

# Digitalizacija i virtualna stvarnost u sportu

---

**Marinković, Igor**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:117866>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-03**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Igor Marinković**

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr.sc. Zoran Kunica, dipl.inž.

Student:

Igor Marinković

Zagreb, 2024.

**ZADATAK**

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**

Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite

Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjere: ...  
 proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
 materijala i mehatronika i robotika



Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 24 – 06 / 01	
Ur.broj: 15 – 24 –	

**ZAVRŠNI ZADATAK**

Student: **Igor Marinković** JMBAG: **0035226213**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Digitalizacija i virtualna stvarnost u sportu**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Digitization and virtual reality in sports**

Opis zadatka:

Sport je područje ljudskog rada i djelovanja u kojem je naglašena potreba za stalnim poboljšavanjem izvedbe, što podrazumijeva i korištenje najnovijih tehnologija, koje nisu samo na korist sportašima, nego u raznim oblicima omogućuju sudjelovanje i ostalim zainteresiranim.

U radu je potrebno:

1. opisati značaj sporta s navođenjem njegovih oblika i podjele
2. istražiti i navesti primjere korištenja digitalnih tehnologija u sportu
3. opisati odabrani sport i korištenje digitalnih tehnologija u njemu
4. na osnovi razmatranja iz prethodne točke, predložiti mogućnosti unapređenja.

Zadatak zadan:

30. 11. 2023.

Datum predaje rada:

1. rok: 22. i 23. 2. 2024.  
 2. rok (izvanredni): 11. 7. 2024.  
 3. rok: 19. i 20. 9. 2024.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 26. 2. – 1. 3. 2024.  
 2. rok (izvanredni): 15. 7. 2024.  
 3. rok: 23. 9. – 27. 9. 2024.

Zadatak zadao:

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr.sc. Zoran Kunica

Prof. dr. sc. Damir Godec

## **IZJAVA**

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem svojem mentoru prof. dr.sc. Zoranu Kunici i asistentu Denisu Mliviću, mag.eng. na pomoći pri odabiru i zadavanju teme završnog rada i njihovim uputama i savjetima.

Zahvaljujem i svojoj obitelji na potpori kroz sve četiri godine preddiplomskog studija te prijateljima na vremenu provedenom učeći zajedno.

U Zagrebu, 28. veljače 2024.

Igor Marinković

## **SAŽETAK**

Spoj sporta i informatike stvorio je uspješno istraživačko i razvojno područje u koje sportske organizacije sve više ulažu. Digitalni alati, poput nosivih uređaja i kamera, generiraju ključne podatke za naprednu analizu performansi sportaša. Virtualna stvarnost (VR) revolucionira treninge omogućavajući realistične simulacije stvarnih situacija smanjujući rizik od ozljeda. Unatoč visokim troškovima i nedostatku specijaliziranih trenera, implementacija VR tehnologije u sportu čini se izglednom budućnošću. Posebno su istražene moguće implementacije digitalnih tehnologija u lokalnom košarkaškom klubu, s naglaskom na korištenje VR-a u treningu i kamere s vidnim poljem od 360° za prijenos utakmica, s ciljem poboljšanja uvjeta treniranja za članove kluba i širenje mogućnosti praćenja utakmica za navijače.

Ključne riječi: sport, digitalne tehnologije, virtualna stvarnost, košarka

## **SUMMARY**

The combination of sports and informatics has created a successful research and development area in which sports organizations are investing more and more. Digital tools, such as wearables and cameras, generate key data for advanced analysis of athlete performance. Virtual reality revolutionizes training by enabling realistic simulations of real situations, reducing the risk of injury. Despite the high costs and the lack of specialized coaches, the implementation of VR technology in sports seems to be a promising future. Especially, possible implementations of digital technologies in a local basketball sports club were investigated, with emphasis on the use of VR in training and 360° cameras for match broadcasts, with the aim of improving practice conditions for club members and expanding the viewing possibilities of fans.

Key words: sports, digital technologies, virtual reality, basketball

## SADRŽAJ

<b>ZADATAK</b> .....	<b>I</b>
<b>IZJAVA</b> .....	<b>II</b>
<b>SAŽETAK</b> .....	<b>III</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>IV</b>
<b>POPIS KRATICA, OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA</b> ....	<b>VII</b>
<b>POPIS SLIKA</b> .....	<b>IX</b>
<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1. ZNAČAJ SPORTA.....	1
1.2. OBLICI SPORTA.....	2
1.3. PODJELA SPORTOVA .....	4
<b>2. DIGITALNE TEHNOLOGIJE U SPORTU</b> .....	<b>6</b>
2.1. POVEZNICE IZMEĐU SPORTA I INFORMATIKE.....	7
2.1.1. Sportska izvedba .....	7
2.1.2. Sportski klubovi.....	7
2.1.3. Upravljanje sportskim događajima .....	8
2.1.4. Iskustvo publike .....	9
2.2. PRIMJERI SUSTAVA I UREĐAJA DIGITALNIH TEHNOLOGIJA U SPORTU ..	9
2.2.1. Sustavi za praćenje sportaša .....	9
2.2.2. Sustav Video Assistant Referee (VAR) .....	11
2.2.3. Nosivi uređaji .....	13
2.2.3.1. Senzori pokreta .....	13
2.2.3.2. Fiziološki senzori .....	14
2.2.4. Biomehanička analiza u sportu.....	15
2.3. VIRTUALNA STVARNOST U SPORTU.....	16
2.4. PRIMJERI KORIŠTENJA VIRTUALNE STVARNOSTI U SPORTOVIMA .....	17
2.4.1. Ragbi [14].....	18
2.4.1.1. Snimanje sportskih kretnji .....	18
2.4.1.2. Animacija sportskih radnji.....	19
2.4.1.3. Provođenje testiranja prepoznavanja lažnih pokreta napadača.....	20
2.4.2. Rukomet [14].....	21
2.4.3. Treniranje američkog nogometa [15].....	22
2.4.4. Procjena nogometnih vještina uz VR [18] .....	25
2.4.4.1. „Čitanje“ igre .....	25
2.4.4.2. Zonska podjela .....	26



2.4.4.3.	Dobivanje podataka o rotaciji glave s naglavnog zaslona .....	27
2.4.4.4.	Kinetičko praćenje tijela .....	28
2.4.4.5.	Virtualno okruženje .....	28
2.4.4.6.	Ekspiriment prikladnosti uređaja .....	29
<b>3.</b>	<b>DIGITALNE TEHNOLOGIJE U FORMULI 1 .....</b>	<b>30</b>
3.1.	KORIŠTENJE DIGITALNIH TEHNOLOGIJA U F1 .....	30
3.1.1.	Digitalni blizanci .....	30
3.1.2.	Senzori za prikupljanje podataka .....	32
3.1.3.	Računalna dinamika fluida (CFD) .....	32
3.1.3.1.	Uvid .....	33
3.1.3.2.	Predviđanje .....	33
3.1.3.3.	Učinkovitost .....	33
3.1.4.	Nosivi uređaji u F1 .....	34
3.2.	KORIŠTENJE VIRTUALNE STVARNOSTI U F1 .....	36
3.2.1.	Emitiranje .....	36
3.2.2.	Igranje .....	36
3.2.3.	Trening .....	37
3.2.4.	Neurotech [21] .....	37
3.2.5.	Formula VR [23] .....	38
<b>4.</b>	<b>MOGUĆE PRIMJENE VIRTUALNE STVARNOSTI I DIGITALNIH TEHNOLOGIJA U LOKALNOM KOŠARKAŠKOM KLUBU .....</b>	<b>40</b>
4.1.	TRENIRANJE SLOBODNIH BACANJA KORIŠTENJEM VIRTUALNE STVARNOSTI .....	41
4.1.1.	Izvođenje treninga korištenjem VR-a .....	41
4.1.2.	Praćenje pokreta tijela igrača i košarkaške lopte .....	42
4.1.3.	Stvaranje virtualnog okruženja .....	42
4.2.	POBOLJŠANJE DOŽIVLJAJA NAVIJAČA KORIŠTENJEM VR NAGLAVNIH NAOČALA .....	43
<b>5.</b>	<b>ZAKLJUČAK .....</b>	<b>45</b>
<b>6.</b>	<b>LITERATURA .....</b>	<b>47</b>

## POPIS KRATICA, OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA

Oznaka	Mjerna jedinica	Značenje/Opis
3D		eng. <i>3-dimensional</i> – 3-dimenzionalno
AI		eng. <i>Artificial Intelligence</i> – umjetna inteligencija
CFD		eng. <i>Computational Fluid Dynamics</i> – računalna dinamika fluida
CSV		eng. <i>Comma-Separated Values</i> – vrijednosti odvojene zarezom
DRS		eng. <i>Decision Referral System</i> – sustav upućivanja odluka
eng.		engleski
F1		Formula 1
fra.		francuski
FIA		fra. <i>Federation Internationale de l'Automobile</i>
FoR		eng. <i>Field of Regard</i> – vidno polje?
F-VR		eng. <i>Formula-Virtual Reality</i> – formula-virtualna stvarnost
GPS		eng. <i>Global Positioning System</i> – globalni položajni sustav
HMD		eng. <i>Head Mounted Display</i> – naglavni zaslon
$f$	Hz	frekvencija
IMU		eng. <i>Inertial Measurement Unit</i> – mjerna jedinica inercije
IoT		eng. <i>Internet of Things</i> – internet stvari
LPS		eng. <i>Local Positioning System</i> – lokalni položajni sustav
MEMS		eng. <i>Microelectromechanical Systems</i> – mikroelektromehanički sustavi
MKM		eng. <i>Manageable Kinematic Motions</i> – upravljivi kinematički pokreti
$t$	ms	vrijeme
QML		eng. <i>Quantum Machine Learning</i> – kvantno strojno učenje
UI		eng. <i>User Interface</i> – korisničko sučelje
	USD	novčana jedinica Sjedinjenih Američkih Država
VAR		eng. <i>Video Assistant Referee</i> – video pomoćni sudac
VE		eng. <i>Virtual Environment</i> – virtualno okruženje
VEA		eng. <i>Visual Exploratory Activity</i> – aktivnost vizualnog pretraživanja

VGB

eng. *Visual Gesture Builder* – graditelj vizualnih gesta

VOR

eng. *Video Operating Room* – videooperacijska soba

## POPIS SLIKA

Slika 1.	Timski sport – košarka [2].....	2
Slika 2.	Individualni sport – plivanje [3] .....	3
Slika 3.	Ekstremni sport [4].....	3
Slika 4.	Tradicionalni sport [5].....	4
Slika 5.	Veličine terena raznih timskih sportova [7].....	10
Slika 6.	Prikaz preklapanja opisivanja, planiranja i praćenja [7] .....	11
Slika 7.	Plan rasporeda kamera [8] .....	12
Slika 8.	FitBit [10] .....	14
Slika 9.	Skok šut u rukometu [12] .....	16
Slika 10.	Tri koraka potrebna za analizu sportske izvedbe [14].....	18
Slika 11.	Pokreti ragbi igrača snimljeni sustavom Vicon [14].....	19
Slika 12.	Naglavni zaslon (HMD, eng. <i>Head Mounted Display</i> ) [14].....	20
Slika 13.	Položaji napadača u različitim vremenskim odsječcima [14].....	21
Slika 14.	Stvarni vratar ispred virtualnog šutera [14].....	22
Slika 15.	Gore: Dizajn korisničkog sučelja, Dolje: Pogled iz kacige koji simulira što igrač vidi [15] .....	24
Slika 16.	Evaluacija ispitanika koji koriste naglavni zaslon Oculus DK-1 [15] .....	25
Slika 17.	Zonska podjela VEA [16].....	26
Slika 18.	Eulerovi kutovi dobiveni iz HMD-a [16] .....	27
Slika 19.	Lijevo: Slika koju detektira senzor dok korisnik izvodi pokret(e) pri dodavanju, Desno: Rezultirajuće dodavanje u VE-u [16].....	28
Slika 20.	Sudionik izvodi dodavanje unutar virtualnog okružja [16] .....	29
Slika 21.	Primjer Digitalnog blizanca [18].....	31
Slika 22.	Prikaz gibanja fluida po površini bolida [20] .....	34
Slika 23.	Pametna rukavica u F1 [21].....	35
Slika 24.	Pametna slušalica [21].....	35
Slika 25.	EMOTIV-ov VR simulator [21] .....	38
Slika 26.	F-VR1 FullMotion simulator [23].....	39

Slika 27.	Sustav F-VR1 BeltForce [23] .....	39
Slika 28.	Naglavni zaslon Meta Quest 3 VR [24] .....	42
Slika 29.	Samsungova 360° kamera za VR [25] .....	44

## 1. UVOD

Značaj sporta u ljudskom društvu u cijelom svijetu je veoma duboko ukorijenjen. Još od davnih vremena sport je imao veliku ulogu u fizičkom, socijalnom i emocionalnom razvoju na razini kako pojedinca, tako i mnogih zajednica, te cijelih nacija. Zbog svoje raznolikosti u načinu izvođenja te sadržaja, sport pruža širok raspon mogućnosti vezanih za zabavu i izgradnju karaktera za svakoga. U nastavku će se detaljnije objasniti značaj sporta uz navođenje njegovih oblika i podjele.

### 1.1. ZNAČAJ SPORTA

Pozitivni utjecaji sporta na ljude su povezani sa organizmom kao i sa umom. Fizička aktivnost u bilo kakvom obliku, pa tako i u obliku sporta, pomaže u održavanju zdrave težine, poboljšavanju kardiovaskularnog zdravlja te jačanju kostiju i mišića. Jedan od pozitivnih utjecaja redovitog vježbanja uključuje i smanjen rizik oboljenja od raznih kroničnih bolesti poput visokog krvnog tlaka i dijabetesa. Osim utjecaja na zdravlje, sport također pomaže pri razvijanju motoričkih sposobnosti, koordinacije i fleksibilnosti. [1]

Kao što je već spomenuto, osim utjecaja na fizičko zdravlje, tj. ljudski organizam, treba se i spomenuti psihološki aspekt sporta. Naime, tijekom sportskih aktivnosti, tijelo oslobađa hormone sreće koji podižu raspoloženje i smanjuje stres – endorfine. Sport također sa sobom donosi razvijanje natjecateljskog duha i time stvara izazove i prilike za zadavanje i postizanje ciljeva. Postizanje zadanih ciljeva uvelike pomaže pri izgradnji samopouzdanja i općenito osjećaja postignuća. Također, natjecanje razvija sposobnost funkcioniranja pod stresom i time mentalnu izdržljivost pojedinca kao i prihvaćanje neuspjeha te odlučnost i spremnost za rad na samopoboljšanju. [1]

Osim fizičkog i psihološkog aspekta sporta, ne smije se zaboraviti spomenuti i socijalni. Sudjelovanje u sportu, bilo timskom ili individualnom, sa sobom nosi i potiče timski rad i suradnju te razvija sposobnost komunikacije. Pojedinci uče kako se uklopiti u grupu, shvaćanje i prihvaćanje svoje uloge i spremnost na kooperaciju pri postizanju zajedničkog cilja. Iskustva stečena tijekom sudjelovanja u sportskim aktivnostima se prenose i na život izvan njih te pomažu u lakšoj i uspješnoj izgradnji međuljudskih odnosa.

## 1.2. OBLICI SPORTA

Sport dolazi u raznim oblicima, bio to momčadski tj. timski, individualni, ekstremni ili tradicionalni.

