

# Proširena stvarnost

---

**Kodan, Norman**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:495556>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-12**



*Repository / Repozitorij:*

[Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula](#)



Sveučilište Jurja Dobrile u Puli  
Fakultet informatike u Puli

**NORMAN KODAN**

**PROŠIRENA STVARNOST**

Završni rad

Pula, rujan, 2019.

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli

Fakultet informatike u Puli

**NORMAN KODAN**

**PROŠIRENA STVARNOST**

Završni rad

**JMBAG: 0318002187, redoviti student**

**Studijski smjer: Informatika**

**Predmet: Programsko inženjerstvo**

**Znanstveno područje: Društvene znanosti**

**Znanstveno polje: Informacijsko-komunikacijske znanosti**

**Znanstvena grana: Informacijski sustavi i informatologija**

**Mentor: doc. dr. sc. Tihomir Orehovački**

Pula, rujan, 2019.



## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisani Norman Kodan, kandidat za prvostupnika informatike ovime izjavljujem da je ovaj Završni rad rezultat isključivo mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio Završnog rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz kojega necitiranog rada, te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

Norman Kodan

U Puli, 21. rujna, 2019 godine





## IZJAVA

o korištenju autorskog djela

Ja, Norman Kodan dajem odobrenje Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj završni rad pod nazivom Proširena stvarnost koristi na način da gore navedeno autorsko djelo, kao cjeloviti tekst trajno objavi u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli te kopira u javnu internetsku bazu završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice (stavljanje na raspolaganje javnosti), sve u skladu s Zakonom o autorskom pravu i drugim srodnim pravima i dobrom akademskom praksom, a radi promicanja otvorenoga, slobodnoga pristupa znanstvenim informacijama.

Za korištenje autorskog djela na gore navedeni način ne potražujem naknadu.

U Puli, 21. rujna, 2019. godine

Potpis\_\_\_\_\_

## Sadržaj

Uvod .....	1
1. Što je proširena stvarnost?.....	2
2. Povijest .....	6
3. Primjene .....	11
4. Hardver .....	18
4.1. Uređaji za video prikaz .....	18
4.2. Hardver za praćenje.....	25
5. Softver .....	28
5.1. Zahtjevi aplikacije .....	28
5.2. Zahtjevi softverskog inženjerstva .....	29
Zaključak.....	31
Popis literature.....	32
Popis slika .....	35
Sažetak .....	36
Summary .....	37
Ključne riječi .....	38
Keywords.....	39

## Uvod

Ovaj rad predstavlja sažet pregled tehnologije proširene stvarnosti, od najosnovnije definicije, preko povijesti razvoja i primjene tehnologije sve do pregleda sastavnih hardverskih i softverskih dijelova koji zajedno čine ovu tehnologiju mogućom.

U prvom poglavlju naslovljenom „Što je proširena stvarnost?“ uspostavlja se definicija pojma proširene stvarnosti kao tehnologije koja omogućuje, kako i sam naziv govori, proširenje stvarnosti digitalnim informacijama kojima možemo upravljati na način sličan onome kojime upravljamo stvarima u stvarnosti. Nakon uspostavljanja definicije, opisuju se osnovne karakteristike tehnologije proširene stvarnosti i njezini ciljevi te se na kraju poglavlja tehnologija proširene stvarnosti smješta u širu domenu srodnih tehnologija poznatu kao miješana stvarnost uz kratku usporedbu sa ostalim tehnologijama te domene.

U drugom poglavlju „Povijest“ izlaže se skroman povijesni pregled razvoja tehnologije proširene stvarnosti, počevši od najranijih dana i najranijih ideja američkog znanstvenika Ivana Sutherlanda, koji se često naziva ocem računalne grafike. Upravo je Sutherland pokrenuo znanstveno polje koje će kasnije postati osnova proširene i virtualne stvarnosti, te je konstruirao i prvi uređaj koji je uspješno implementirao tehnologiju proširene stvarnosti. Slijedi pregled najznačajnijih inovacija i sustava koji su ostvarili značajne uspjehe, te na samom kraju, pregled izlaska tehnologije iz strogo kontroliranih uvjeta specijaliziranih istraživačkih laboratorija sveučilišta i velikih korporacija na tržište i među šire stanovništvo.

U trećem poglavlju „Primjene“ izlaže se kratak pregled primjena tehnologije proširene stvarnosti u raznim poljima, te se navode uspješne primjene u raznim poljima, od primjena u zabavne svrhe, preko onih obrazovnih pa sve do primjena u vojne svrhe.

U četvrtom poglavlju „Hardver“ vrši se kratak pregled hardverske komponente sustava proširene stvarnosti, podijeljene na dvije osnovne grupe: na komponente koje služe za prikaz samih proširenja, te na komponente koje služe za praćenje.

U petom, i posljednjem, poglavlju „Softver“ vrši se kratak pregled softverske komponente sustava proširene stvarnosti, te se pojašnjavaju osnovni zahtjevi koje softverska komponenta mora ispuniti da bi funkcionirala na zadovoljavajuć način.

Nakon toga slijedi kratak zaključak, sažetak te popis literature i dodataka.

## 1. Što je proširena stvarnost?

Proširena stvarnost (eng. augmented reality) je tehnologija koja omogućuje, kako i sam naziv govori, proširenje stvarnosti digitalnim informacijama kojima možemo upravljati na način sličan onome kojime upravljamo stvarima u stvarnosti. Digitalne informacije koje proširuju i nadopunjuju stvarni svijet često dolaze u obliku stvari koje inače nikad ne bismo mogli vidjeti, čuti, osjetiti, dodirnuti ili namirisati. Craig (2012) definira proširenu stvarnost kao sredstvo koje posreduje i u kojemu se stapaju ideje između računala i ljudi, između digitalnog i stvarnog na način koji je ljudima razumljiviji i intuitivniji od onoga kojime se koriste klasični računalni sustavi te barem iz korisničke perspektive, besprimjetno uklopiti digitalne informacije u fizičku stvarnost.

**Slika 1** Primjer aplikacije proširene stvarnosti



Izvor: <https://techcrunch.com/2018/03/20/wayfairs-android-app-now-lets-you-shop-for-furniture-using-augmented-reality/>

Najšire prihvaćena definicija proširene stvarnosti, koju prihvaćaju i Craig (2012) i Schmalstieg i Hollerer (2016) je ona Azume (1997) da je proširena stvarnost sustav koji ispunjava tri kriterija: spaja stvarno s virtualnim, interaktivan je u realnom vremenu te prikaz i registraciju u trodimenzionalnom prostoru.

Ta definicija ne zahtjeva korištenje određene tehnologije, određenog izlaznog uređaja (eng. output device) poput zaslona postavljenih na glavu (eng. head-mounted display), te ne ograničava proširenu stvarnost na vizualne medije. Prevladavajući dio istraživanja i razvoja je usmjeren prema proširenju vizualne

domene, iza njega po zastupljenosti slijedi zvučna domena, dok su druge nevizualne domene dodira, mirisa i okusa, slabo zastupljene.

Primjeri tehnologije proširene stvarnosti koji se koriste u nekoj literaturi, posebice oni primjeri koji su dostupni široj javnosti i u upotrebi u svakodnevnom životu, ponekad ne zadovoljavaju u potpunosti opće prihvaćenu definiciju proširene stvarnosti Azume koju smo naveli nekoliko redaka ranije. Jedan od razloga je što je sama tehnologija, iako je od ranih konceptata prošlo već nekoliko desetljeća, tek relativno nedavno, prije desetak godina, ušla u široku upotrebu te se i dalje nalazi u ranoj fazi razvoja i bori s ograničenjima hardvera, ponekad tehničkim ograničenjima a ponekad i financijskim ograničenjima koje tržište nameće da bi proizvod bio financijski isplativ.

