostní analýza

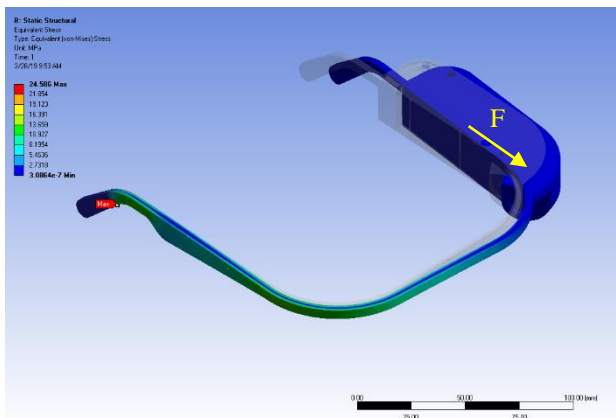
Pevnostní analýzu jsme provedli v programu Ansys Mechanical, ve kterém jsme simulovali 4 případy namáhání dle teorie pevnosti HMM. Vždy jsme brali v úvahu nejhorší možné případy. Zatížení jsme spočítali ze známé tíhy konstrukce brýlí, hmotnosti HW a hmotnosti zobrazovací části a stanovili ji na 1 N. Jeho působíště jsme umístili do těžiště sestavy (obr. 9 - bod B), který jsme zvolili uvnitř modulu pro elektroniku v levé nožičce. Bod A představuje vetknutí.



Obr. 9. Zobrazení síť modelu

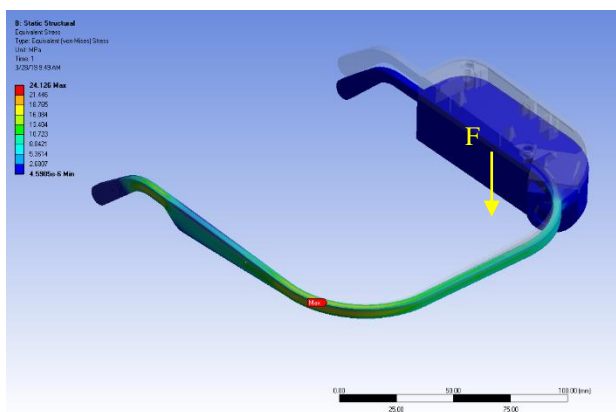
Brýle jsme vysíťovali jemnou tetrahedralní sítí o počtu 250 000 prvků.

První stav, který je zachycen na obr. 10, představuje uchycení brýlí za pravou nožičku ve svislé poloze. Na model působí ohybové napětí, jehož nejvyšší hodnota je 24,5 MPa, která pro zvolený materiál vyhovuje.



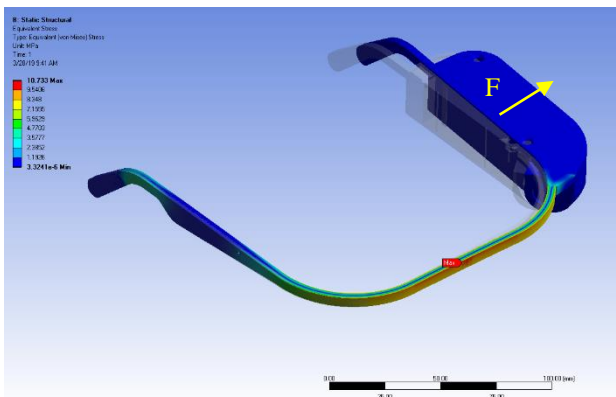
Obr. 10. První stav namáhání

Druhý stav, zobrazený na obr. 11, simuluje otočení brýlí do vodorovné polohy a na brýle působí kroutící moment. Maximální zatížení je 24,1 MPa, které také model vydrží.



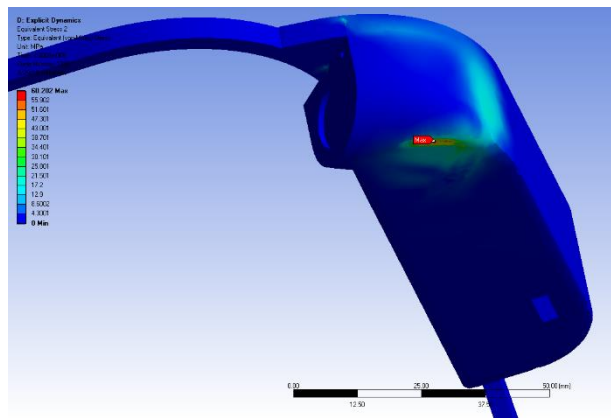
Obr. 11. Druhý stav namáhání

V posledním případě jsou brýle natočeny modulem s elektronikou dolů a stejně jako v předchozích případech je model zafixován na konci pravé nožičky. U tohoto zatížení dominuje ohybový moment a jeho hodnota napětí v nekritičtějších místech je 10,7 MPa.



Obr. 12. Třetí stav namáhání

Jako poslední stav jsme simulovali volný pád brýlí z výšky 1,6 m. Pro tento výpočet jsme zjemnili síť brýlí v předpokládaném kontaktním místě se zemí. To jsme zvolili v přední stěně modulu s elektronikou. Maximální vypočtená hodnota napětí je 60,2 MPa. I pro takto vysoké napětí by konstrukce měla vydržet.



Obr. 13. Volný pád

Celkově tedy můžeme konstatovat, že námi navržená konstrukce pevnostní analýzou prošla a při běžné manipulaci s brýlemi nebude porušena jejich soudržnost.

## 6. Závěr

Cílem textu bylo seznámit s konstrukční náročností zařízení pro rozšířenou realitu. Proto jsme se snažili vytvořit konstrukci, která bude splňovat velmi přísné tolerance uložení optických prvků, ergonomii, ale i kladený důraz na nízkou hmotnost celého zařízení.

Dle provedených optických simulací vyplývá, že přesnosti ložení členů soustavy musí být vyšší než přesnosti, které jsou dosahované při 3D tisku. Proto jsme zvolili kovové pouzdro, ve kterém je optika uložena.

Celé tělo je vytištěno z materiálu PLA, který má požadující vlastnosti a dostatečnou pevnost. Na závěr jsme provedli numerickou simulaci zatížení konstrukce brýlí při běžném používání, která nám ukázala, že konstrukce nebude porušena.

## Poděkování

Autoři článku chtějí poděkovat Studentské grantové soutěži ČVUT č. SGS17/176/OHK2/3T/12 a dále celému kolektivu optiky na Fakultě strojní.

## Literatura

- [1] KOVANDA, David. *Chytré brýle*. 2018. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojní. Vedoucí práce Šárka Němcová.
- [2] Statistiky počtu osob se sluchovým postižením. *Česká unie neslyšících* [online]. [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: <https://www.cun.cz/blog/2017/05/17/statistiky-poctu-osob-se-sluchovym-postizenim/>
- [3] PLA filamenty. *MATERIALPRO 3D* [online]. [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/pla/>

- [4] O 3D tisku. *Josef Průša* [online]. [cit. 2019-03-29].  
Dostupné z: <https://josefprusa.cz/o-3d-tisku/>
- [5] A Guide to Understanding the Tolerances of Your 3D Printer. *MatterHackers* [online]. [cit. 2019-03-29].  
Dostupné z: <https://www.matterhackers.com/articles/a-guide-to-understanding-the-tolerances-of-your-3d-printer>