U **timskim sportovima** grupa pojedinaca radi zajedno prema ostvarenju zajedničkog cilja. Timski sportovi uključuju košarku (Slika 1.), nogomet, vaterpolo, rukomet itd. To su sportovi koji potiču razvoj komunikacije, povjerenja u druge te suradnje s drugima.



Slika 1. Timski sport – košarka [2]

**Individualne sportove** izvode pojedinci samostalno, te oni zahtijevaju sposobnost oslanjanja na samoga sebe. Primjeri individualnih sportova su tenis, plivanje (Slika 2.), atletika,

gimnastika i stolni tenis. Oni potiču razvoj samopouzdanja te postizanje pojedinačnih osobnih ciljeva.



**Slika 2. Individualni sport – plivanje [3]**

**Ekstremni sportovi** uključuju aktivnosti čije izvršavanje predstavlja određenu količinu rizika te izaziva znatan porast razine adrenalina. Neki od sportova su slobodno penjanje, *bungee jumping*, *snowboarding* (Slika 3.) i *skateboarding*. Ekstremni sportovi su tu za one kojima je potrebna dodatna doza uzbuđenja i izazova.



**Slika 3. Ekstremni sport [4]**

**Tradicionalni sportovi** su oni koji imaju duboka kulturna i povijesna značenja kao na primjer: sumo, kriket (Slika 4.) i razne vrste borilačkih sportova. Često imaju važnu ulogu u očuvanju nacionalnog identiteta i kulturne baštine.





Slika 4. Tradicionalni sport [5]

### 1.3. PODJELA SPORTOVA

Unutar spomenutih oblika sporta, može ih se kategorizirati prema različitim kriterijima, na primjer: rekreativni i profesionalni, olimpijski i neolimpijski, ljetni i zimski, kontakti i nekontakti sportovi.

Razlika između **rekreativnih sportova** u odnosu na **profesionalne sportove** se svodi na razinu motivacije svih uključenih. Dok se rekreativni sportovi uglavnom igraju u svrhu zabavljanja i zdravlja ili samo ljubavi prema sportu, profesionalni sportovi zahtijevaju kompletno posvećenje i uključuju natjecanje na najvećim razinama protiv najboljih protivnika.

Podjela **olimpijskih sportova** u odnosu na **neolimpijske** je veoma jednostavna, olimpijski su oni koji se smatraju olimpijskim disciplinama i koji se igraju na olimpijskim igrama, dok se ne-olimpijski ne igraju.

Neke od timskih i individualnih sportova možemo dalje podijeliti na **zimske** i **ljetne**, ovisno o tome u kojem se godišnjem dobu ti sportovi obično igraju. Neki ljetni sportovi su atletika i plivanje, dok su zimski na primjer hokej na ledu i skijanje.

Još jedna od mogućih podjela je na **kontaktne i nekontaktne sportove**. Ova podjela ovisi o razini fizičkog kontakta između sudionika. Fizičkih sportova ima u obliku timskih kao što je ragbi, i individualnih kao što je taekwondo. Primjer nekontaktnog sporta je tenis.

Zadnja vrsta sporta koja će biti spomenuta jesu **motorsportovi** poput Formule 1 i MotoGP-a koji prikazuju vrhunac spoja ljudske i strojne izvedbe. Kod motorsportova se stavlja naglasak na preciznost, brzinu i strategiju kako bi se osigurale čim veće šanse za pobjedom.

## 2. DIGITALNE TEHNOLOGIJE U SPORTU

Primjene računala u sportu zabilježene su već sredinom 1960-ih godina dok je u posljednjih 10 godina informatika postala vrlo važan interdisciplinarni partner sportu.

Godine 1975. u Grazu je održan kongres „International Organization for Sports Information“ (IOSI), gdje su članovi osmislili i definirali pojam sportske informatike. Sukladno tome, sportska informatika obuhvaća djelatnosti u rasponu od najosnovnijih do najsloženijih: od rukovanja podacima i kontrole senzora s jednostavnim alatima do toga kako modelirati i simulirati složene pojave. Dok su 1970-ih godina računala služila samo kao informacijski i dokumentacijski alati, danas se raspon novih metoda i primjena višestruko proširio: primjene virtualne stvarnosti (VR) su svakodnevna pojava u sportu, sport na najvišim razinama je podržan VR tehnologijama, u procesu treninga značajke e-učenja i biomehaničke pojave su obuhvaćene primjenom VR modeliranja i simulacija. [6]

Informatika je postala široko cijenjena znanost u svim područjima istraživanja i kao rezultat toga, nastala su nova istraživačka polja iz suradnje informatičkih stručnjaka i stručnjaka za određena područja: bioinformatika, neuroinformatike i poslovne informatike te sportska informatika.

Potencijala za suradnju između informatike i sportske znanosti ima vrlo mnogo [6]:

- Znanstvenici koji istražuju sport mogu iskoristiti prednosti informatičkih usluga u svojim posebnim tehnološkim područjima, kao što su: rukovanje podacima i razvoj softvera za dokumentiranje treninga, upravljanje sensorima i vizualizaciju podataka.
- Važno je obratiti pozornost na inovacije u sportu posebno vezane za trening i natjecanja. Sportske aktivnosti se mogu podržati uz pomoć novih tehnologija i informatičari su ti koji mogu pomoći sportskim stručnjacima da postanu svjesni ovih potencijala unutar tehnologije.

- Danas je nemoguće voditi sportski događaj bez obilja statistika i brojki kako bi se navijačima (publici) pružile informacije o njihovim omiljenim timovima ili sportašima u stvarnom vremenu – to jest tijekom prijenosa (eng. *on the spot*).

## 2.1. POVEZNICE IZMEĐU SPORTA I INFORMATIKE

Postoje četiri područja povezanosti sporta i informatike [6]:

- sportska izvedba
- sportski klubovi
- upravljanje sportskim događajima
- iskustvo publike, posebno obožavatelja.

### 2.1.1. Sportska izvedba

Ovo je područje vjerojatno pod najvećim utjecajem tehnologije, usredotočuje se na sportaše, njihove trenere, tehničko osoblje i osoblje za postizanje snage i kondicije. Zahvaljujući sve većoj upotrebi IoT tehnologije (eng. *Internet of Things*) poput senzora i nosivih i analitičkih alata u sportu, različite vrste podataka postaju sve dostupnije, sljedivije i vidljivije, ne samo za sportaše i trenere, već i za javnost. [6]

Korištenje akcelerometara, giroskopa, magnetometara i GPS-a omogućuje dobivanje podataka koji su vrlo korisni za analizu izvedbe, izbjegavajući trošenje mnogo vremena na primjer video analizu. Glavna prednost ovih alata – nosivih uređaja, jest to što su vrlo male veličine i sportaši ih mogu nositi bez čak i minimalne smetnje pri tipičnim aktivnostima i kretanjima tijekom treninga. Za analizu, prate se i prikupljaju podaci sve od otkucaja srca do kemijskih procesa u tijelu sportaša. Specijalizirani nosivi uređaji za boksače, košarkaše ili odbojkaše pomažu im mjeriti i poboljšati njihovu izvedbu.

### 2.1.2. Sportski klubovi

Najvažniji utjecaj informacijske tehnologije na sportske organizacije je napredak opreme za fizički rad, te hardverskih i softverskih rješenja. Najizravniji učinak digitalizacije sporta je da

integrira mnoge administrativne funkcije u sveobuhvatnu informatičku uslugu s više kanala kao što su internetske stranice i mobilne aplikacije. Uz pomoć tehnologije, klub prima različite vrste podataka što također znači da se treba u obzir uzeti mnogo više informacija pri donošenju odluka.

Digitalizacija može pomoći klubu u različitim poljima [6]:

- upravljanje infrastrukturom i sigurnošću
- novačenje (eng. *talent scouting*)
- upravljanje timom
- odnosi sa sponzorima i dobavljačima.

Uz dostupnost ogromne količine statističkih podataka koju stvaraju različiti nosivi senzori i analitički alati, novačenje igrača još više ovisi o podacima, umjesto samo intuiciji i promatranju.

### **2.1.3. Upravljanje sportskim događajima**

Sportski događaji su jedna od glavnih točaka u sportu. Klubovi pokušavaju optimirati vrijednost događaja za publiku i time maksimirati profit koji mogu dobiti od nje. Za sportske tvrtke, digitalizirana vrsta konzumacije sporta je odlična prilika za isporuku njihovih sadržaja i usluga na prilagođene načine. Stoga, konzumacija sporta više nije ograničena samo na događaje na dan utakmice. Digitalizacija omogućuje sportskim tvrtkama da se povežu s obožavateljima diljem svijeta na dnevnoj bazi, uz pomoć različitih društvenih medija i da s njima može dijeliti razne događaje vezane za organizaciju poput treninga, i potpisivanja novih igrača. [6]

Što se tiče sudaca, sustavi kao što su DRS (eng. *Decision Referral System*) i VAR (eng. *Video Assistant Referee*), jesu inovativne informacijske tehnologije koje im mogu pomoći da pruže pošteno i nepristrano iskustvo u sportu.

#### 2.1.4. Iskustvo publike

Jedna od najvažnijih skupina u svijetu profesionalnog sporta jesu njegovi potrošači – mase gledatelja na mjestu događaja, kod kuće putem TV prijenosa ili navijači na društvenim mrežama. To je razlog zašto je promatranje sportske konzumacije gledatelja središnje mjesto stručnjaka za različite aspekte sportskog marketinga.

## 2.2. PRIMJERI SUSTAVA I UREĐAJA DIGITALNIH TEHNOLOGIJA U SPORTU

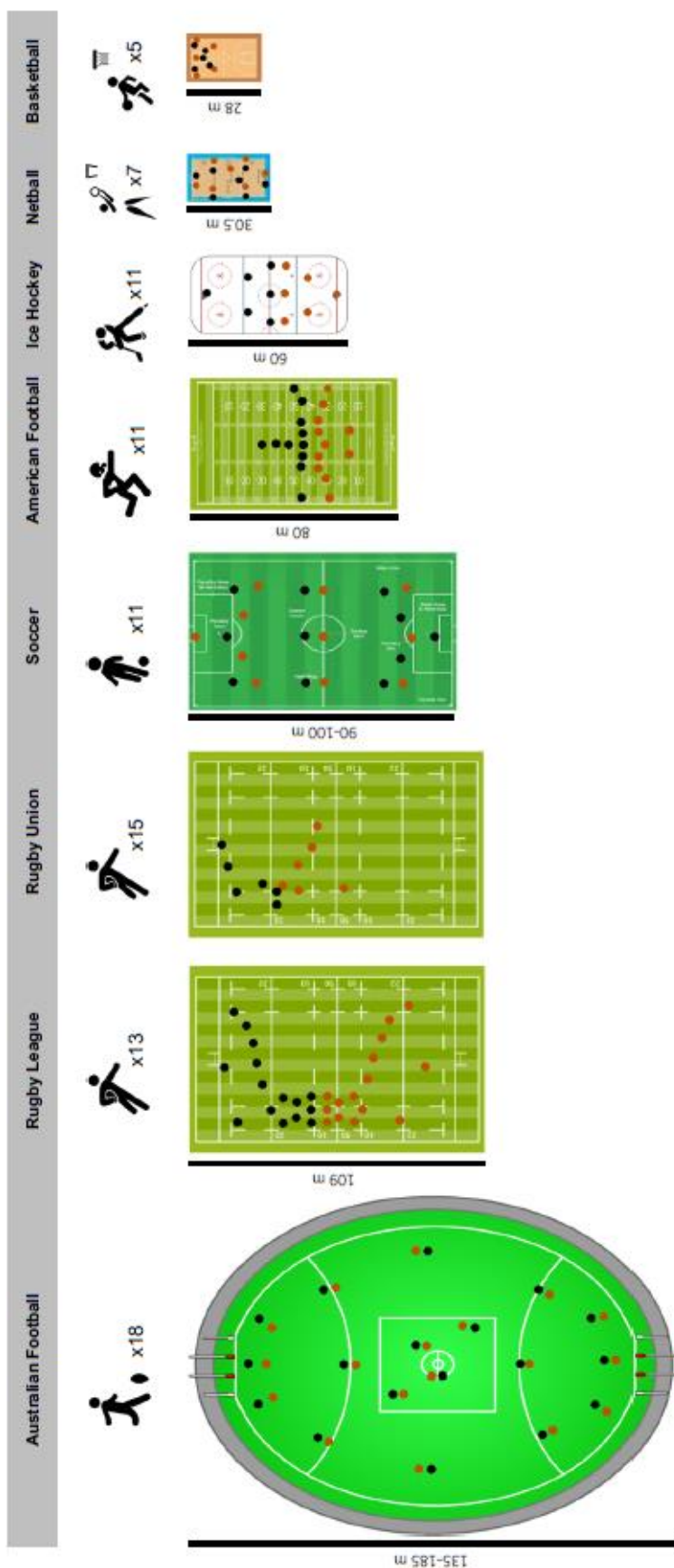
### 2.2.1. Sustavi za praćenje sportaša

Sustavi za praćenje sportaša postali su uobičajeni u profesionalnim timskim sportovima. U želji za postizanjem prednosti nad konkurencijom, organizacije ulažu financijske i vremenske resurse u tehnologije koje mogu kvantificirati karakteristike treninga i natjecanja na valjan i pouzdan način. Očekuje se da takve informacije mogu podržati procese donošenja odluka o propisivanju i manipuliranju opterećenjem pri vježbanju. [7]

Mjerni podaci koje pružaju tehnologije praćenja mogu se razlikovati od sustava do sustava. Na primjer, optičko praćenje određuje dvodimenzionalne koordinate koje se mogu ekstrapolirati u mjere udaljenosti i brzine, dok IMU (eng. *Inertial Measurement Unit*) kombinira podatke iz više izvora (na primjer: akcelerometar, magnetometar i giroskop) za mjerenje ubrzanja tijela ili segmenta tijela. [7]

Implementacija tehnologije u primijenjenom okruženju trebala bi biti vođena prepoznavanjem prikladnog rješenja problema u specifičnom okolišu.

Slika 5. prikazuje usporedbu veličine terena različitih timskih sportova s brojem igrača po svakom timu prikazanim iznad terena. Igrači su također prikazani crnim i narančastim točkama koje predstavljaju suparničke ekipe.