Drugi primjeri ne zadovoljavaju definiciju u potpunosti zato što dolaze iz srodnih polja tehnologije koja su veoma slična proširenoj stvarnosti te se ponekad koriste kao istoznačnice iako to nisu. To su polja miješane stvarnosti (eng. mixed reality), sveprisutnog računalstva (eng. ubiquitous computing) i virtualne stvarnosti (eng. virtual reality).

Neki stručnjaci u svojim radovima, poput Craiga (2012), nazivaju proširenu stvarnost varijacijom virtualne stvarnosti, no ipak postoje neke značajne razlike, kako tehnološke, tako i praktične. Tehnologije virtualne stvarnosti u potpunosti isključuju korisnika iz fizičke stvarnosti i uključuju u virtualnu stvarnost, u potpuno umjetno, digitalno konstruirano okruženje, dok proširena stvarnost, kao što i sam naziv govori, samo proširuje fizičku stvarnost digitalnim elementima, te za to vrijeme korisnik i dalje vidi fizičku stvarnost i u idealnom slučaju ima dojam da se virtualni i stvarni objekti nalaze u istom prostoru.

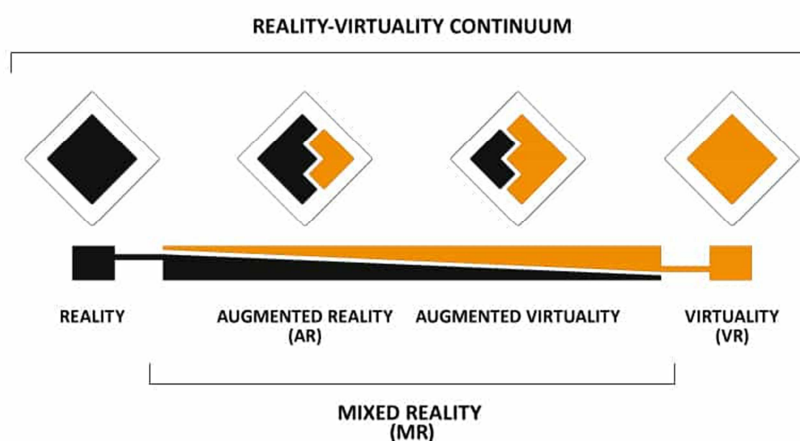
## Slika 2 Primjer sustava virtualne stvarnosti



Izvor: <http://www.canadianminingjournal.com/news/training-immersive-technologies-introduces-virtual-reality/>

Prostor između stvarnosti i virtualne stvarnosti u kojemu se u raznim mjerama stapaju stvarni i virtualni elementi se osim proširene stvarnosti ponekad naziva i miješanom stvarnošću, naziv kojega neki smatraju prikladnijim zato što smatraju da bolje dočarava široki spektar tehnologija i primjena koje se mogu naći u proširenoj odnosno miješanoj stvarnosti. Taj se pogled može pripisati Milgramu i Kishinu (1994), koji su predložili spektar koji počinje sa stvarnošću i završava sa virtualnom stvarnošću, a između se nalazi prostor miješane stvarnosti koji je podijeljen na proširenu stvarnost i proširenu virtualnost, ovisno o tome kakvi elementi prevladavaju u spomenutom okruženju

**Slika 3** Spektar mješane stvarnosti prema Milgramu i Kishinu (1994)



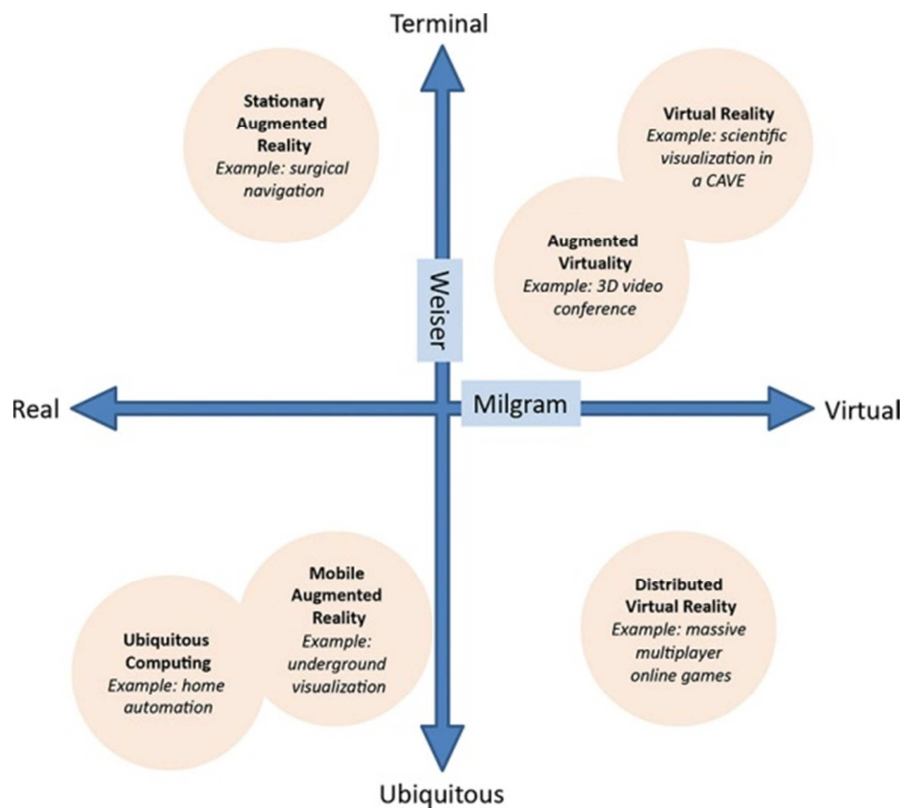
Izvor: <https://www.augmented-minds.com/en/augmented-reality/what-is-augmented-reality/>

Weiser (1991.) iznosi koncept svepristupnog računalstva (eng. ubiquitous computing). Koncept predviđa uvođenje digitalne tehnologije u svakodnevni život. Weiser predlaže dovođenje virtualnih elemenata u fizički svijet kroz računala raznih veličina i funkcija. Tako predlaže sljedeće uređaje: tabove veličine nekoliko centimetara, padove veličine nekoliko desetaka centimetara te ploče veličine nekoliko metara. Cilj takvog računalstva je omogućavanje korisnicima pristup digitalnim informacijama bilo gdje i bilo kada.

Jedna od glavnih razlika Weiserovog koncepta sveprisutnog računalstva i virtualne stvarnosti kako je danas poznamo je što je Weiserov koncept primjer mirnog računalstva (eng. calm computing) zato što takvi sustavi ne traže ljudski unos ili kontrolu nad sustavom, korisnik se može u potpunosti posvetiti nečem drugom dok je računalni sustav negdje u pozadini dok korisnik ne odluči da mu je potreban. Zbog toga bi se moglo reći kako je proširena stvarnost idealno korisničko sučelje za sveprisutno računalstvo, dok je virtualna potpuna suprotnost zato što korisnika u

potpunosti izolira od stvarnog svijeta te ga uroni u virtualni. Odnose raznih tehnologija i pristupa kako ih Weiser vidi može se jasnije vidjeti u takozvanom Milgram-Weiser grafu.

**Slika 4** Milgram-Weiser graf koji prikazuje međusobne odnose raznih tehnologija mješane stvarnosti



Izvor: <http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=2516729&seqNum=4>

## 2. Povijest

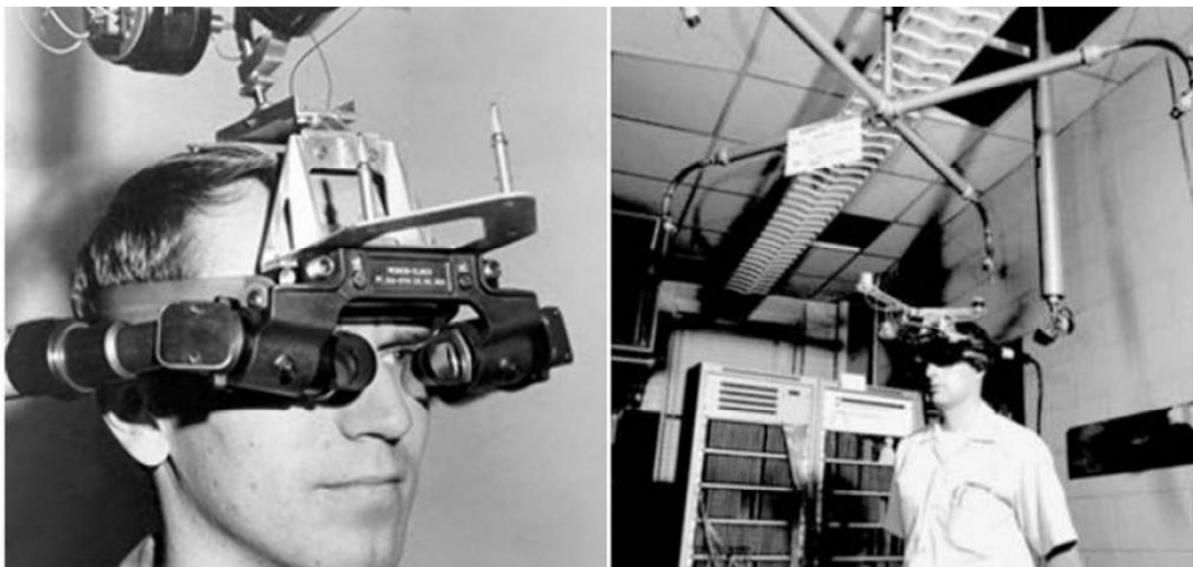
Prvi primjer proširenja stvarnosti računalno generiranim informacijama ostvaren je 60-ih godina prethodnog stoljeća zaslugom američkog znanstvenika Ivana Sutherlanda, koji se često naziva ocem računalne grafike. Sutherland je pokrenuo znanstveno polje koje će kasnije postati osnova proširene i virtualne stvarnosti.

Nekoliko godina prije prvog funkcionalnog uređaja za proširenu stvarnost, (Sutherland 1965) opisuje ono što je smatrao savršenim uređajem za prikaz: "Savršeni uređaj za prikaz bi, naravno, bila prostorija unutraž koje računalo može upravljati samim postojanjem stvari. Stolica prikazana u takvoj prostoriji bila bi dovoljno dobra za sjedenje. Lisice prikazane u takvoj prostoriji bile bi ograničavajuće, i metak prikazan u takvoj sobi bio bi koban. Uz prikladno programiranje takav bi uređaj za prikaz doslovno mogao biti Zemlja Čudesa u koju je Alisa ušla."

U istom radu (Sutherland 1965) nalazi se i predviđanje proširene stvarnosti u obliku u kojemu nam je danas poznata: "Korisnik jednog od današnjih vizualnih uređaja za prikazivanje s lakoćom može čvrst objekt učiniti prozirnim – on može gledati kroz čvrstu tvar!".

Samo nekoliko godina kasnije, 1968. godine, Sutherland je stvorio prvi zaslon koji se postavlja na glavu korisnika, koji je zbog svoje težine morao biti obješen sa stropa zbog čega je dobio nadimak mač iz Damoclesa. Zaslon je koristio praćenje pokreta glave i prozirnu optiku (eng. see-through optics).

**Slika 5** Prvi HMD uređaj, dijelo Ivana Sutherlanda

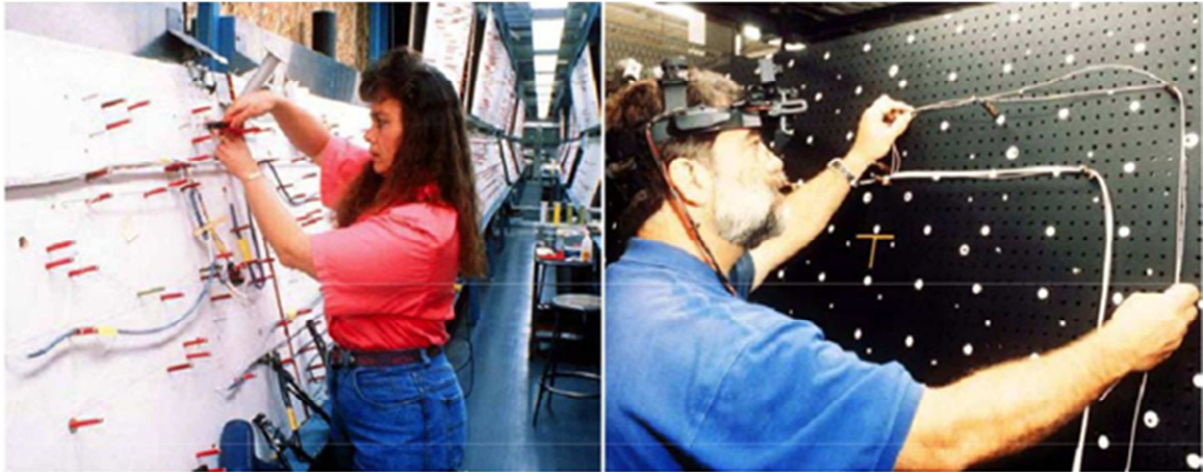


Izvor: <https://vrroom.buzz/vr-news/guide-vr/sword-damocles-1st-head-mounted-display>



Kroz 70-te i 80-te godine prethodnog stoljeća mnogi su isprobavali razne pristupe i razne koncepte spajanja virtualnog sa stvarnim, od kojih se ističu Myron Krueger, Dan Sandin, Scott Fisher i drugi. No pojam proširene stvarnosti definirali su (Caudell i Mizell 1992) dok bili su zaposlenici Boeinga, te su željeli pomoći radnicima u proizvodnji aviona pri ožičenju zrakoplova prikazujući radnicima shematski prikaz ožičenja putem zaslona montiranog na glavu.

**Slika 6** Boeingov sustav proširene stvarnosti koji pomaže radnicima u proizvodnji



<https://fee.org/articles/augmented-reality-is-already-changing-the-workplace/>

1992. godine Louis Rosenberg je radeći za Armstrog Labs, istraživačku ustanovu ratnog zrakoplovstva vojske Sjedinjenih Američkih Država, razvio Virtual Fixtures, jedan od prvih funkcionalnih sustava proširene stvarnosti. Umjetni vanjski kostur, struktura poznatija pod svojim engleskim nazivom egzoskeleton, je obuhvaćala gornju polovicu tijela vojnika, te je omogućavala precizno upravljanje strojevima sa udaljenosti, nešto što je u opasnim uvjetima u kojima se vojnici često nalaze od velike koristi.

**Slika 7** Virtual Fixtures, jedan od prvih funkcionalnih sustava proširene stvarnost



Izvor: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d4/Virtual-Fixtures-USAF-AR.jpg>

1993. godine, Feiner je izradio sustav nazvan KARMA (Schmalstieg i Hollerer 2016) prema kratici za sustav temeljen na znanju za pomoć pri održavanju (eng. Knowledge-based Augmented Reality for Maintenance Assistance) prvi sustav proširene stvarnosti temeljen na znanju. KARMA omogućava održavanje i popravak printera ljudima bez prethodnog znanja putem jedne vrste interaktivnog, trodimenzionalnog korisničkog priručnika koji korak po korak vodi korisnika kroz svaku radnju.