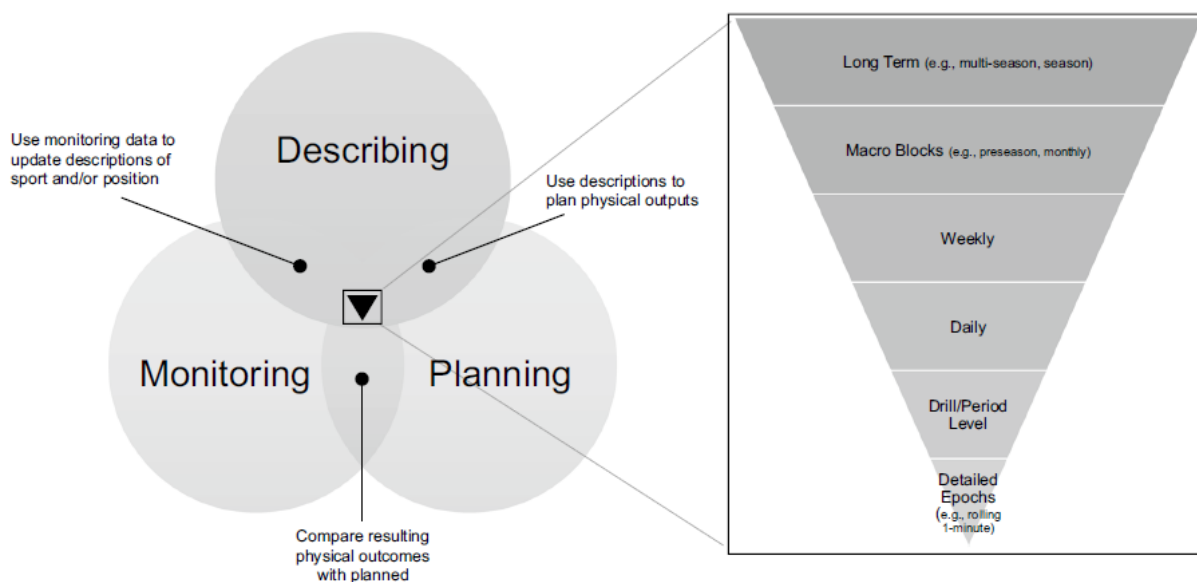
Slika 5. Veličine terena raznih timskih sportova [7]

Nakon što se kvantificiraju preciznost i točnost sustava za praćenje, pozornost se može usmjeriti na proces analize. Podaci praćenja mogu se koristiti za prepoznavanje ključnih karakteristika natjecanja, uključujući najzahtjevnije situacije, kako bi se objektivno upravljalo fizičkom pripremom i spremnošću za povratak u igru.

Predstavljaju se tri glavna cilja praćenja podataka, kako bi se [7]:

- bolje razumjele lokomotorne karakteristike i potrebna razina opterećenja pojedinačnog sportaša
- pomoglo pri programiranju potrebne razine opterećenja timskog treninga
- pomoglo pri odlukama koje se odnose na učinak i rizik od ozljeda pojedinca s obzirom na njegov osobni program rada i vježbanja.

Ovi se ciljevi mogu sažeti u tri sveobuhvatne i preklapajuće svrhe (Slika 6.): opisivanje, planiranje i praćenje.



Slika 6. Prikaz preklapanja opisivanja, planiranja i praćenja [7]

### 2.2.2. Sustav *Video Assistant Referee* (VAR)

Sustav *Video assistant referee* [8] je alat za podršku sucima.

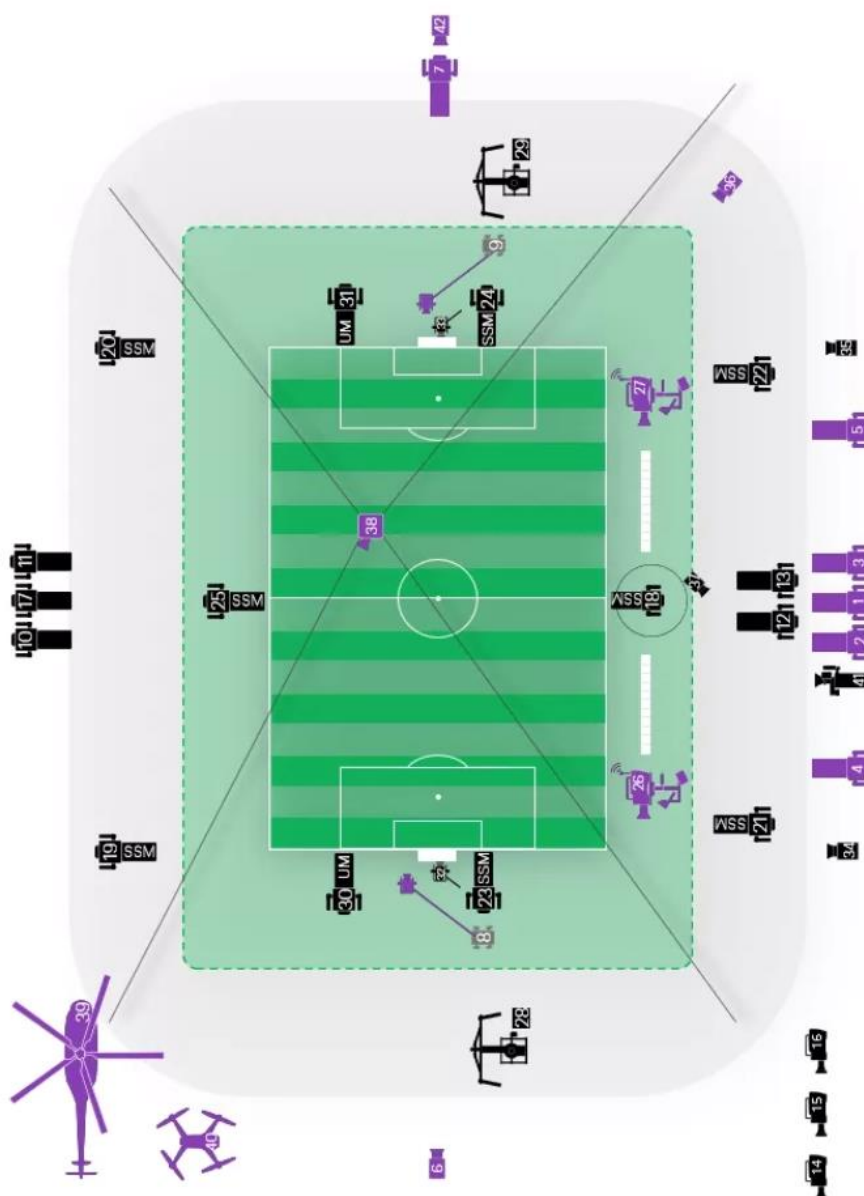
VAR tim podržava proces donošenja odluke suca u četiri situacije ključne za tijek utakmice:

- zgodici i prekršaji koji vode do pogotka
- odluke o kaznenim udarcima i prekršaji koji vode do odluke o kaznenom udarcu
- slučajeve u kojem je dodijeljen izravni crveni karton
- pogrešno prepoznavanje situacije na terenu.



VAR tim podržava suca iz videooperacijske sobe (VOR). Svi podaci koji se emitiraju s kamera domaćina se dostavljaju VOR-u putem optičke mreže, a glavni sudac na terenu razgovara s VAR timom putem sofisticiranog radijskog sustava.

VAR tim ima pristup 42 kamerama (Slika 7.), od kojih je osam superusporenih, a četiri ultrasuporenih. Usporena ponavljanja snimke se uglavnom koriste za potvrdu situacije, na primjer, za prepoznavanje točke dodira fizičkog prekršaja ili položaja prekršaja. Ponavljanja snimke u normalnoj brzini se koriste za subjektivne procjene, na primjer, za određivanje intenzivnosti prekršaja ili je li igranje rukom kažnjivo. Osim kamerama za emitiranje, VAR tim ima pristup i kamerama koje koristi poluautomatska tehnologija za zalede.



Slika 7. Plan rasporeda kamera [8]

### 2.2.3. Nosivi uređaji

U atletsom i zdravstvenom okruženju postoji rastući trend praćenja ljudske fiziološke funkcije i izvedbe tijekom aktivnosti u stvarnom vremenu. Odnedavno su se prijenosni i nosivi sportski uređaji koji uključuju senzorsku tehnologiju okoristili od povećane medijske i komercijalne izloženosti kao učinkoviti alati za procjenu tjelesne aktivnosti. To je potaknuto povećanom dostupnošću, nižom cijenom i napretkom osobno nosivih uređaja kao što su pametni telefoni i digitalni satovi. Pedometri, uređaji za praćenje otkucaja srca, prijenosni elektrokardiografi i akcelerometri, ugrađeni su u osobne uređaje za korištenje u raznim primjenama.

Sportaši predstavljaju rastuću nišu za korištenje tehnologije nosivih senzora. Napredak u tehnologiji omogućio je pojedinačnim sportašima, sportskim timovima i liječnicima da prate kretanje igrača, opterećenja i biometrijske markere u pokušaju da maksimiraju izvedbu i minimiraju ozljede. Praćenje također može olakšati razvoj poboljšanih režima treninga za optimizaciju izvedbe sportaša. [9]

#### 2.2.3.1. Senzori pokreta

Pedometri su najjednostavniji i vjerojatno najčešće korišteni oblik senzora kretanja. "Korak" se bilježi svaki put kada okomito ubrzanje kraka poluge premaši prag osjetljivosti sile pedometra.

Pouzdana primjena pedometra nije dokazana u natjecateljskim sportovima. Pedometri imaju ograničenu upotrebu u kvantificiranju atletske pokreta zbog svoje nemogućnosti da percipiraju promjene smjera i loši su pokazatelji potrošnje energije. [9]

Još jedan primjer senzora pokreta su akcelerometri i giroskopi koji su se pokazali obećavajući u području osobne kondicije dajući korisniku pristup naprednim podacima o izvedbi i mogućnost kvantitativne izmjene programa vježbanja. Ovi uređaji sastoje se od dvije komponente: mehaničkog senzora kretanja i mikročipa koji tumači signale iz mehaničkog uređaja. Tehnološki napredak i razvoj uređaja mikroelektromehaničkih sustava (MEMS) omogućili su pakiranje više pretvarača zajedno, dajući jednom senzoru mogućnost percipiranja kretanja u više dimenzija.

Dodatna prednost akcelerometara je mogućnost procjene potrošnje energije integracijom okomitog ubrzanja tijekom vremena. Potrošnja energije je ključan parametar za procjenu intenzivnosti režima treninga. Procjena energije temeljena na akcelerometru kod vrhunskih australskih nogometaša bila je usporediva s vremenski intenzivnijom video analizom. [9]

Uređaji kao što je FitBit (Slika 8.), prenose podatke o brojnim fiziološkim parametrima i parametrima kretanja kao što su otkucaji srca, potrošnja kalorija, praćenje spavanja i koraka, koji se zatim bežično prenose na osobni korisnički račun.



**Slika 8. FitBit [10]**

#### 2.2.3.2. Fiziološki senzori

Senzori koji određuju fiziološki odziv na promjene u natjecanju i treningu također su ključni u promicanju poboljšane izvedbe i smanjenju ozljeda. Brzina otkucaja srca je koristan pokazatelj fiziološke prilagodbe i intenzivnosti napora. Noviji uređaji za praćenje otkucaja srca razvijeni su pomoću uređaja s optičkim sensorima, poput narukvice ili pametnog telefona, koji otkrivaju otkucaje srca izravno sa zapešća ili vrha prsta.

Uređaji za praćenje otkucaja srca također su korišteni zajedno s kinematičkom analizom za određivanje fiziološkog odziva i metaboličkih zahtjeva do kojih dolazi tijekom natjecanja u nizu sportova, uključujući košarku, ragbi i nogomet. [9]

#### 2.2.4. Biomehanička analiza u sportu

Biomehanika koristi tehnike uključujući matematičko modeliranje, računalne simulacije i mjerenja za poboljšanje sportske izvedbe i smanjenje ozljeda. Može se primijeniti na široku paletu sportskih aktivnosti i aktivnosti vježbanja kako bi se [11]:

- identificirali optimalni obrasci kretanja za poboljšanje tehnika specifičnih za sport
- analizirala upotreba i opterećenje mišića za određivanje najsigurnije metode izvođenja određenog zadatka ili pokreta
- pomoglo u razvijanju ispravnih navika kretanja koje se mogu dugoročno održati (maksimiranje učinka i smanjenje rizika od ozljeda)
- analizirala oprema za sport i vježbanje, na primjer: cipele, podloge, reketi.

Metodologija testiranja se utvrđuje na temelju problema kojeg je potrebno riješiti te u dogovoru s trenerom i sportašem. Neke tipične biomehaničke metode ispitivanja jesu [11]:

- **3D analiza.** Prikladno za mnoge sportove, posebno one koji uključuju složene pokrete tijela i gdje su potrebne vrlo točne, detaljne informacije. Obično se 3D analiza provodi korištenjem brzih sustava za analizu 3D kretanja u laboratoriju.
- **Force Plate Analysis.** Obično se koristi za aktivnosti hodanja, trčanja i slijetanja i koristi se zajedno sa sustavima za 3D analizu kretanja. Korisno za određivanje sila udara, kočenja i propulzije; izračunavanje kinetike zglobova; i prijenos težine u dinamičkim aktivnostima.
- **Visokobrzinska video analiza.** Kamere velike brzine, kao što je Photron, mogu raditi do 1000 Hz. Vrlo korisno za kvalitativnu analizu kretanja i udaraca velike brzine.
- **Analiza natjecanja,** gdje se određuju relevantne varijable učinka, na primjer, u atletici: međuvremena, brzina/duljina koraka; u veslanju: duljina i ritam zaveslaja.

Na slici 9. strelice pokazuju smjer i količinu sile reakcije tla pri izvođenju „skok-šuta“ u rukometu.



Slika 9. Skok-šut u rukometu [12]

### 2.3. VIRTUALNA STVARNOST U SPORTU

Nekoliko čimbenika utječe na atletsku izvedbu, uključujući fizičku spremnost, tehničku stručnost i mentalnu snagu. Tehnologija virtualne stvarnosti nudi rješenje pružajući sigurno, realistično i interaktivno okruženje za sportaše da treniraju i poboljšavaju svoje vještine.

Jedna od najznačajnijih prednosti virtualne stvarnosti u sportskom treningu je njezina sposobnost simulacije stvarnih situacija u utakmici. Za razliku od tradicionalnih metoda treninga, VR može pružiti sportašima izazovne i nepredvidive scenarije utakmice koje je teško ponoviti u stvarnom životu. To omogućuje sportašima da razviju svoje vještine u realističnijem i raznolikijem okruženju, poboljšavajući njihovu sposobnost donošenja odluka u djeliću sekunde i reagiranja na nepredvidive okolnosti.

Povratne informacije u stvarnom vremenu još su jedna prednost virtualne stvarnosti u sportskom treningu. VR omogućuje sportašima primanje trenutnih povratnih informacija, dopuštajući im prilagodbe i ispravke u stvarnom vremenu, za razliku od tradicionalnih metoda u kojima se povratne informacije daju nakon završetka vježbe ili simulacije. To ubrzava

njihov razvoj vještina i smanjuje rizik od ozljeda identificiranjem i ispravljanjem tehničkih grešaka.

Dodatno, VR tehnologija pruža sigurno okruženje za trening za sportaše, smanjujući rizik od fizičkih ozljeda povezanih s kontaktnim sportovima kao što su nogomet, ragbi i borilačke vještine. Ovo je posebno korisno jer omogućuje sportašima da iskuse intenzivnost i pritisak situacija u utakmici ili meču bez opasnosti od fizičke ozljede.