**Slika 8** KARMA, sustav za pomoć pri održavanju i popravku printera



Izvor: <http://www.augmentedrealityvisor.com/applications/engineering-science-medicine.html>

1997. godine Feiner je razvio prvi sustav proširene stvarnosti koji je bio namijenjen za korištenje vani, u otvorenim prostorima, Touringov stroj (Schmalstieg i Hollerer 2016) . Touringov stroj koristi HMD zaslon za prikaz, GPS i praćenje orijentacije. Da bi ovaj mobilni sustav uspješno prikazivao trodimenzionalnu grafiku bilo je potrebno

da korisnik na svojim leđima nosi propriičnu količinu i težinu hardvera koji uključuje samo računalo na kojemu se sustav izvodi, razne senzore i ranu verziju tablet računala za unos podataka.

**Slika 9** Touringov stroj, prvi sustav proširene stvarnosti koji je bio namijenjen za korištenje vani

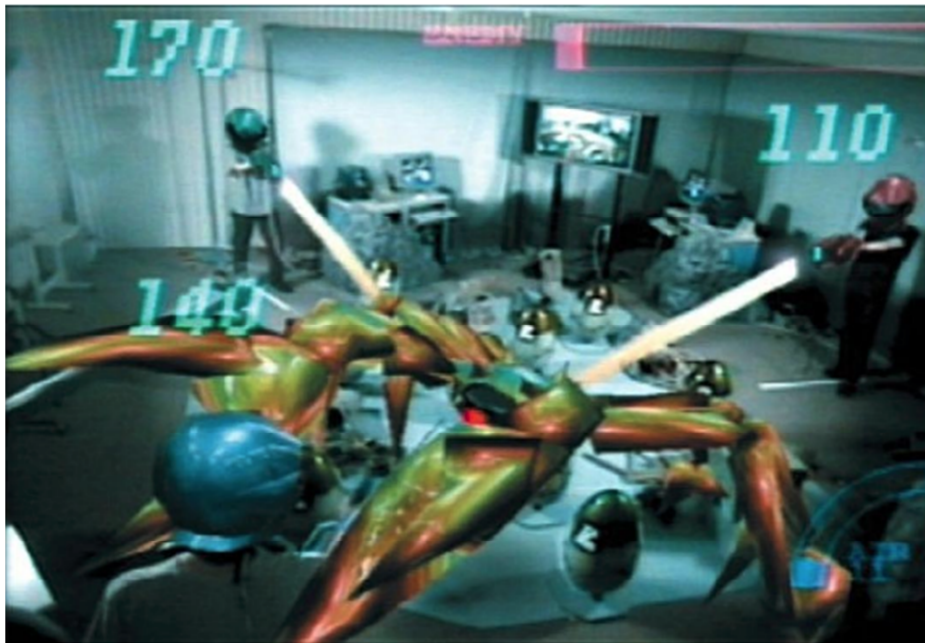


Izvor: <http://projetar.renous.fr/etat-de-lart/>

Također 1997. godine, japanska je vlada u suradnji sa Canonom osnovala zajednički istraživački laboratorij za proširenu stvarnost pod nazivom Mixed Reality Systems Laboratory (Schmalstieg i Hollerer 2016). U svoje je doba ovaj istraživački laboratorij bio najveća istraživačka ustanova u polju proširene stvarnosti. Brojne aktivnosti i istraživački smjerovi ove ustanove su bile usmjerene na proizvode za tržište digitalnih zabavnih medija, segment koji je u Japanu uvijek igrao važnu ulogu u društvu, a posebice u tehnološkoj industriji. Tako je u spomenutom laboratoriju izrađena RV-Border Guards video igra.



**Slika 10** RV-Border Guards video igra ravijena u Canonovom laboratoriju



Izvor: <https://books.google.hr/books?id=qPU2DAAAQBAJ&pg=PT129>

Iako su sustavi proširene stvarnosti kroz godine postajali sve napredniji, složeniji i korisniji odnosno sve bliži sustavima koji bi se koristili među širim stanovništvom za zadatke za koje su i dizajnirani, njihova je primjena bila gotovo u potpunosti ograničena na strogo kontrolirane uvjete specijaliziranih istraživačkih laboratorija sveučilišta i velikih korporacija te su bili dostupni veoma malenom broju ljudi.

Tek 1999. godine, više od tri desetljeća nakon prvog funkcionalnog sustava proširene stvarnosti Ivana Sutherlenda, Hirokazu Kato, istraživač na Nara Institute of Science and Technology, je razvoj proširene stvarnosti omogućio širokom broju ljudi svojim ARToolKit softverom te je time otvorio vrata bržem razvoju (ARToolKit Documentation (History), 1999). ARToolKit je prva softverska platforma otvorenoga koda za proširenu stvarnost. ARToolKit je također i jedna od prvih platformi za razvoj proširene stvarnosti na mobilnim platformama. 2005. godine je dobila podršku za Symbian operativni sustav, 2008. godine za iOS, i 2010. godine za Android te se s vremenom proširila i na druge platforme. Tehnologija je u svoje vrijeme viđena kao revolucija, a koristi se i danas pod nazivom ARToolworks.

Početak novog tisućljeća, ubrzo nakon objave ARToolKita, mobilni telefoni i općenito prijenosna računala počinju se ubrzano razvijati, te postaju ne samo iznimno popularni i zastupljeni među širim stanovništvom, već postaju i dovoljno snažni da podrže zahtjevne softverske platforme proširene stvarnosti. Uz to i brojne hardverske komponente poput kamera, zaslona i raznih senzora postaju sve kompaktnije, snažnije i cijenom dostupnije te tada tehnologija postaje dostupna velikome broju ljudi.

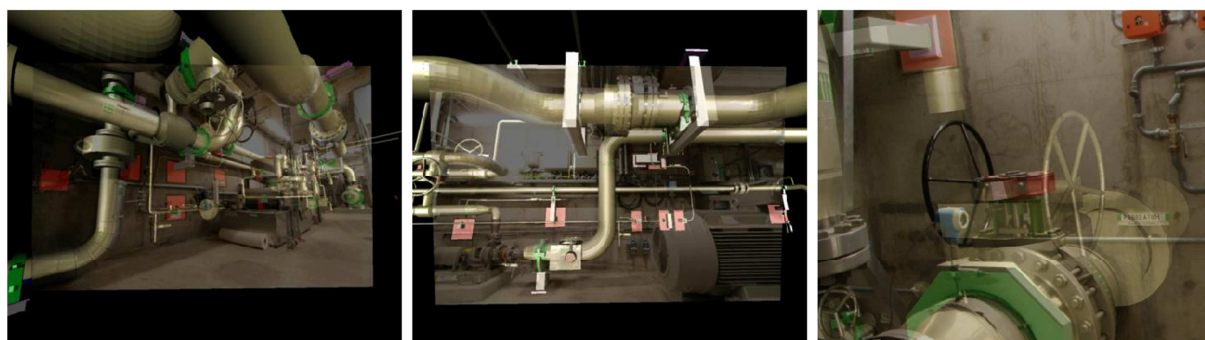
### 3. Primjene

#### Industrija i građevina

Kao što je već spomenuto u drugom poglavlju o povijesti razvoja tehnologije proširene stvarnosti, neke od prvih primjena te tehnologije izvan specijaliziranih istraživačkih laboratorija su bile u industrijskom okruženju. Tako su, vrijedi ponoviti, Thomas P. Caudell i David W. Mizell 1992. godine, dok su bili zaposleni za Boeing, stvorili sustav koji pomaže radnicima u proizvodnji aviona pri ožičenju zrakoplova prikazujući radnicima shematski prikaz ožičenja putem HMD zaslona.

Industrijska okruženja postaju svakim danom postaju sve složenija i koriste sve kompleksniju tehnologiju i tehnike proizvodnje, što je uvelike utjecalo na njihovo planiranje i način rada. Počevši od najjednostavnijih strojeva, pa preko samih arhitektonskih struktura i sve infrastrukture koja se nalazi u pozadini i omogućava modernu industrijsku proizvodnju i gradnju, pri planiranju se koristi oblikovanje pomoću računala (eng. computer-aided design) poznato pod kraticom CAD, izvedenom iz engleskog naziva, no gotovo je nemoguće do najmanjeg detalja u praksi pratiti izrađene planove, kao i suprotno, to jest zabilježiti najsitnije detalje u planovima. Ponekad su razlog tome ljudske greške, ponekad ljudska lijenost, a ponekad nemogućnost dokumentiranja zbog vremenskih ili financijskih ograničenja. Tehnologija proširene stvarnosti može znatno umanjiti probleme koji proizlaze iz tog nepoklapanja stvarnosti sa izrađenim planovima tako što za razliku od klasičnih metoda kojima se dijelovi fizičke stvarnosti prenose u CAD model i tamo uspoređuju, prenosi CAD model u fizičku stvarnost (Georgel, Schroeder, Benhimane, Hinterstoißer, Appel i Navab, 2007). Na slici se može vidjeti preslika planova na izgrađeno postojenje, i kako postoje neke razlike poput, na posljednoj slici, ventila ugrađenog na lijevoj strani, umjesto na desnoj kako je predviđeno planom.

**Slika 11** Primjer sustava proširene stvarnosti za CAD modele



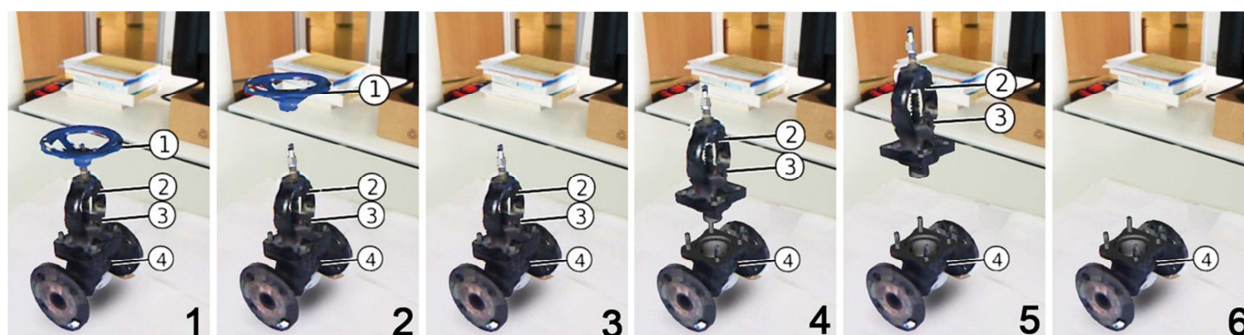
Izvor: <https://www.semanticscholar.org/paper/An-Industrial-Augmented-Reality-Solution-For-Check-Georgel-Schroeder/2ec31e6d7a052eab83eaedfb46322a051ca70f76>

## Održavanje i učenje

Razumijeti na koji način nešto radi i kako se to nešto sastavlja, rastavlja, popravlja i održava predstavlja izazov stručnjacima raznih zanimanja. Stručnjaci koji se bave održavanjem sustava, kako u informacijskoj tehnologiji tako i u drugim granama poput strojarstva i elektrotehnike, troše mnogo vremena i energije koji bi mogli biti učinkovitije upotrebljeni na proučavanje korisničkih priručnika i ostale dokumentacije zato što je često, zbog samog opsega ili složenosti sustava u pitanju, gotovo nemoguće zapamtiti sve potrebne postupke i detalje. No takvi sustavi nisu namijenjeni samo stručnjacima, oni mogu biti korišteni i od strane krajnjih korisnika koji bez pomoći sustava proširene stvarnosti ne bi mogli sami otkloniti kvar ili održavati uređaje, ali uz pomoć takvih sustava koji, na primjer, pogled na fizičke strojeve poput printera ili aparata za kavu prošire interaktivnim digitalnim uputama i detaljnim trodimenzionalnim prikazom važnih dijelova na samome uređaju (barem iz korisnikove perspektive) kojima se korisnik korak po korak vodi kroz cijeli postupak (Mohr, Kerbl, Donoser, Schmalstieg i Kalkofen, 2015).

Već je spomenuto da je 1993. godine, Feiner je izradio sustav nazvan KARMA, (Knowledge-based Augmented Reality for Maintenance Assistance) prvi sustav proširene stvarnosti temeljen na znanju koji je ispunjavao upravo tu ulogu, a s vremenom su se pojavili i mnogi drugi. Takvi sustavi su od velike pomoći i u obrazovanju, posebice u strukama koje se bave veoma složenim sustavima sa detaljnim i složenim procedurama manipuliranja, bilo u svrhu sastavljanja i popravaka strojeva ili u svrhu liječenja u medicini te mogu ne samo značajno unaprijediti znanje i razumijevanje učenika već i značajno ubrzati proces učenja tako što zadani materijal za učenje učenicima predstavljaju na njima jasniji i intuitivniji način.

**Slika 12** Primjer sustava proširene stvarnosti za pomoć pri održavanju koji prikazuje slijed rastavljanja ventila



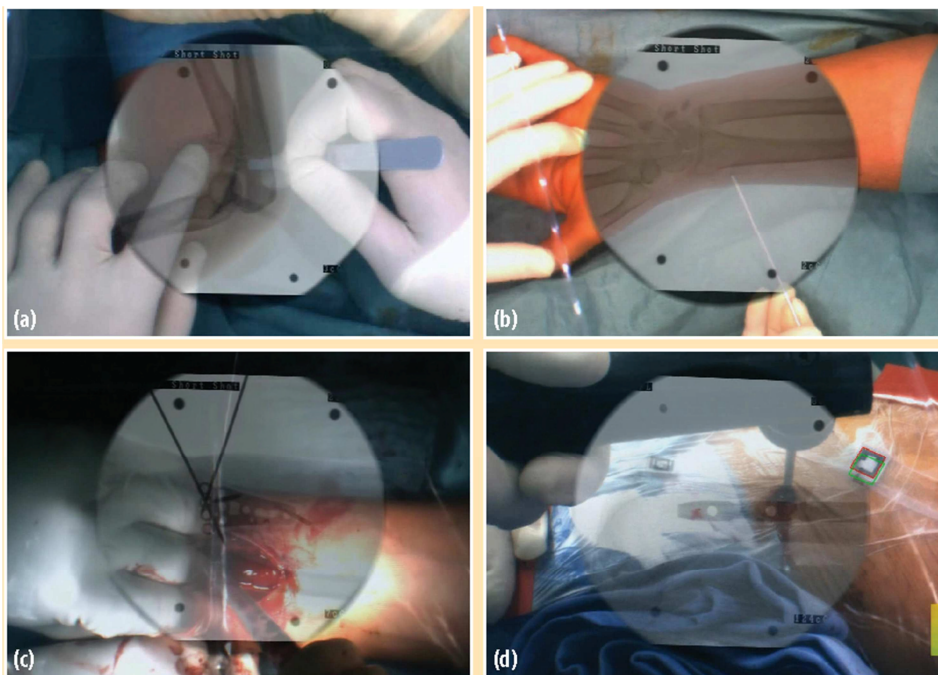
Izvor: <http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=2516729&seqNum=3>

## Medicina

Upotreba rendgenskih ili rentgenskih zraka, poznatih i kao X-zrake je u medicinskoj dijagnostici dovela do revolucije omogućivši liječnicima da vide unutar pacijentovog tijela bez operacije. Ipak, jedan od nedostataka te tehnologije je što upotreba X-zraka iako pruža pogled u pacijentovo tijelo, ona razdvaja taj pogled od pogleda na vanjštinu tijela. Upotrebom tehnologije proširene stvarnosti ta se dva pogleda, vanjski i unutrašnji, mogu stopiti te prikazivati rezultate spomenutih neinvanzivnih skeniranja na pacijentu i to u realnom vremenu (Deebika, 2015)

Proširena stvarnost može biti od pomoći pri obavljanju osjetljivih zahvata poput biopsija ili operacija mozga, gdje digitalna proširenja mogu u realnom vremenu navoditi lječnike i omogućiti im da vide, na primjer, točan položaj igle i tumora pri biopsiji tumora. Također, spomenuta bi tehnologija bila od velike pomoći studentima koji tek uče i manje iskusnim lječnicima kojima bi inače bila potrebna ili pomoć ili često konzultiranje stručne literature.