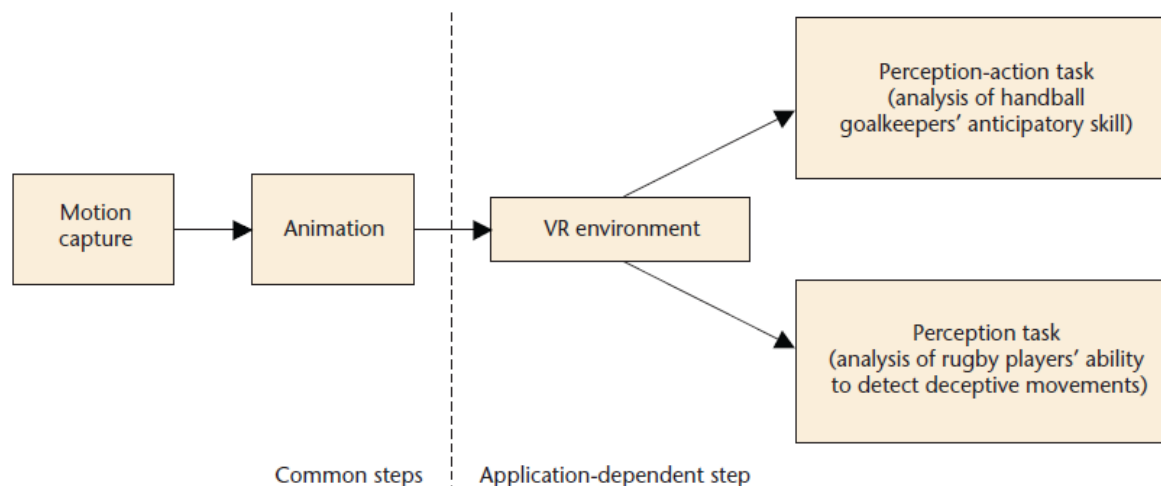
VR tehnologija omogućuje prilagođene programe treninga za pojedine sportaše. Treneri mogu osmisлити individualizirane programe treninga za sportaše na temelju njihovih specifičnih potreba, kao što je povećanje brzine reakcije, rada nogu ili sposobnosti donošenja odluka.

Međutim, postoje prepreke povezane s korištenjem VR-a u sportskom treningu. Neke sportske organizacije i sportaši možda si ne mogu priuštiti VR opremu i softver, što je jedan od primarnih problema. Štoviše, kvaliteta VR iskustva može varirati ovisno o korištenoj tehnologiji, što može utjecati na učinkovitost programa obuke. [13]

Još jedna prepreka je zahtjev da iskusni treneri razviju i provedu učinkovite programe obuke koristeći VR. Dok VR tehnologija može pružiti realistično okruženje za trening, ona ne može zamijeniti stručnost trenera s potpunim razumijevanjem sporta i vještina potrebnih za učinkovito treniranje sportaša koristeći VR. [13]

## **2.4. PRIMJERI KORIŠTENJA VIRTUALNE STVARNOSTI U SPORTOVIMA**

Korištenje VR tehnologije za analizu sportske izvedbe uključuje proces u tri koraka (Slika 10.). Prvi korak uključuje snimanje radnji sportaša u određenom sportu. Ove radnje nisu samo korisne za animaciju virtualnih likova, već također pružaju način za usporedbu pokreta ispitanika u stvarnim i „uronjenim“ (eng. *immersive*) situacijama. Drugi korak odnosi se na animaciju virtualnih humanoida i njihovu prilagodbu određenim ograničenjima kako bi se izmijenio samo jedan dio simulacije. Treći korak uključuje prezentaciju virtualnog okruženja. [14]



**Slika 10. Tri koraka potrebna za analizu sportske izvedbe [14]**

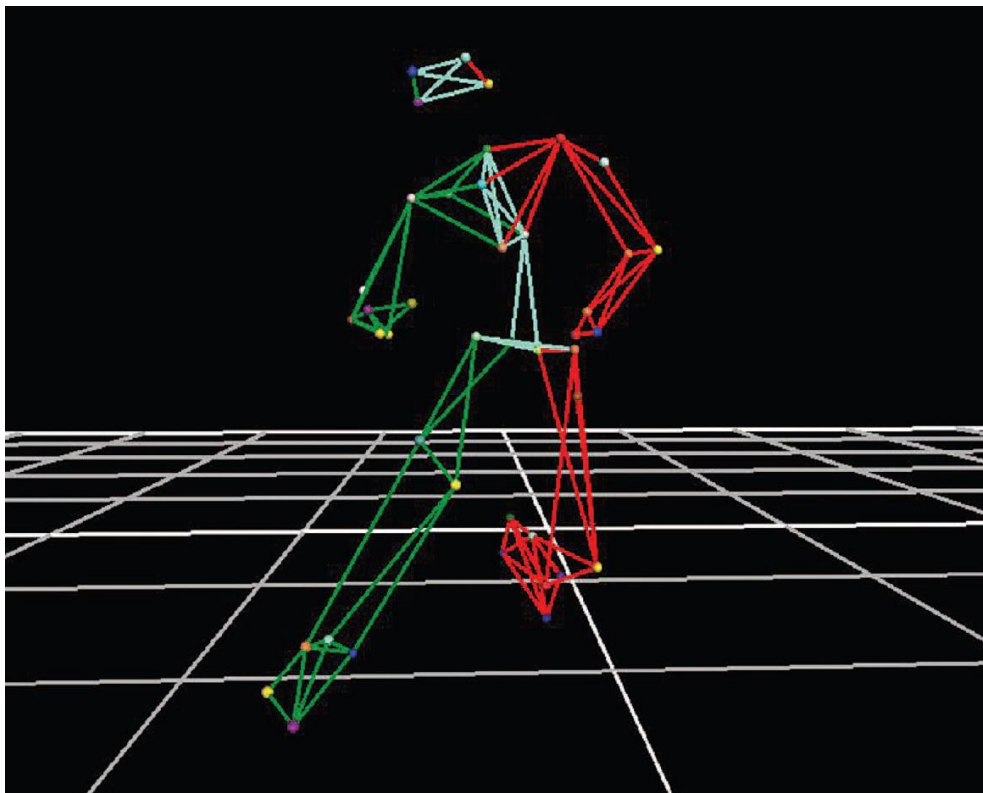
## 2.4.1. Ragbi [14]

### 2.4.1.1. Snimanje sportskih kretnji

U sljedećem primjeru se koristio sustav „Vicon motion-capture“ grupe Oxford Metrics, kojim se bilježilo kretanje vrhunskih sportaša u stvarnim situacijama. Pokreti su snimani na 200 Hz pomoću 12 infracrvenih kamera. U svakom eksperimentu se opremilo ispitanike s 43 markera koja su postavljena na anatomske orijentire kako bi se precizno rekonstruirao 3D položaj i orijentacija svakog dijela tijela.

Za svaku sesiju snimanja pokreta istovremeno su se bilježila kretanja dva različita igrača: napadača i braniča. Napadač je nosio loptu i pokušao preći braniča brzom promjenom smjera. Branič je pokušao spriječiti napadača da ga prođe. Snimanje radnji oba igrača omogućuje retrospektivnu dubinsku biomehaničku analizu onoga što napadač čini kako bi uspješno prešao braniča.

Na slici 11. je prikazan snimak pokreta ragbi igrača koji je koristio sustav Vicon, kojeg ispitanik vidi pri odabiru smjera kretanja igrača.



Slika 11. Pokreti ragbi igrača snimljeni sustavom Vicon [14]

#### 2.4.1.2. Animacija sportskih radnji

Nakon snimanja pokreta u stvarnim situacijama, animirali su se virtualni likovi pomoću MKM (eng. *Manageable Kinematic Motions*) animacijskog enginea. Ovaj se prikaz temelji na kartezijskim i kutnim podacima, omogućujući brzokretnu prilagodbu ograničenjima. Ova značajka olakšava realističnu animaciju likova, na primjer, osiguravajući da stopala dodiruju tlo bez uobičajenih efekata klizanja (kada izgleda kao da animirani likovi klize po podlozi umjesto da su čvrsto postavljeni na njoj). MKM nudi alat za rješavanje inverzne kinematike i kinetike koji se temelji na intuitivnim ograničenjima. Ovaj alat za rješavanje problema omogućuje jednostavnu promjenu položaja i orijentacije bilo koje točke tijela, čak i na koži.

Brzokretna prilagodba pokreta također je važna za proučavanje izvedbe. Omogućuje izmjenu samo jednog parametra pokreta u isto vrijeme (na primjer, igračev položaj ručnog zgloba pri ispuštanju lopte). Zatim se može odrediti važnost svakog parametra uspoređujući prosudbu ili radnju „uronjenog“ sportaša kada je ispred animacije sa i bez ovog modificiranog parametra.



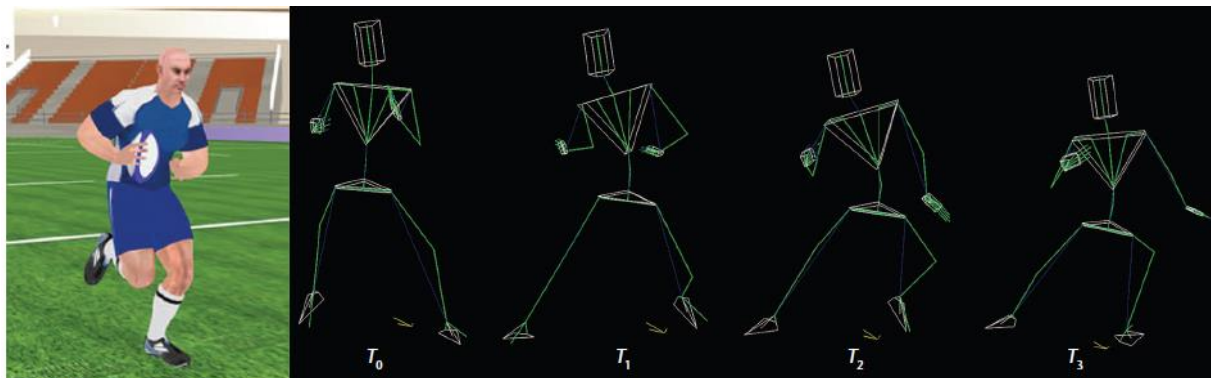
#### 2.4.1.3. Provođenje testiranja prepoznavanja lažnih pokreta napadača

U eksperimentu se koristio spomenuti Vicon *motion-capture* sustav za snimanje položaja i orijentacije glave pomoću pet markera postavljenih na HMD-u (Slika 12.). Testirana je bila sposobnost iskusnih igrača i početnika u ragbiju da otkriju lažno kretanje napadača koji im se približava.



**Slika 12.** Naglavni zaslon (HMD, eng. *Head Mounted Display*) [14]

Kako bi se proučila sposobnost igrača ragbija da otkrije lažna kretanja suparnika, prikazali su se položaji napadača u različitim vremenskim odsječcima (Slika 13.). Prikazani odsječci su bili na pretposljednem koraku (T0), koji se dogodio prije promjene smjera. Ostale granične vrijednosti bile su 100 ms (T1), 200 ms (T2) i 300 ms (T3) nakon T0. Za svaki pokret i za svaki odsječak, iskusni ragbijaši i početnici morali su definirati konačan smjer virtualnog igrača. Da bi to učinili, pritisnuli su jednu od dvije tipke na kontroleru *Microsoft SideWinder* (lijevu tipku za igrača koji ide lijevo, desnu tipku za igrača koji ide desno). Njihovi odgovori o smjeru igrača, zajedno s vremenom koje im je bilo potrebno da daju te odgovore se zabilježilo. Te informacije su se koristile kako bi se procijenile razlike između stručnjaka i početnika u ragbiju i njihove sposobnosti da prikupe napredne perceptivne informacije o tome u kojem će smjeru igrač trčati.



Slika 13. Položaji napadača u različitim vremenskim odsječcima [14]

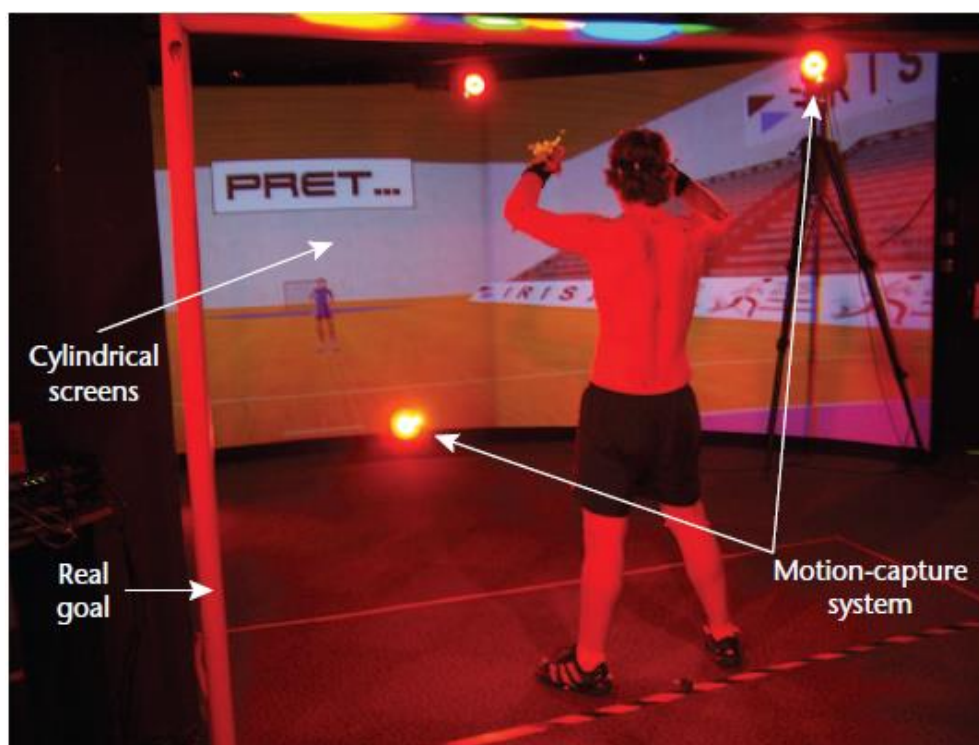
#### 2.4.2. Rukomet [14]

Ovdje je glavni cilj bio procijeniti vještinu predviđanja i vidjeti kako se ona odnosi na izvedbu. Sposobnost predviđanja pokreta protivnika pokazala se kao pouzdana razlika između stručnjaka i početnika u mnogim sportovima koji imaju uska vremenska ograničenja. Ovdje se definira izvedba kao vratareva sposobnost da presretne loptu kada je suočen s različitim akcijama bacanja i putanjama lopte. U ovom eksperimentu, standardiziranje šuta i pružanje interakcije u stvarnom vremenu između vratarevih pokreta i putanje lopte su imperativ za procjenu uspješnog presretanja. Analiza predviđanja i izvedbe u stvarnom okruženju ili pomoću videa ne bi bile adekvatne. Naime, u oba slučaja, stvarna osoba bi morala baciti loptu, što bi bilo inherentno promjenjivo, što bi onemogućilo točnu reprodukciju ili standardizaciju akcije šutiranja i rezultirajuće putanje lopte. Štoviše, iako videosustav može ponavljati istu radnju, ne može detektirati sudare između lopte i vratarevih udova jer ne može prikazati trajektoriju lopte u 3D. VR omogućuje savladavanje ovih ograničenja pružajući okruženje sa standardiziranim bacanjima i interakcijom u stvarnom vremenu između rukometnog vratara i putanje lopte.

Kako bi se osiguralo da se vratar može slobodno kretati, koristio se imerzivni sustav. Ovaj sustav uključuje tri sinkronizirana video projektora Barco 1208 koja projiciraju 3D sportsku dvoranu prikazanu na velikom cilindričnom zaslonu. 3D pogled se postigao pomoću stereoskopskih naočala aktiviranih na 60 Hz (30 Hz za svako oko) i interaktivno se ažurirala točka gledišta pomoću četiri Vicon markera za praćenje promjene položaja glave u stvarnom vremenu.