**Slika 13** Pogledi kroz sustav proširene stvarnosti CamC koji se koristi za pomoć pri izvođenju medicinskih zahvata



Izvor: <https://www.semanticscholar.org/paper/First-Deployments-of-Augmented-Reality-in-Operating-Navab-Blum/44c7941fb1b6b763e64ab8c459dedc3aad2e4dc0>.

## Navigacijski sustavi

Ideja heads-up zaslona koji omogućuje vozaču da prati važne informacije o vozilu i vožnji uključujući i osnovne navigacijske podatke, bez potrebe da makne pogled s ceste na klasične instrumente, je prisutna u autoindustriji već dugo vremena, te je preuzeta iz vojne industrije, gdje su slični sustavi u upotrebi već desetljećima,



posebice u kacigama vojnih pilota. U autoindustriji je još uvijek najčešći prikaz osnovnih podataka u neregistriranom obliku, no prošle je godine Mercedes-Benz predstavio navigacijski sustav uz proširenu stvarnost koji prikazuje zadani put na video snimci stvarnosti koja se prikazuje na središnjem multimedijском zaslonu u automobilu (What is Mercedes' new augmented reality sat-nav?, 2018).

**Slika 14** Pogled na Mercedes-Benzov navigacijski sustav s proširenom stvarnošću



Izvor: <https://www.autogefuehl.de/2018/04/21/mercedes-a-klasse-fahrbericht-2018/>

## Trgovine i oglašavanje

Proširena stvarnost omogućuje potencijalnim kupcima interaktivne trodimenzionalne poglede na željeni proizvod. Primjerice, kupci u Lego trgovinama imaju na raspolaganju takozvane AR kioske koji kad im se u vidnom polju instalirane kamere pokaže kutija neke igračke, uređaj prepozna o kojoj je igrački riječ, te na zaslonu koji prikazuje pogled te kamere, na samu kutiju digitalno ubaci to jest proširi pogled trodimenzionalnim modelom sastavljene igračke, i kako kupac okreće kutiju u stvarnosti tako se na zaslonu okreće i trodimenzionalni model sastavljene igračke, omogućavajući kupci da detaljno promotri proizvod iz svih kuteva ako to želi (Humphries 2010).

IKEA svojim kupcima nudi sličnu mogućnost putem mobilne aplikacije (Reynolds 2018). Kupci mogu kroz aplikaciju gledati okruženje u kojemu se nalaze, vlastiti dnevni boravak primjerice, te putem aplikacije u taj pogledat dodati proizvod za koji su zainteresirani, te tako vidjeti željeni proizvod u željenom okruženju. Osim što je time olakšano pretraživanje proizvoda, poboljšana je percepcija proizvoda time što se prikazuje u okruženju u kojemu bi ga kupac koristio.

Omogućavanje kupcima da vide proizvod kroz leću proširene stvarnosti može biti od pomoći i kad se radi o složenijim proizvodima poput raznih strojeva, u koje kupac uz



pomoć ove tehnologije može zaviriti i vidjeti kako točno spomenuti proizvodi funkcioniraju na interaktivnom i animiranom modelu, nešto što je često teško opisati riječima u kratko vrijeme koje su kupci spremni izdvojiti za prezentaciju proizvoda.

**Slika 15** AR kiosk u Lego trgovini, koji kupcima prikazuje trodimenzionalni prikaz sastavljenog modela



Izvor: <https://www.augment.com/blog/wp-content/uploads/2016/03/Lego-AR-Box-Augment.jpg>

### Zabava i video igre

Video igre su i dan danas najčešće ograničene na virtualno okruženje, no uz pomoć tehnologije proširene stvarnosti, video igre se mogu proširiti iz virtualnog okruženje na fizičku stvarnost i time značajno poboljšati i proširiti iskustvo video igara. Jedna od najvećih prednosti tradicionalnih igara nad video igrama je što su njihovo okruženje i elementi unutar same igre opipljivi te omogućuju veću slobodu fizičke interakcije i manipulaciju prostorom. Na primjer, djeca za vrijeme igre mogu pretvoriti cijelu svoju spavaću sobu ili dnevni borak u igralište, te pri tome svaki komad namještaja pretvoriti u aktivan element u igri. Povrh toga, takav način igranja omogućava i fizičke aktivnosti poput hodanja, skakanja i sakrivanja. Qualcomm, poznati proizvođač mikročipova i telekomunikacijske opreme, je putem svoje tvrtke

kćeri Qualcomm Connected Experiences ubacio dio virtualnog svijeta video igara u fizičku stvarnost svojom igrom Vuforia SmartTerrain (Schmalstieg i Hollerer 2016).

**Slika 16** Vuforia SmartTerrain video igra



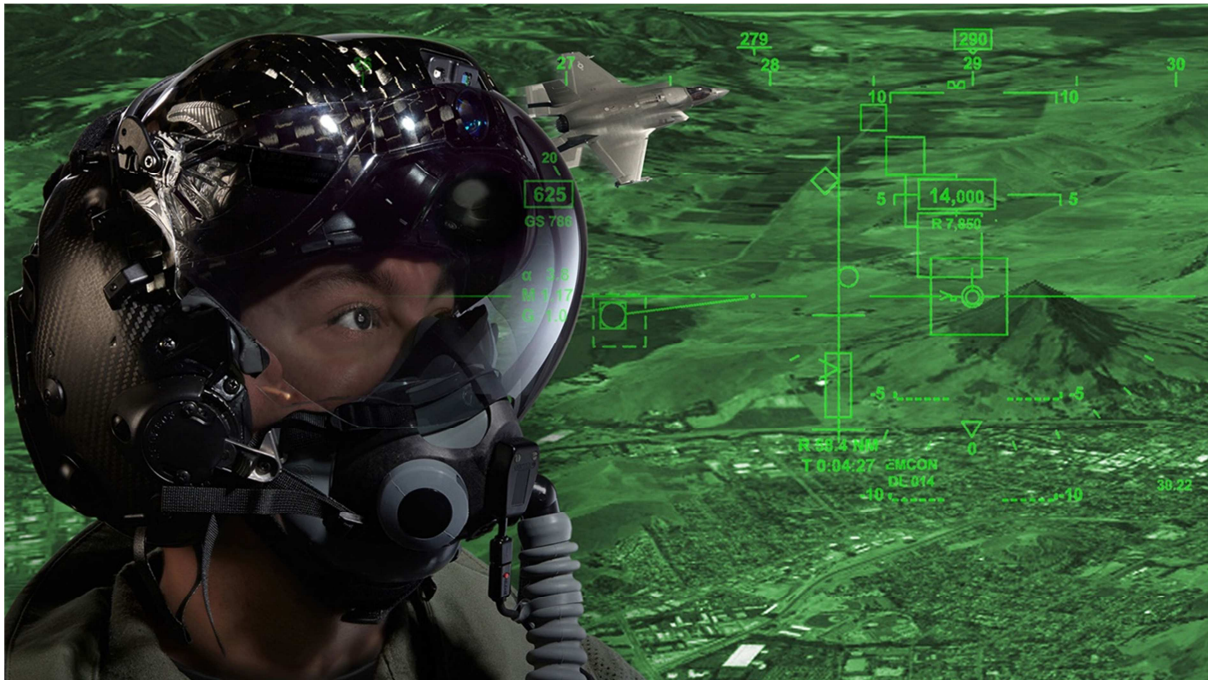
Izvor: <http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=2516729&seqNum=3>

## **Vojna industrija**

Tehnologija proširene stvarnosti se veoma rano u svojoj povijesti počela razvijati i za vojne aplikacije. Tokom povijesti su se, kao što je već spomenuto, mnogi sustavi razvili sa ciljem poboljšanja vojnih operacija, no primjena u stvarnim vojnim operacijama je i dalje ograničena, s jednom iznimkom, a to su primjene u vojnom zrakoplovstvu u obliku relativno jednostavnih sustava proširene stvarnosti integriranih u kacige vojnih pilota (Zazulia, 2018).

Mnogi vojni sustavi proširene stvarnosti se nalaze u ograničenoj upotrebi pri treniranju vojnika gdje mogu olakšati i ubrzati učenje te uz to i smanjiti cijenu obuke.

**Slika 17** Pilotska kaciga s tehnologijom proširene stvarnosti koja se koristi u F-35 zrakoplovima



Izvor: <https://www.rockwellcollins.com/Products-and-Services/Defense/Avionics/Displays-and-Controls/Helmet-Mounted-Displays/F-35-Gen-III-Helmet-Mounted-Display-System.aspx>

## 4. Hardver

Hardver u upotrebi u sustavima proširene stvarnosti se može podijeliti na hardver koji služi za prikaz proširenja i na hardver koji služi za praćenje.

Uređaji za prikaz koji se koriste u sustavima proširene stvarnosti se bitno razlikuju od zaslona na koje smo navikli koristiti uz klasična računala zato što ti uređaji moraju spojiti elemente iz stvarnoga svijeta s elementima iz virtualnog svijeta. I dok mnogi izjednačavaju proširenu stvarnost sa vizualnim proširenjima ljudske percepcije stvarnoga svijeta putem nekog oblika zaslona ili projektor, postoje i sustavi koji proširuju stvarnost u domeni drugih osjetila poput sluha, dodira, mirisa ili okusa, no ti zasloni nisu nikad zaživjeli te su u kontekstu današnje tehnologije proširene stvarnosti sporedni. Iz tog razloga ovaj će rad u obzir uzeti samo uređaje za vizualna proširenja stvarnosti.

### 4.1. Uređaji za video prikaz

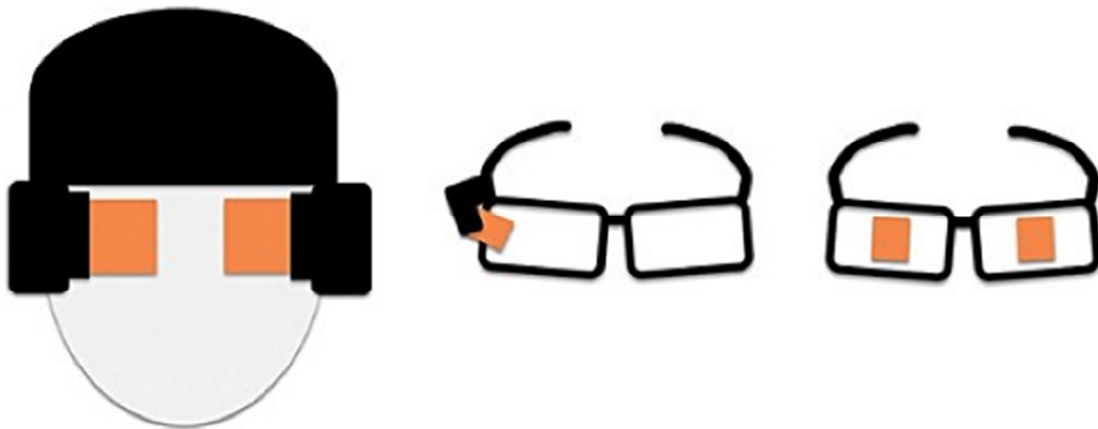
#### Zasloni postavljeni blizu oku (eng. near-eye display)

Bez sumnje najistaknutiji video zasloni danas u upotrebi unutar sustava proširene stvarnosti su zasloni koji se postavljaju na glavu korisnika, poznatiji pod kraticom HMD, proizašlom iz engleskog naziva head mounted displays. Upotreba HMD zaslona u sustavima proširene stvarnost započela je veoma rano u povijesti te tehnologije, već 1968. godine, kad je Ivan Sutherland, američki znanstvenik koji se često naziva ocem računalne grafike stvorio prvi HMD zaslon za prikaz, koji je zbog svoje težine morao biti obješen sa stropa zbog čega je dobio nadimak mač iz Damoclesa (Pesce, 2018).

Izrada zaslona koji se postavljaju na glavu korisnika je problematična zato što je jedan od glavnih kriterija pri izradi ergonomija. Nošenje takvih zaslona mora biti ugodno korisniku i ne smije ga sputavati, što znači da ne samo hardver već i sklop kojime se zasloni postavi na glavu moraju biti lagani i ne previše komplicirani, a da se pritom ne žrtvuju performanse i karakteristike zaslona. Na slici su prikazana tri moguća načina postavljanja zaslona na glavu korisnika.



**Slika 18** Razne opcije postavljanja HMD zaslona na glavu korisnika



Izvor: <https://books.google.hr/books?id=qPU2DAAAQBAJ&pg=PT79>

Prvi primjer prikazuje zaslone montirane na kacigu. Takvi sustav je robustan i dugotrajan, ali je ipak prvenstveno prikladan za aplikacije u okruženjima gdje bi korisnik ionako nosio kacigu na glavi, kao što je slučaj s pilotima, vatrogascima i vozačima utrka.

Drugi primjer prikazuje takozvane clip-on zaslone, koje je popularizirao Google sa svojim naočalama proširene stvarnosti Google Glass. U teoriji, iako to sa Googleovim proizvodom nije moguće, clip-on zaslone nisu vezani za jedne određene naočale već je dio sa zaslonom i ostalim potrebnim hardverom, to jest cijeli sustav, prijenosan te se može montirati na bilo koje naočale. Iako ergonomski odličan sustav, nedostatak je što se takvi zaslone nalaze malo izvan vidnog polja korisnika, te je zbog toga prikladniji za proširenje stvarnosti informacijama u tekstualnom obliku, nešto što bi korisnik tek povremeno koristio, te nije prikladan za istinsku implementaciju proširene stvarnosti.

Treći i posljednji primjer montiranja zaslona na glavu korisnika se naziva zaslon na viziru, poznatiji na engleskom nazivu visor display, gdje se zaslone nalaze u samom viziru ili staklu naočala, tako da se informacije mogu prikazivati u vidnom polju korisnika.

Povrh metode postavljanja zaslona na glavu korisnika, potrebno je odabrati i prikladnu metodu proširenja odnosno načina na koji će se korisniku prikazati spoj virtualnog i stvarnog. Postoje dvije metode proširenja: kroz proziran medij (eng. optical-see through ili OST) koji omogućuje korisniku da izravno gleda na stvaran svijet i kroz video snimku stvarnoga svijeta (eng. video-see through ili VST).

### Prozirni zasloni postavljeni na glavu korisnika (OST)

OST zasloni koriste optički medij na kojemu spaja virtualno sa stvarnim. Standardni način spajanja, kojega koristi i Sony na Glasstronu je da se korisniku u oči reflektira slika sa LCD zaslona, dok se kroz zaslon to jest staklo omogućava korisniku da izravno gleda stvaran svijet. Jedan od problema s kojima se susreću ovakvi zasloni je kontrola svjetlosti koja kroz prolazi kroz staklo. Glasstron je omogućavao korisniku da zatamni staklo, ali u otvorenim prostorima, na dnevnoj svjetlosti čak i maksimalno zatamnjeno staklo je propuštalo previše svjetlosti da bi korisnik mogao jasno vidjeti detalje virtualnih elementa, dok je u zatvorenim prostorima zaslon postavljen na najsvjetliju postavku nije propuštao dovoljno svjetla da korisniku omogući neometan pogled na stvarnu okolinu (Schmalstieg i Hollerer 2016) .