Kako bi se zabilježili vratarevi pokreti dok je virtualni igrač bacio loptu, postavilo se 36 pasivnih markera Vicon na anatomske orijentire na tijelu. Uhvaćeni pokreti različitih dijelova tijela pružili su vitalne informacije za potpunu analizu ponašanja o tome kako su igrači reagirali (akcija) na promjenjive vizualne informacije (percepcija).

Na slici 14. je prikazan stvarni vratar koji stoji ispred cilindričnog ekrana na kojem se nalazi virtualni šuter. Također vidimo i sustav za snimanje pokreta te pravi gol u svrhu stvaranja čim realističnijeg doživljaja.



**Slika 14. Stvarni vratar ispred virtualnog šutera [14]**

Vratar je morao zaustaviti virtualnu loptu kretnjom prema točki presretanja. Da bi to učinio, stao je na pravi gol, koji je veličinom i položajem odgovarao virtualnom голу. Tražilo se od vratara da se kreće kao da zaustavlja loptu u stvarnoj situaciji na utakmici, a tijekom svakog pokušaja su se snimali njegovi pokreti. Vratar je morao zaustaviti 50 virtualnih šuteva, predstavljenih nasumičnim redoslijedom.

### **2.4.3. Treniranje američkog nogometa [15]**

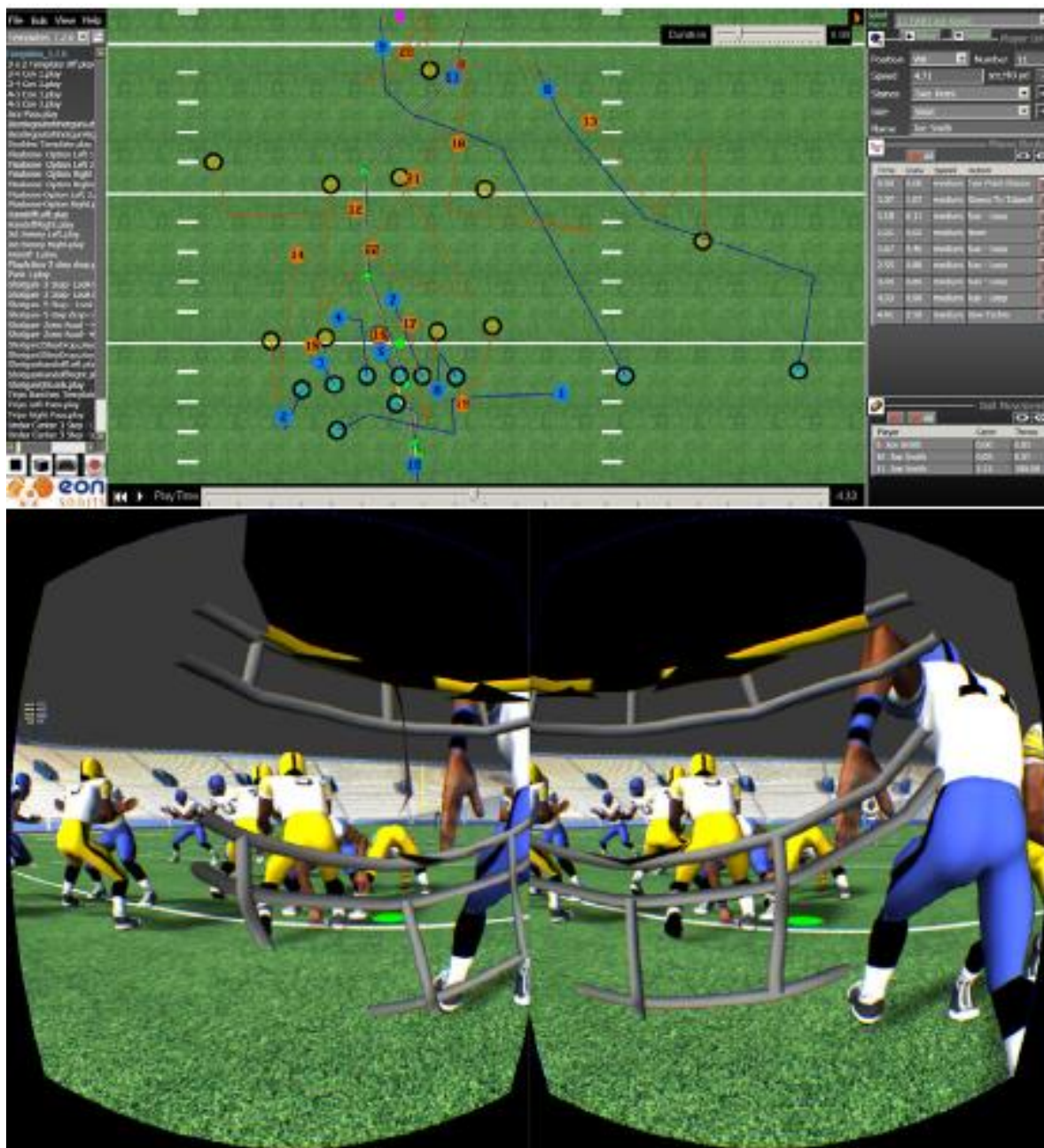
U ovom primjeru se koristi VR alat pod imenom SIDEKIQ za treniranje američkog nogometa koji pruža realistično iskustvo vježbanja kroz sljedeće aspekte: pokreti visoke vjernosti,

uranjajući *rendering* s praćenjem glave i pažljivo kreirana akcija. S jednostavnim korisničkim sučeljem i unaprijed učitanim predlošcima za igru, treneri mogu jednostavno i brzo kreirati akcije za trening u SIDEKIQ-u kao VR alatu.

Ukupno 50 isječaka pokreta, uključujući osam stavova, 12 dodavanja, šest trčanja i sedam blokova, segmentirano je iz opsežne baze podataka o snimanju kretanja u nogometu nakon obrade. Određeni isječci poput trčanja i bloka obrađeni su za besprijekornu reprodukciju u petlji. U tipičnoj igri, igrač počinje pokretom u stavu, a zatim prelazi na jednu od kretnji nakon početnog dodavanja.

Izvedba korisničkog sučelja (UI), (Slika 15. gore), bila je usmjerena na jednostavnost. Kao alat za kreiranje akcija, SIDEKIQ uglavnom koriste nogometni treneri koji nisu vješti s računalima. Minimalistički elementi korisničkog sučelja vidljivi korisniku bili su ključni za jednostavnost korištenja: popis za reprodukciju, podaci o igraču, rute igrača i rute lopti. Svi elementi korisničkog sučelja mogu se jednostavno sakriti kada se okvir za prikaz renderiranja prebaci na cijeli zaslon za imerzivno renderiranje. S unaprijed učitanim predlošcima za akcije, trener može trenutno odabrati uobičajene formacije kao početnu točku i povlačiti igrača uokolo u pogledu odozgo prema dolje kako bi kreirao nove akcije ili modificirao postojeće.

Provele su se korisničke procjene kako bi se kvantificirala učinkovitost VR treninga posebno za trening američkog nogometa. Za ovu evaluaciju angažirano je 17 nogometaša, koji svi igraju na poziciji *quarterbacka* u rasponu od 7. razreda do sveučilišnih juniora. Cilj je bio usredotočiti se na sposobnost svakog ispitanika da „pročita“ obranu nakon početnog dodavanja i ispravno identificirati najboljeg *receivera* kojemu treba baciti loptu, što ukratko opisuje što *quarterbackovi* rade.



**Slika 15.** Gore: Dizajn korisničkog sučelja, Dolje: Pogled iz kacige koji simulira što igrač vidi [15]

Za procjenu je profesionalni nogometni trener osmislio 10 probnih akcija. Svaki ispitanik nosi Oculus DK-1 s omogućenim SIDEKIQ prikazom kacige, tako da virtualno vidi ono što *quarterback* vidi na terenu (Slika 15. dolje). Procjena zahtjeva da svaki ispitanik gleda sve probne akcije nasumičnim redoslijedom. Trener stoji pored ispitanika i kontrolira reprodukciju igre pomoću kontrolera Xbox dok gleda klonirani prikaz sa HMD-a (Slika 16.). To omogućuje treneru da promatra kamo ispitanik gleda kada donosi odluku o dodavanju.

Trener započinje igru na samom početku s formacijom od 22 igrača (ili podskupom igrača koji su relevantni za procjenu), a reprodukcija se nastavlja do nekoliko sekundi nakon početnog dodavanja kada dolazi savršeni trenutak za dodavanje lopte. Ispitanik mora odmah identificirati najboljeg *receivera* kojem će baciti loptu, u roku od tri sekunde nakon postavljanja pitanja, i zarađuje 1 bod ako odgovori točno. Neuspjeh u identificiranju ispravnog *receivera* ili neuspjeh odgovora na pitanje unutar tri sekunde sobom nosi 0 osvojenih bodova. Ograničenje od tri sekunde je zato što predugo odgađanje dodavanja može dati braničima vremena da blokiraju prostor i kut dodavanja, te da ispitanici promaše priliku za dodavanjem. Svaki je pokus osmišljen tako da ispitanik mora odabrati najbolji mogući odgovor (ili odgovore) s popisa od četiri izbora. Šest pokušaja od 10 su pitanja s jednim izborom. Preostala četiri pokusa imaju po dva točna odgovora.



Slika 16. Evaluacija ispitanika koji koriste naglavni zaslon Oculus DK-1 [15]

#### 2.4.4. Procjena nogometnih vještina uz VR [18]

##### 2.4.4.1. „Čitanje“ igre

Nogometaši moraju razlikovati okolne radnje u stvarnom vremenu uglavnom na temelju vizualnih informacija. Kako bi donijeli najbolju odluku o dodavanju, moraju učinkovito istražiti najopsežnije područje terena unutar ograničenog vremenskog raspona. Maksimiranje odluka o dodavanju u igri postiže se ispravnim predviđanjem pozicija suigrača i suparnika na terenu. U ovom slučaju pomicanje samo očiju nije dovoljno. Međutim, pomicanje glave i tijela može maksimalno povećati područje pokriveno radnjom vizualnog pretraživanja (VEA,

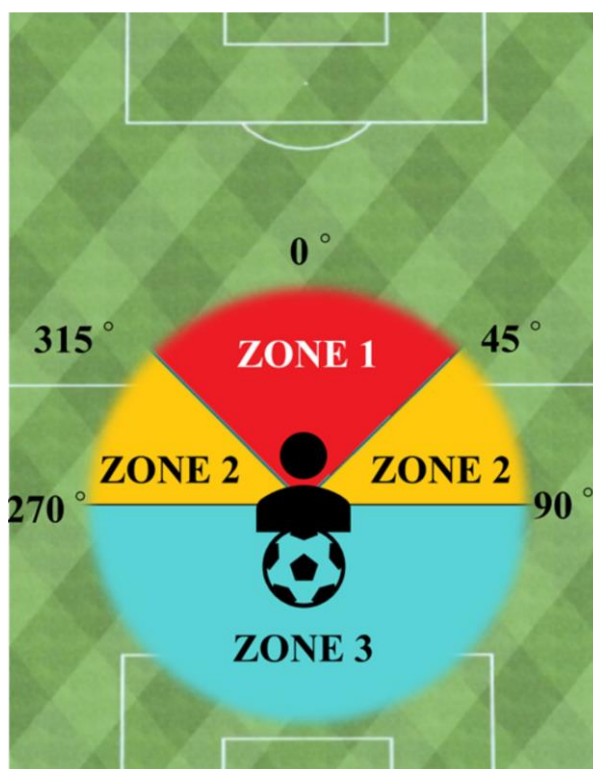
eng. *Visual Exploratory Activity*). Ovi elementi su kritične komponente sposobnosti „čitanja“ igre.

Kako bi se potvrdio tehnološki prijedlog ovog rada, proveo se dobrovoljni eksperiment koji je uključivao 24 nogometaša. Njih 12 bili su početnici. Ostalih 12 bili su amateri, koji su aktivno igrali u sveučilišnoj ligi.

#### 2.4.4.2. Zonska podjela

Budući da je ovo prvi sustav temeljen na VR-u koji kvantitativno mjeri VEA komponentu, prvotno je uspostavljen bodovni kriterij VEA. Prostor interesa (FoR, eng. *Field of Regard*) naglavnog zaslona podijeljen je u tri ključne zone (Slika 17.), kako bi se identificirao postotak vremena provedenog u virtualnom okružju (VE, eng. *Virtual Environment*) prije donošenja odluke o dodavanju pod pritiskom suparnika.

Kumulativni ukupni postotak vremena provedenog gledajući svaku odgovarajuću zonu može točno izmjeriti stupanj i vrstu VEA koju je igrač izvršio tijekom sesije na simulatoru.

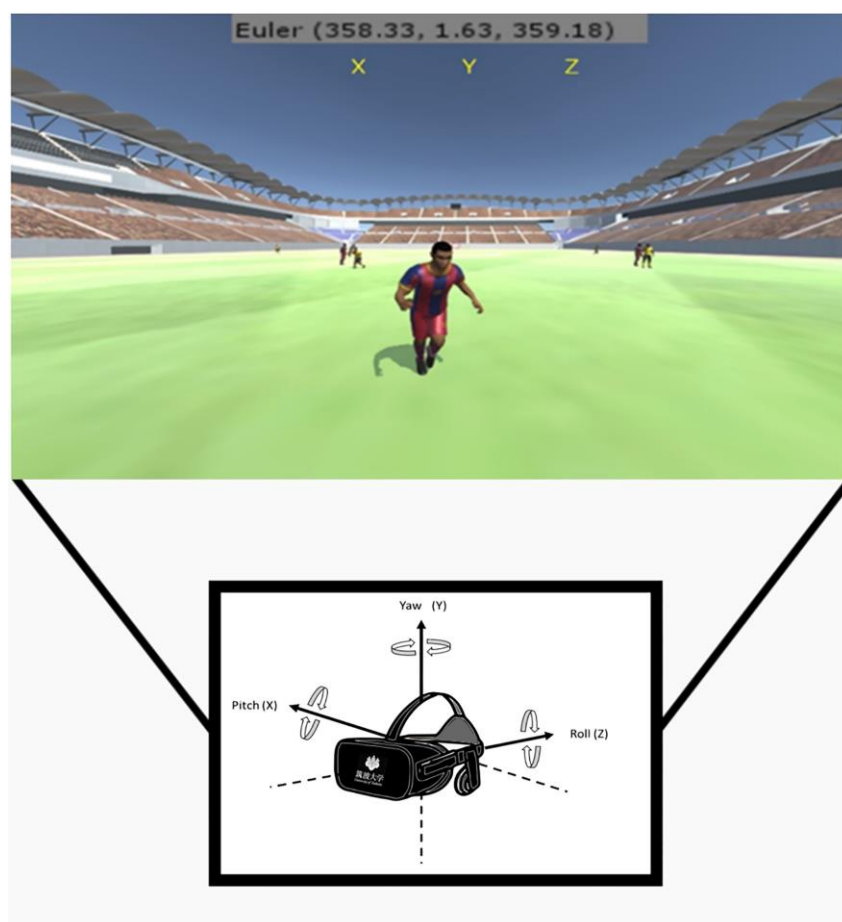


Slika 17. Zonska podjela VEA [16]

#### 2.4.4.3. Dobivanje podataka o rotaciji glave s naglavnog zaslona

Za vizualnu i slušnu povratnu informaciju odabran je Oculus Rift Consumer Version 1. Mjerio se VEA dijeleći HMD-ov prostor interesa u tri referentne zone. Preko sustava Oculus Rift CV1 se pratio smjer gledanja. Izvorni sustav praćenja od Oculus Rift CV1 izvukao je informacije o orijentaciji glave igrača. Izdvajanjem Eulerovih kutova orijentacije glave (Slika 18.), analiziran je i uspoređen smjer pogleda. Prema Eulerovom teoremu o rotaciji, bilo koja 3D orijentacija može se proizvesti jednom rotacijom oko jedne osi kroz ishodište.

Nakon bilježenja Eulerovih kutova okvir po okvir i spremanja kao CSV datoteke, smjer pogleda povezan je s VEA zonskom podjelom svaki put kada korisnik gleda u svaku od tri odgovarajuće regije.



Slika 18. Eulerovi kutovi dobiveni iz HMD-a [16]



#### 2.4.4.4. Kinetičko praćenje tijela

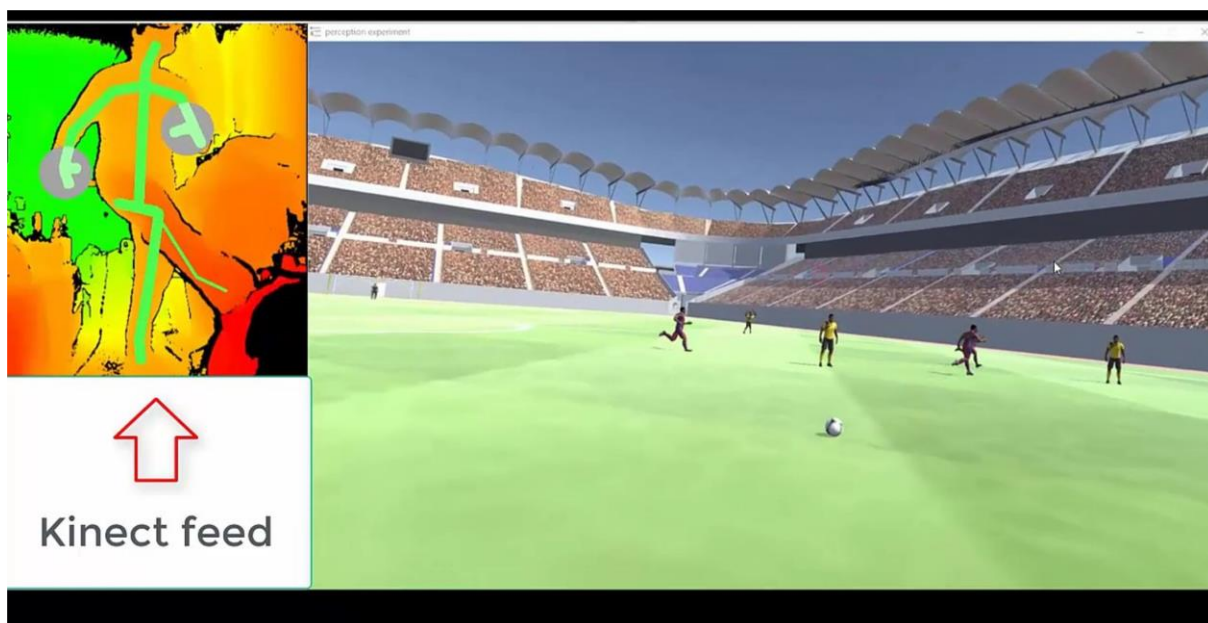
Kako bi se ostvario uranjajući VR doživljaj cijelog tijela, integriran je sustav za prepoznavanje gesta s kinetičkim praćenjem tijela. Koristio se Microsoft Kinect Windows v2 kontroler pokreta.

Softver VGB (eng. *Visual Gesture Builder*) korišten je za generiranje podataka koje je sustav koristio za otkrivanje geste dodavanja.

#### 2.4.4.5. Virtualno okruženje

Unity 3D, naširoko prihvaćeni *engine* za igre, korišten je kao program računalne grafike. Budući da virtualno okruženje (VE, eng. *Virtual Environment*) treba vjerno dočaravati situaciju stvarne nogometne utakmice, uključuje u sebi i prepun nogometni stadion koji pruža snažan osjećaj prisutnosti i stvara stres vezan uz zadatak za korisnika.

Na slici 19. lijevo, prikazana je slika ispitanika pri izvođenju radnje dodavanja, koju je senzor detektirao, dok je na desnoj strani slike 19. prikazano rezultirajuće dodavanje unutar virtualnog okruženja.



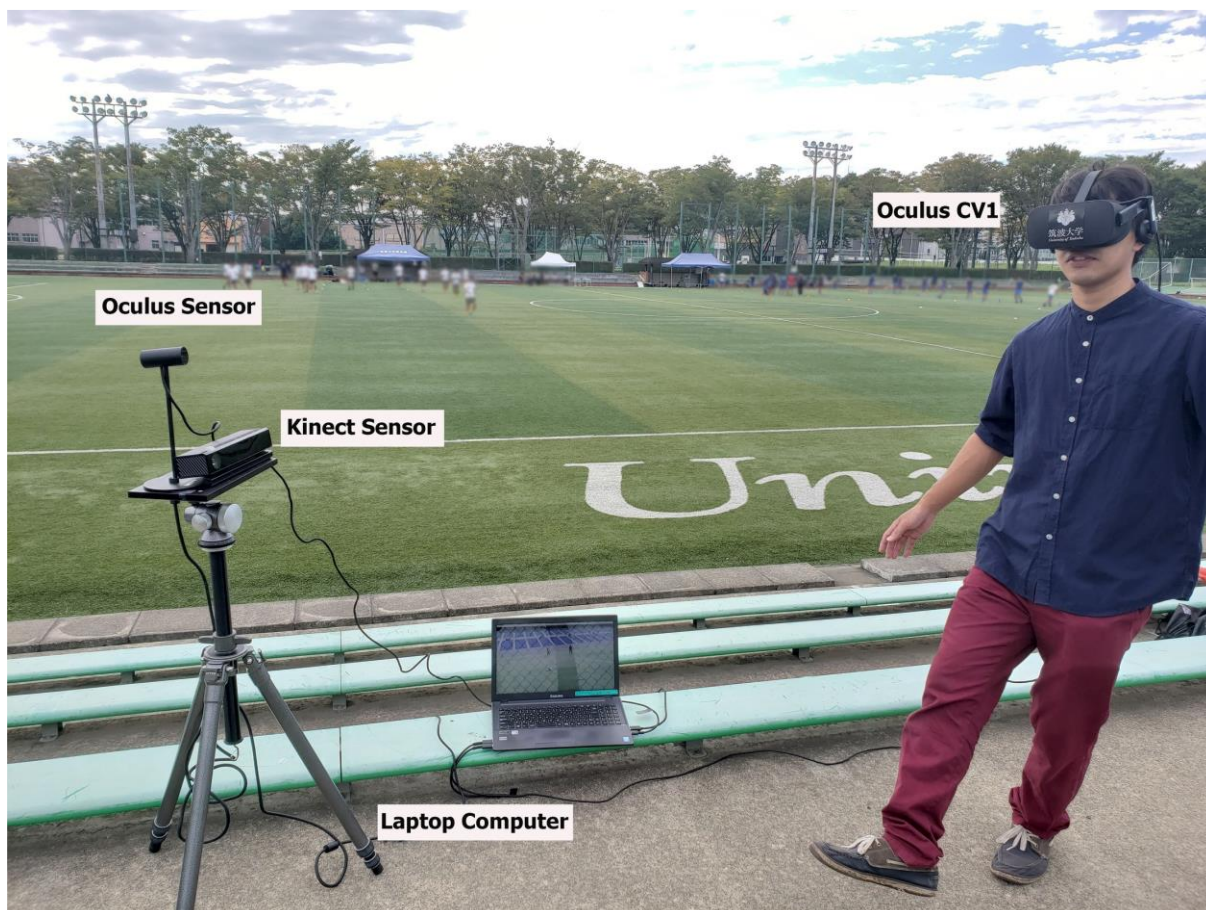
**Slika 19. Lijevo: Slika koju detektira senzor dok korisnik izvodi pokret(e) pri dodavanju, Desno: Rezultirajuće dodavanje u VE-u [16]**

#### 2.4.4.6. Eksperiment prikladnosti uređaja

Procijenjena su dva ulazna uređaja (Kinect ili Gamepad) kako bi se utvrdilo koji od njih pruža značajnije iskustvo uranjanja. Zaključak je bio da su kinetički kontroleri bolji za uranjajući VR od onih sa tipkama (Gamepad), zbog snažne poveznice između interakcije ulaznog uređaja sa cijelim tijelom i učinka radnji vizualnog pretraživanja.

Eksperiment je trajao u prosjeku 20 minuta, s jednim pokusom po ispitaniku. Nakon završetka dviju probnih scena i javljanja da se osjeća pouzdano s načinom rada sustava, sudionik je dobio upute da se pripremi za pristup sceni 3 (scena "Test") i da napravi najbolje moguće dodavanje. Nakon što je sudionik pristupio sceni, smjer gledanja je zabilježen i spremljen kadar po kadar za naknadnu analizu. Simulacija je završila dodavanjem lopte.

Slika 20. prikazuje sudionika VR simulacije koji izvodi dodavanje unutar virtualnog okruženja uz prikaz glavnih komponenti postava.



Slika 20. Sudionik izvodi dodavanje unutar virtualnog okruženja [16]

### 3. DIGITALNE TEHNOLOGIJE U FORMULI 1

Formula 1 (F1) već je dugo jedno od tehnološki najnaprednijih natjecanja na svijetu i ne treba čuditi što VR u Formuli 1 ima brojne primjene. Što se tiče tehnologije, Formula 1 je uvijek prva koja se prilagođava, pa čak i pionir u novim razvojinama, zbog čega je virtualna stvarnost značajno utjecala na taj sport. Momčadi Formule 1 mogu svojim vozačima pružiti realno iskustvo treninga bez troškova postavljanja automobila na stazu. [17]

Kako je sve više tehnologije ulazilo na F1 scenu, započela je revolucija. F1 automobili postajali su „pametniji“ s ugrađenom tehnologijom. Na primjer, Williamsov *smart suspension* ranih 90-ih, uobičajena značajka u većini komercijalnih automobila danas, bio je revolucionarna inovacija u to vrijeme i pomogao je timu da osvoji dva naslova svjetskog prvaka 1992. i 1993. godine. [18]

Baš kao i moderna poduzeća, ova su otkrića dala konkurentsku prednost onima koji su mogli ulagati u istraživanje i razvoj. [18]

#### 3.1. KORIŠTENJE DIGITALNIH TEHNOLOGIJA U F1

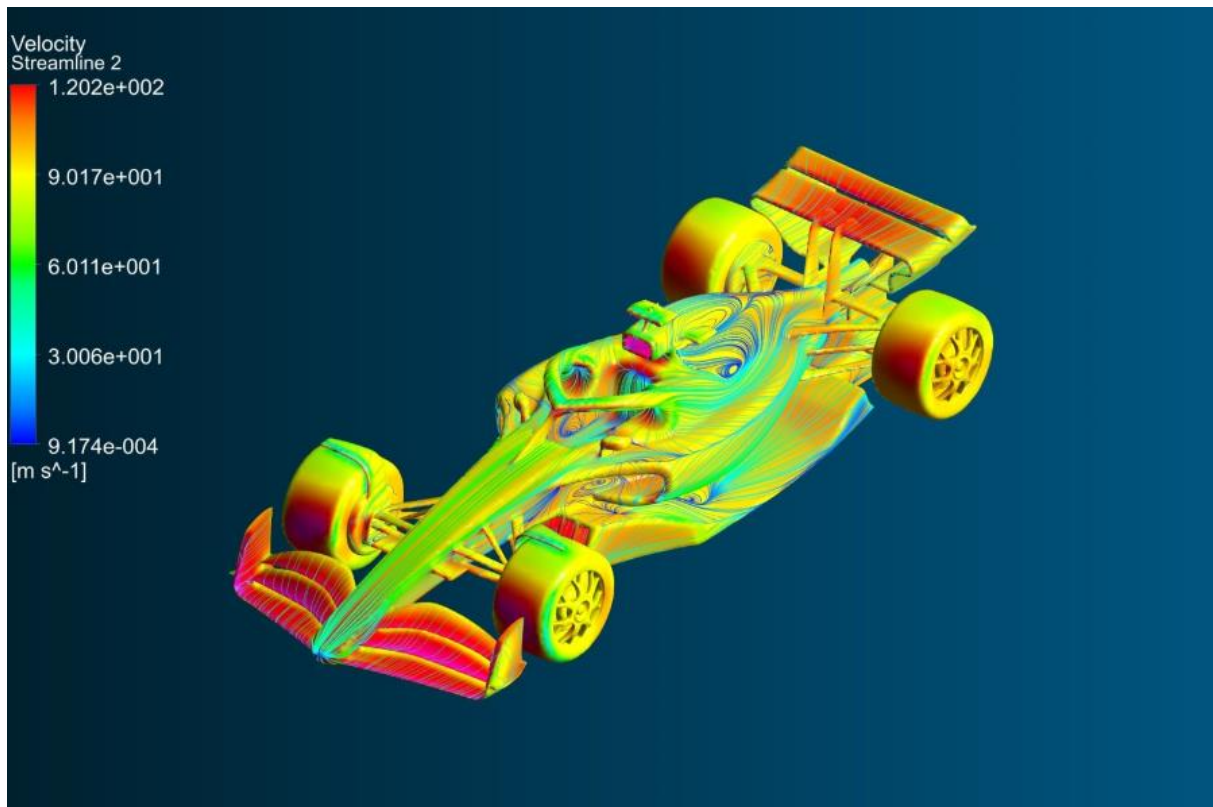
##### 3.1.1. Digitalni blizanci

Sve počinje s dizajnom i razvojem bolida F1. Baš kao što je softver dao brzinu modernim poslovnim divovima, on inženjerima F1 daje mogućnost bržeg iteriranja i eksperimentiranja u mnogo većoj mjeri, čak i prije nego što je prototip izgrađen. [18]

Korištenjem računalstva visoke performanse, F1 timovi mogu provoditi aerodinamičke simulacije kako bi razvili svoj bolid sljedeće generacije 70 % brže nego ikad prije, stvarajući bolid koji smanjuje gubitak potisne sile s 50 % na samo 15 %. [18]

U trenutku kada prototip prvi put stigne u zračni tunel, već ima tisuće sati testiranja kroz digitalne simulacije. [18]

Čak i F1 vozači postaju spretniji s naprednim simulatorima koji mogu donijeti stvarna iskustva u kontrolirana okruženja, pružajući više podataka i više vremena za vježbanje i poboljšavaju sinergiju čovjek-stroj. [18]



**Slika 21. Primjer Digitalnog blizanca [18]**

Cilj inženjera je dizajnirati bolid koji je u dijelovima staze kao „zalijepljen“ za asfalt (kao da se vozi po tračnici) tako da je brzina u zavojima vrlo velika. Međutim, također mora biti učinkovit kako ne bi gubio brzinu na ravnim dijelovima staze. Ovi zahtjevi čine aerodinamiku ključnim aspektom performansi automobila. Od sezone 2021. kada se primjenjuje klizna ljestvica vremenskog ograničenja za korištenje zračnog tunela i CFD-a, uloga virtualnog dizajna još je važnija. [19]

### 3.1.2. Senzori za prikupljanje podataka

Svaki bolid može imati oko 150 do 200 senzora za prikupljanje i slanje telemetrijskih podataka uživo svakih 0,001 s od trkaćih staza natrag u njihovo tehnološko sjedište.

Optički senzori proklizavanja često se koriste u bolidima zbog svoje visoke točnosti i niske latencije. Koriste se unutar guma za mjerenje: deformacije bočne stijenke, deformacije gaznog sloja, kontaktnog pritiska otiska i duljine otiska. Ta se mjerenja prenose i spajaju s tlakom u gumama i temperaturom površine okoline i staze. [19]

Senzori za tlak zraka na prednjem krilu i kroz karoseriju omogućuju timskim aerodinamičarima mjerenje zračnog tlaka i opterećenja.

Papučica za gas dio je tehnologije *fly-by-wire*; njegovu upotrebu mjeri senzor unutar garaže koji daje postotak na temelju količine pritiska na papučicu od strane vozača, gdje je 100 % pritisnuto do kraja.

U tvornici, digitalni blizanci (Slika 21.) testiraju se ovim stvarnim podacima i opažanjima.

Svaka komponenta bolida ima digitalnog blizanca na kojem se izvode simulacije prije proizvodnje fizičkog dijela. To omogućuje timu da dizajnira nove dijelove koje nisu mogli dizajnirati prije pet godina i provede testove performansi i pouzdanosti na dijelovima u simulaciji prije nego što se postave na bolid. [19]

### 3.1.3. Računalna dinamika fluida (CFD)

U industriji trkaćih automobila, računalna dinamika fluida (CFD, eng. *Computational Fluid Dynamics*) je znanost u nastanku u području aerodinamičkog dizajna. Tijekom posljednjeg desetljeća aerodinamičari su otkrili rastući interes za korištenje računala i CFD metoda za simulaciju ispitivanja u zračnom tunelu ili uvjeta na stazi. Ukratko, CFD kodovi simuliraju strujanje preko automobila kroz matematičko modeliranje i rješavanje diskretnog modela.

Postoje tri razloga zašto F1 timovi i industrija počinju koristiti CFD softver [20]:

- uvid
- predviđanje
- učinkovitost.

### 3.1.3.1. Uvid

Ako postoji dizajn uređaja ili sustava koji je teško ili skupo izraditi kao prototip ili testirati kroz eksperimentiranje, CFD analiza omogućuje virtualni ulazak u dizajn i pogled u to kako radi. Postoje mnoge pojave kojima je moguće svjedočiti putem CFD-a, a koje ne bi bile vidljive ni na koji drugi način.

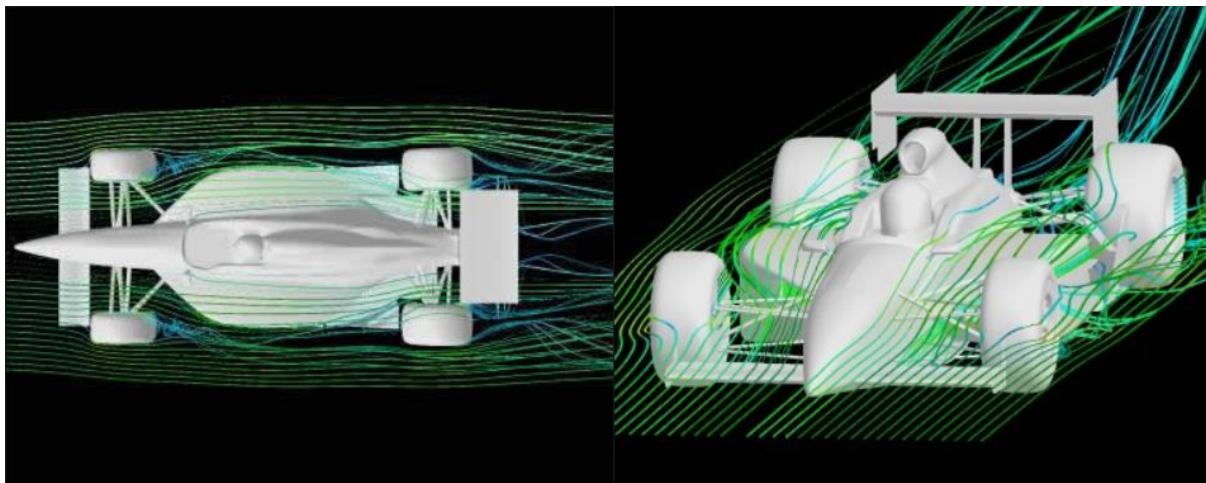
### 3.1.3.2. Predviđanje

Budući da je CFD alat za predviđanje onoga što će se dogoditi pod određenim okolnostima, može brzo odgovoriti na mnoga "što-ako" pitanja. Zada se skup graničnih uvjeta, a softver daje rezultate. U kratkom vremenu se može predvidjeti kako će dizajn funkcionirati i testirati mnoge varijacije dok se ne dođe do najboljeg rezultata. Sve je to moguće prije fizičke izrade prototipa i testiranja.

### 3.1.3.3. Učinkovitost

Predviđanje koje se dobije od CFD-a pomaže da se dizajnira bolje i brže, i da se uštedi novac, ispune propisi i osigura usklađenost s pravilima FIA-e. CFD analiza vodi do kraćih ciklusa dizajna i timovi mogu brže pratiti svoj bolid. Osim toga, poboljšanja opreme izrađuju se i instaliraju uz minimalno vrijeme zastoja. CFD je alat za sažimanje ciklusa dizajna i razvoja koji omogućuje brzu izradu prototipova.

Na slici 22. vidi se prikaz gibanja fluida po površini bolida kako to izgleda tijekom simulacije u sklopu CFD analize.



Slika 22. Prikaz gibanja fluida po površini bolida [20]

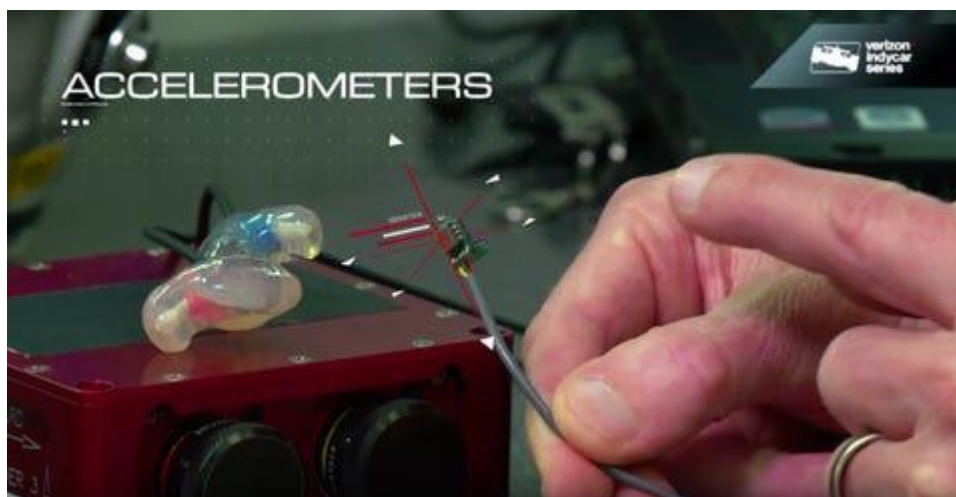
#### 3.1.4. Nosivi uređaji u F1

Nosivi uređaji postaju sve važniji u F1 kako bi pomogli poboljšati nadzor i sigurnost vozača F1. Na primjer, upravno tijelo F1, FIA, izdalo je zahtjev za sve timove da koriste pametne rukavice (Slika 23.), koje mogu bilježiti biometrijske podatke (brzinu disanja i temperaturu) tako da ih timovi imaju na raspolaganju nakon što utrka završi. Rukavice imaju fleksibilni senzor širine 3 mm i bilježe razne vitalne parametre poput otkucaja srca i kisika u krvi. Senzor se napaja pomoću male baterije, koja se može puniti bežično na bilo kojem bežičnom punjaču. Senzor može prenositi podatke putem Bluetootha (do 500 m) na mali uređaj za pohranu podataka pohranjen u bolidu. Ideja je pomoći timovima da reguliraju zdravlje svojih vozača u iznimno stresnom okruženju F1. Rukavice također mogu pomoći liječnicima da prate zdravstveno stanje vozača u slučaju nesreće. Osim toga, mogu pomoći F1 timovima u razvoju budućih F1 bolida u skladu s tim kako bi zaštitili vozača od bilo kakvog većeg zdravstvenog problema. [21]



Slika 23. Pametna rukavica u F1 [21]

Slušalice (Slika 24.) još su jedna vrsta nosive opreme koju često koriste vozači F1. Uključuju sićušne akcelerometre, spojene na elektroničku upravljačku jedinicu bolida, koji mjere sile kojima je glava izložena pri bilo kakvom udaru.



Slika 24. Pametna slušalica [21]



## **3.2. KORIŠTENJE VIRTUALNE STVARNOSTI U F1**

VR je doveo revoluciju u svijetu F1 stvarajući uranjajuće doživljaje treniranja vozačima. Također je veoma vrijedan i koristan alat u poboljšavanju doživljaja obožavateljima sporta koristeći razne kuteve snimanja i VR aplikacije. Virtualna okruženja pružaju veoma realistične uzorke gibanja fluida po bolidu te time pomažu pri stvaranju još efikasnijih aerodinamičkih dizajnova koji optimiziraju brzinu i jednostavnost upravljanja. Industrija igara je također dobila nove prilike za stvaranje karijera korištenjem VR alata za igranje i natjecanje u F1 igrama uz čim realističnija iskustva.

### **3.2.1. Emitiranje**

Tehnologija emitiranja značajno je napredovala u posljednjim desetljećima. Kao tehnologija u nastanku u sportu, virtualna stvarnost može omogućiti obožavateljima da ostanu angažirani bez obzira na njihovu lokaciju. Kamere od 360°, koje će biti stavljene na bolid, pružaju gledateljima jedinstvenu perspektivu utrke [17], naime, gledatelj može ležerno razgledati stazu, okolinu, publiku ili čak sam bolid iz udobnosti svoga doma.

### **3.2.2. Igranje**

Virtualna stvarnost samo je pridonijela uzbuđenju igranja za ljubitelje Formule 1. Na primjer, postoji igra pod nazivom F1 23 koja se može igrati s HMD-om na računalu. [17]

U F1 23 se može utrkiivati s potpuno novim bolidima Formule 1 iz sezone 2023. i igrati kao jedan od 20 vozača iz deset različitih timova. [17]

Svijet F1 također je prihvatio eSports. Svi timovi Formule 1 sada su posvećeni stvaranju vlastite eSports opreme za natjecanje u eSport natjecanju. Vozači odabrani od strane F1 timova natječu se u tri događaja uživo kako bi odlučili virtualna svjetska prvenstva za vozače i timove s nagradom od najmanje 200 000 USD. [21]

]

### 3.2.3. Trening

Virtualna stvarnost promijenila je način na koji se mnoge stvari rade, uključujući način na koji će vozači F1 biti trenirani izvan staze.

VR omogućuje vozačima i timovima da vježbaju i pripremaju se za utrke u simuliranom okruženju koje pobliže replicira stvarne uvjete na koje će naići na stazi.

Postoji nekoliko načina na koje se VR koristi za trening u Formuli 1 [17]:

- Simulacija utrke: VR headseti se mogu koristiti za simulaciju iskustva vožnje na različitim stazama i u različitim vremenskim uvjetima, omogućujući vozačima da steknu osjećaj za izgled staze i naviknu se na jedinstvene izazove svake staze.
- Vježbe: VR se može koristiti za repliciranje iskustva vježbanja na stazi, omogućujući vozačima da razumiju upravljanje i performanse automobila te vježbaju svoju strategiju utrke.
- Timska komunikacija: VR može simulirati timsku komunikaciju i scenarije zaustavljanja u boksovima, omogućujući vozačima i članovima tima da vježbaju zajednički rad i koordinaciju svojih napora u simuliranom okruženju.
- Sigurnosna obuka: VR se također može koristiti za simulaciju hitnih situacija i podučavanje vozača kako reagirati, poboljšavajući njihovu sigurnost na stazi.

Sve u svemu, VR u Formuli 1 pruža vrijedan alat za trening, omogućujući vozačima i timovima da se pripreme za utrke u kontroliranom i realističnom okruženju.

### 3.2.4. Neurotech [21]

Neuroznanost je još jedna tehnologija u nastanku koja se koristi u svijetu F1. Na primjer, neuroznanstveni startup EMOTIV udružio se s FIA-om i napravio VR simulator (Slika 25.), koji može mjeriti moždane valove vozača i prikazati ih u virtualnoj stvarnosti u stvarnom vremenu kako bi bolje razumjeli kako distrakcije i izmijenjena percepcija mogu ugroziti živote ljudi dok voze.



**Slika 25. EMOTIV-ov VR simulator [21]**

EMOTIV je otišao i korak dalje omogućivši vozačima da upravljaju bolidima svojim mozgom. Kvadruplegičar Rodrigo Hübner Mendes je postao prva osoba koja je vozila F1 bolid koristeći moždane valove. [22]

### **3.2.5. Formula VR [23]**

F-VR1 je jedinstven i moderan simulator punog pokreta namijenjen kućnoj upotrebi. Baš kao i F-VR2 i F-VR3, to je ručno rađen i prilagođen simulator utrke. Dizajniran je i projektiran unutar tvrtke posebno za trkaće automobile u stilu formule kao što su: F1, F2 i F3.

Jedna od mnogih jedinstvenih značajki F-VR asortimana je da omogućuje širok izbor položaja, a pritom im svima nudi isto iskustvo utrke.

Dodatak ovim širokim ergonomskim postavkama je potpuno prilagodljiva pedala u stilu formule koja se može podesiti po duljini baš kao pravi trkaći bolid.

VR-FullMotion System je F-VR1 simulator koji ima tri ultra brza pokretača (tri stupnja slobode) koji repliciraju sve detalje površine ceste i neravnine s laserski skeniranih trkaćih staza iz cijelog svijeta.

VR-TractionLoss system je F-VR1 simulator (Slika 26.) ima jedinstveni način razvoja koji replicira proklizavanje tijekom naglog ubrzanja ili *oversteera* (Sklonosti bolida da skrene oštrije nego što je namjeravano zbog gubitka kontrole nad zadnjim krajem vozila).



Slika 26. F-VR1 FullMotion simulator [23]

VR-BeltForce system radi na način da tijekom snažnog kočenja pojasevi (Slika 27.) vrše pritisak na tijelo vozača replicirajući G-sile nastale tijekom kočenja u pravom bolidu Formule.

F-VR easy entry monocoque je sustav upravljanja za jednostavan ulazak. Okretanjem volana izvan prostora kokpita stvara se veći otvor koji omogućuje lak ulazak i izlazak.



Slika 27. Sustav F-VR1 BeltForce [23]

VR-TrackVibe je napredni sustav za reproduciranje čak i najfinijih vibracija u automobilu. Vibracije četiri kotača i motora prenose se kako bi vozači doslovno osjetili asfalt

#### **4. MOGUĆE PRIMJENE VIRTUALNE STVARNOSTI I DIGITALNIH TEHNOLOGIJA U LOKALNOM KOŠARKAŠKOM KLUBU**

U eri brzog tehnološkog napretka, lokalni sportski klubovi se suočavaju sa izazovima prilagođavanja novim trendovima kako bi ostali relevantni i uzbudljivi svojim članovima i zajednici navijača. Stoga implementacija virtualne stvarnosti i drugih digitalnih tehnologija predstavlja ključan korak prema revitalizaciji sportskog iskustva i na lokalnoj razini. Ove tehnologije ne samo da omogućavaju napredne metode treninga za sportaše, već i stvaraju nove načine na koje se utakmice prate i doživljavaju. Kroz ovu digitalnu transformaciju, sportski klubovi mogu ne samo poboljšati učinak svojih ekipa, već i uspostaviti snažniju vezu sa svojom zajednicom, stvarajući interaktivno i inovativno sportsko okruženje.

U nastavku će se navedeno razmotriti za slučaj košarke i lokalnog košarkaškog kluba. Košarka nije bila spomenuta u prijašnjim opisima u radu iz razloga što je cilj bio postaviti širi kontekst same teme te situacija i načina korištenja virtualne stvarnosti. Na temelju toga je odabran sport koji u radu nije bio obuhvaćen – košarka, te je cilj bio predložiti načine implementacije virtualne stvarnosti i digitalnih tehnologija po uzoru na dosada navedenu literaturu.

Nakon dugog niza godina KK Dubrovnik se vratio u premijer ligu hrvatske košarke. Klubu bi iz tog razloga u interesu bilo čim više modernizirati treninge i poboljšati performanse svojih igrača kako bi se uspjesi nastavili. Jedan od načine modernizacije jest naravno implementacija virtualne stvarnosti u treningu. Nadalje, s obzirom da trenutno igraju u najprestižnijoj ligi u Hrvatskoj, s ciljem potencijalnih uspjeha u Europi, neophodno je da također pokušaju povećati angažman navijača. To bi mogli postići korištenjem digitalnih tehnologija za interakciju s navijačima kako bi povećali njihov broj i ojačali njihovu povezanost s klubom.

## 4.1. TRENIRANJE SLOBODNIH BACANJA KORIŠTENJEM VIRTUALNE STVARNOSTI

Zabijanje slobodnih bacanja u košarci igra ključnu ulogu iz više razloga, što čini visoki učinak veoma važnim i neophodnim za uspjeh igrača i cijele ekipe. Neki od razloga zašto je zabijanje slobodnih bacanja od velike važnosti u košarci jesu:

- Lak način dolaska do poena, bez ikakvog pritiska obrambenih igrača.
- Često igraju veliku ulogu u krajnjim trenucima utakmice, cijela utakmica može ovisiti o tome jesu li se ta jedna do dva slobodna bacanja pretvorila u poene ili ne.
- Iz prethodna dva razloga se također može zaključiti da je svakoj ekipi od iznimne važnosti da im glavni igrači imaju visoku efikasnost pri izvođenju slobodnih bacanja jer u suprotnom bi im ta slabost mogla biti iskorištavana na način da se cijelo vrijeme nad njima rade prekršaji u posljednjim minutama utakmice.

U svakom slučaju, sposobnost zabijanja slobodnih bacanja na visokoj razini učinka čini igrača za toliko svestranijim i vrijednijim za svoju ekipu i time doprinosi ukupnoj uspješnosti ekipe u košarci.

### 4.1.1. Izvođenje treninga korištenjem VR-a

Uspostavljeno je da su slobodna bacanja od velike važnosti, međutim, u ovome dijelu će biti fokus na onima koji se izvode u prijelomnim i odlučujućim dijelovima utakmice kada je najveći pritisak na igraču i kada su navijači najglasniji.

Ideja je stvaranje simulacije u kojoj bi se napravila što bliža 1:1 replika sportske dvorane, u kojoj se izvodi trening i održavaju utakmice, u virtualnom okruženju. Jedina razlika bi bila u tome što bi tribine bile pune glasnih navijača koji pokušavaju ometati igrača koji izvodi slobodna bacanja. Time bi se stvorila slična stresna situacija i atmosfera koju bi igrač osjetio u krajnjim trenucima napete utakmice. Kako bi se povrh stresne situacije osigurao i stvarni natjecateljski osjećaj, trening bi se odvijao na način da dva igrača izvode slobodna bacanja, svaki na svome košu, u isto vrijeme. Igrači bi izvodili svaki po 10 slobodnih bacanja, i onaj s većim učinkom bi bio pobjednik. U slučaju da oboje pogode svih 10, onda bi se nastavilo s

izvođenjem sve dok ne dođe do slučaja u kojem jedan igrač pogodi a drugi promaši. Kako bi se ostvario konstantan osjećaj pritiska na igrača, rezultati bi bili prikazani na odgovarajućim tablama koša i ažurirali bi se u stvarnom vremenu.

Za pristup virtualnom okruženju te za povratnu slušnu i vizualnu informaciju bi se koristio naglavni zaslon poput Meta Quest 3 (Slika 28.) zbog svoga kompaktnog dizajna bez kabela kako bi se stvorila čim realističnija atmosfera bez krupnih dijelova koji bi smetali i stvarali nepotrebnii umor zbog svoje veličine i težine. Neke druge, slične opcije, bi bile Oculus Quest 2 i HTC Vive Cosmos. Postoje i neki drugi, no na kraju bi sve ovisilo o ukupnom proračunu samoga kluba. Cijena je spomenutih naglavnih zaslona u rasponu od 300 do 600 USD.



**Slika 28.** Naglavni zaslon Meta Quest 3 VR [24]

#### **4.1.2. Praćenje pokreta tijela igrača i košarkaške lopte**

Praćenje pokreta tijela i lopte bi se provodilo korištenjem kamere koja bi se povezala s Python kodom kako bi prepoznala pravilne boje i konture lopte i tijela. Nakon prepoznavanja točnih boja i kontura, napisao bi se daljnji kod za praćenje koordinata pri kretanjama što bi se na kraju sve zajedno poslalo odgovarajućem programu u kojem se stvara virtualno okruženje kao jedan veliki podatkovni paket.

#### **4.1.3. Stvaranje virtualnog okruženja**

Za stvaranje virtualnog okruženja bi se koristio program poput Unity 3D zbog svoje kvalitete i kompatibilnosti s Python kodom. Cilj je, naravno, bio prikazati realističnu repliku sportske

dvorane u kojoj bi se odvijao trening, uz prepune tribine, kako bi se stvorila čim vjernija stresna atmosfera u kojoj igrač mora pokazati svoju ustrajnost.

## **4.2. POBOLJŠANJE DOŽIVLJAJA NAVIJAČA KORIŠTENJEM VR NAGLAVNIH NAOČALA**

Zadovoljni navijači igraju važnu ulogu u uspjehu sportskog kluba iz nekoliko razloga kao na primjer pružanjem financijske podrške, stvaranjem energične atmosfere na utakmicama, povećavanjem popularnosti kluba i stvaranjem općenito pozitivnog ugleda kluba.

Inovacije u načinu stvaranja zadovoljnih navijača su bitne kako bi se održao interes. Iz tog razloga inovativne ideje poput virtualnih iskustava mogu pridonijeti zadržavanju stare, pa tako i privlačenju nove publike.

Kako bi se navijačima pružio inovativan način praćenja utakmica njihovog najdražeg kluba, implementirat će se opcija gledanja utakmice koristeći VR naglavne naočale (VR *headsetovi*). U slučaju nemogućnosti odlaska uživo, navijači bi mogli iz udobnosti vlastitog doma osjetiti atmosferu i imati realističan doživljaj utakmice kao da se stvarno nalaze na tribinama s ostalima.

To bi se ostvarilo postavljanjem jedne 360° VR kamere (Slika 29.), koje su dostupne po cijeni od 150 do 600 USD, poput Insta360 Nano S ili GoPro MAX, na skroz gornjoj razini tribina, iznad ostalih navijača. Utakmica bi se prenosila na stranici kluba, te bi navijači imali mogućnost priključivanju prijenosa utakmice koristeći njihove VR headsete. Navijači bi, naravno, vidjeli sve ono što je u vidnom polju kamere i mogli bi okretati svoju glavu kako bi njome upravljali.





**Slika 29. Samsungova 360° kamera za VR [25]**

Klub bi također mogao profitirati iz svega, ne samo stvaranjem zadovoljne grupe navijača i obožavatelja, a možda samom inovacijom i privlačenjem znatizeljnih novih, nego postavljanjem mjesečne pretplate na stranici kluba koja bi bila potrebna za pristup prijenosu. Sa svime time bi osigurali način na koji klub podržava i brine o svojim navijačima, a isto tako bi navijači mogli podržavati svoj najdraži klub pružanjem financijske podrške kojom bi se ostvarila daljnja poboljšanja.

## 5. ZAKLJUČAK

Ne može se poreći činjenica da je spoj sporta i informatike stvorio uspješno istraživačko i razvojno polje. Bila riječ o emitiranju, vođenju organizacije, sigurnosti, naprednoj analitici ili prisutnosti na društvenim mrežama u svrhu promocije, sve su to područja u kojima se križaju sportska znanost i informatika i u koja svaka sportska organizacija sve više ulaže. Ogromne količine ključnih podataka se generiraju različitim digitalnim alatima poput raznih nosivih uređaja, kamera i senzora, koji postaju sve dostupniji i pristupačniji svim sudionicima.

Napredna analiza podataka je postala ključan dio u unapređenju performansa vrhunskih sportaša i timova. Sportski klubovi zajedno sa njihovim obožavateljima također imaju koristi od sve više prisutne digitalizacije stvaranjem više prilika za interakciju i praćenje svih najnovijih vijesti u najkraćem mogućem vremenu.

Što se tiče virtualne stvarnosti, na putu je da u potpunosti revolucionira svijet sporta pružajući sportašima realistične i u potpunosti sigurne simulacije situacija s kojim bi se susreli tijekom prave utakmice, utrke ili borbe. Od kreiranja potpuno realističnih okruženja do repliciranja stresnih situacija kako bi sportaš obavio, ne samo fizički, već i psihički dio pripreme. Još jedna od prednosti virtualne stvarnosti u treningu je smanjen rizik od zadobivanja ozljede i mogućnost trenutačnog primanja povratnih informacija vezanih za performans koje služe za identifikaciju pogrešaka te šansu za adaptacijom tijekom jedno te istog treninga.

Jedina prepreka koja stoji između potpune implementacije virtualne stvarnosti u sportu je cijena i nedostatak osposobljenih trenera, međutim s obzirom na mnoštvo prednosti koje nosi sa sobom, teško je biti pesimističan u pogledu implementacije VR tehnologija u sportu u budućnosti.

Uzimajući sve u obzir, na kraju rada su se istražile neke moguće implementacije digitalnih tehnologija u lokalnom sportskom klubu košarke. Cilj je bio predložiti jednostavne i izvedive načine implementacije koje bi poboljšale uvjete, kako članova kluba, tako i navijača. To bi se

postiglo pomoću prijedloga korištenja virtualne stvarnosti u treningu i kamere s vidnim poljem od 360° za prijenos utakmica.

## 6. LITERATURA

- [1] <https://www.sutterhealth.org/health/teens/sports-fitness/benefits-of-sports>, Pristupljeno: 2023-08-27
- [2] <https://sportske.jutarnji.hr/sn/kosarka/kosarka-reprezentacija/hrvatska-kosarkaska-reprezentacija-ima-novog-izbornika-odluka-je-pala-hks-je-izabrao-nasljednika-ivice-skelina-7281994>, Pristupljeno: 2023-08-27
- [3] <https://www.fitshop.hr/prehrana-plivaca/>, Pristupljeno: 2023-08-27
- [4] <https://www.independentsnowboarding.com/camps/snowboard-camps-for-adults/>, Pristupljeno: 2023-08-27
- [5] <https://telesport.telegram.hr/na-prvu/imamo-vise-od-milijardu-fanova-sprema-se-kandidatura-kriketa-za-status-olimpijskog-sporta/>, Pristupljeno: 2023-08-27
- [6] Rathonyi, G., Bácsné Bába É., Müller, A., Rathonyi-Odor K.: How digital technologies are changing sports, University of Debrecen, 2018., Pristupljeno: 2023-08-28
- [7] Lorena Torres-Ronda, Emma Beanland, Sarah Whitehead, Alice Sweeting, Jo Clubb: Tracking Systems in Team Sports: A Narrative Review of Applications of the Dana and Sport Specific Analysis, Sports Medicine, 2022., Pristupljeno: 2023-08-28
- [8] <https://www.fifa.com/technical/football-technology/football-technologies-and-innovations-at-the-fifa-world-cup-2022/video-assistant-referee-var>, Pristupljeno: 2023-08-28
- [9] Ryan T. Li, MD, Scott R. Kling, MD, Michael J. Salata, MD, Sean A. Cupp, MD, Joseph Sheehan, ATC, CSCS, and James E. Voos, MD: Wearable Performance Devices in Sports Medicine, Sports Health, 2016., Pristupljeno: 2023-09-02
- [10] <https://www.fitbit.com/global/eu/products/smartwatches/sense2>, Pristupljeno: 2023-09-10
- [11] <https://www.clearinghouseforsport.gov.au/kb/sports-biomechanics>, Pristupljeno: 2023-09-10

- [12] <https://www.u-tokyo.ac.jp/en/about/publications/tansei/12/biomechanics.html>,  
Pristupljeno: 2023-09-10
- [13] Surjit Singha, Ranjit Singha: Virtual Reality and Sports Training: Revolutionizing Athletic Performance, ResearchGate, 2023., Pristupljeno: 2023-08-28
- [14] Benoit Bideau, Richard Kulpa, Nicolas Vignais, Sébastien Brault, and Franck Multon: Using Virtual Reality to Analyze Sports Performance, IEEE Computer Graphics and Applications, 2010., Pristupljeno: 2023-06-21
- [15] Yazhou Huang, Lloyd Churches and Brendan Reilly: A Case Study on Virtual Reality American Football Training, ResearchGate, 2015., Pristupljeno: 2023-08-28
- [16] Cesar Daniel Rojas Ferrer, Hidehiko Shishido, Itaru Kitahara, Yoshinari Kameda: Read-the-game: System for skill-based visual exploratory activity assessment with a full body virtual reality soccer simulation, PLOS ONE, 2020., Pristupljeno: 2023-08-28
- [17] <https://www.smartechr.com/what-are-the-innovative-uses-of-vr-in-formula-1/>,  
Pristupljeno: 2023-09-01
- [18] <https://www.linkedin.com/pulse/digital-transformation-formula-1-rodriago-gazzaneo-2c/>,  
Pristupljeno: 2023-09-01
- [19] <https://dt.mdx.ac.uk/?p=1427>, Pristupljeno: 2023-09-01
- [20] <https://www.formula1-dictionary.net/cfd.html>, Pristupljeno: 2023-09-02
- [21] <https://www.theupside.us/p/the-f1-tech-market>, Pristupljeno: 2023-09-01
- [22] <https://youtu.be/NhmXaeaHkDc>, Pristupljeno: 2023-09-03
- [23] <https://www.formulavr.com/>, Pristupljeno: 2023-08-28
- [24] <https://www.wired.com/story/meta-connect-meta-quest-3-mixed-reality/>, Pristupljeno:  
2023-11-21
- [25] <https://news.samsung.com/us/samsung-360-round-camera-livestreaming-3d-content-virtual-reality-vr/>, Pristupljeno: 2023-11-21