**Slika 19** Sony Glasstron, uređaj s OST zaslonom postavljenim na glavu



Izvor: <https://vincent.io/21st-century-opium/futuristic-home-theater-headgear/>

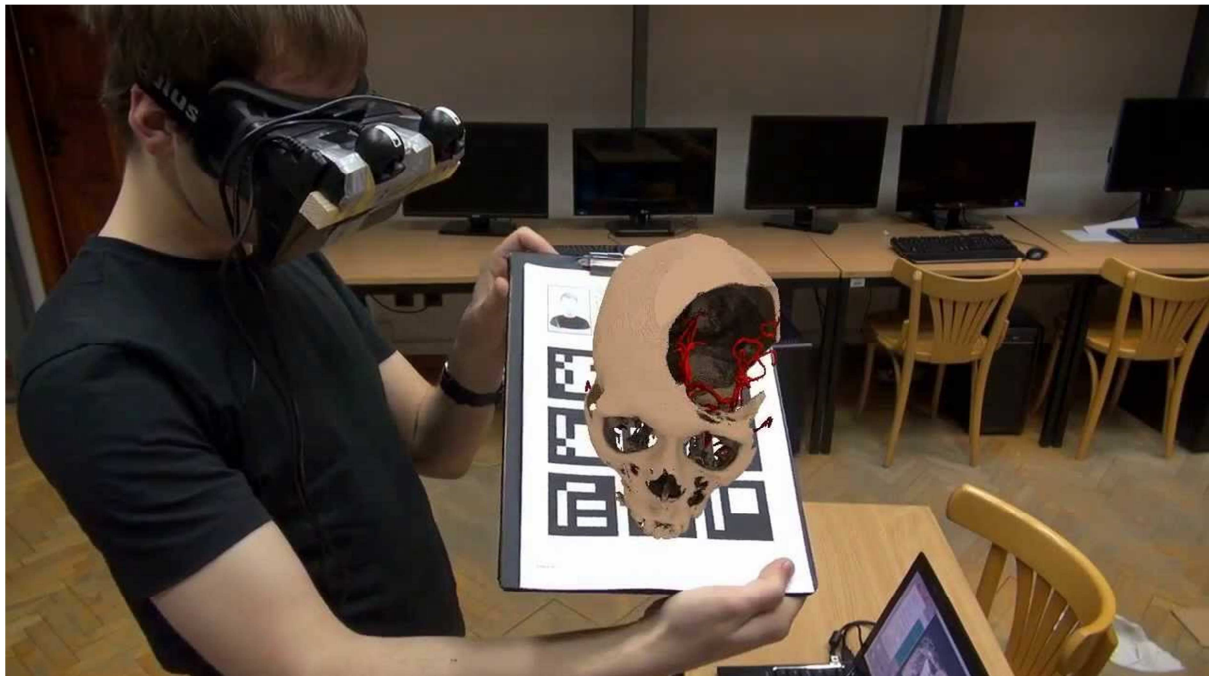
Još jedan od problema je kako omogućiti korisniku široki kut gledanja na digitalna proširenja u malenom i laganom paketu poput naočala ili vizira. Očito rješenje je

prikazati proširenja, to jest postaviti zaslon, bliže oku korisnika, no to donosi probleme sa fokusom.

### **Zaslone koji prikazuju snimku stvarnoga svijeta (VST) postavljeni na glavu korisnika**

VST zasloni uz neprozirni zaslon postavljen na glavu korisnika dodaju jednu ili više kamera koje snimaju stvarni svijet neposredno ispred korisnika te ga prikazuju korisniku na zaslonu ispred očiju. Tako korisnik nema neposredan pogled na svijet već vidi samo prijenos sa kamere u stvarnome vremenu. Jedan od izazova takvog sustava je prikaz snimke stvarnoga svijeta iz ispravne perspektive

#### **Slika 20** Primjer uređaja s VST zaslonom postavljenim na glavu korisnika



Izvor: <https://i.ytimg.com/vi/sA2zylvnvm/maxresdefault.jpg>

### **Zaslone koji se drže u rukama (eng. hand-held displays)**

Iznimna brzina razvoja pametnih telefona i tablet računala, te njihova cijenovna dostupnost i prihvaćenost na tržištu je upravo od pametnih telefona i tableta računala stvorila najpopularniju platformu za tehnologije proširene stvarnosti danas. Kamera koja se nalazi na stražnjoj strani takvih uređaja na zaslon s prednje strane prenosi sliku te pruža korisniku VST iskustvo pogleda na svijet, to jest prikazuje korisniku svijet posredno putem zaslona. Takvi sustavi imaju nekoliko značajnih nedostataka. S obzirom da se radi o mobilnom uređaju koje korisnik mora držati rukom u relativno visokom položaju da bi vidio svijet ispred sebe, to brzo dovodi do umora i do nemirnog pogleda, što može biti problem kod detaljnijih proširenja stvarnosti (Sheppard i Wolffsohn, 2018). Uz to, iako se činjenicu da korisnik može skloniti



uređaj kad ga ne koristi može smatrati pozitivnom karakteristikom, to ima i negativnu stranu. Naime, to ima negativan utjecaj na osjećaj povezanosti i fluidnost korisničkog iskustva zato što svaki put kad korisnik želi upotrijebiti aplikaciju za proširenje stvarnosti, on prvo mora uzeti uređaj u ruke, pokrenuti uređaj pa pokrenuti aplikaciju, što može biti relativno dugotrajan i nespretan proces, ovisno o situaciji.

**Slika 21** VST sustav proširene stvarnosti implementiran na hand held uređaju



Izvor: <https://industryreports24.com/188279/augmented-and-virtual-reality-handheld-device-market-latest-advancements-and-industry-outlook-2019/>

### Stacionarni zasloni

Jednom kad se tehnologije proširene stvarnosti, ili točnije, tehnologija nosivih zaslona dovoljno razvije, moguće je da će se upotrebom takvog sustava s nosivim zaslonom omogućiti da se tehnologijom proširene stvarnosti emuliraju svi drugi fizički zasloni tako što će na mjesto gdje bi zaslon trebao biti postaviti virtualni zaslon. No čak i u takvom scenariju postoje razlozi zbog kojih bi klasični stacionarni zasloni bili od koristi. Jedan od razloga je što je upotrebom klasičnih zaslona vrlo jednostavno pogled na proširenu stvarnost dijeliti ili omogućiti drugima zato što je vidljiv s veće udaljenosti, za razliku od primjerice, zaslona montiranih u viziru ili naočalama. Drugi razlog je što je svijet pun klasičnih zaslona, od naših domova i automobila, pa do raznih javnih prostora, te bi bilo pogrešno ne pokušati ih iskoristiti za primjenu tehnologija proširene stvarnosti. Klasični desktop zaslon je najjednostavniji od svih mogućnosti za zaslon, sve što je potrebno je najobičniji desktop zaslon i web kamera (ili laptop s web kamerom). Kamera istovremeno služi i kao izvor video prikaza i kao uređaj za praćenje. Druga mogućnost je takozvano virtualno zrcalo, koje emulira tradicionalno ogledalo uz dodatnu mogućnost dodavanja virtualnih proširenja, poput Lego kioska spomnutog u poglavlju. Takav sustav može služiti korisnicima da isprobavaju virtualnu odjeću ili šminku na primjer (Raturi, 2018).



**Slika 22** Zamišljen primjer virtualnog zrcala za isprobavanje odjeće



Izvor: <https://hackernoon.com/virtual-mirror-the-future-of-interaction-95755b0d3d60>

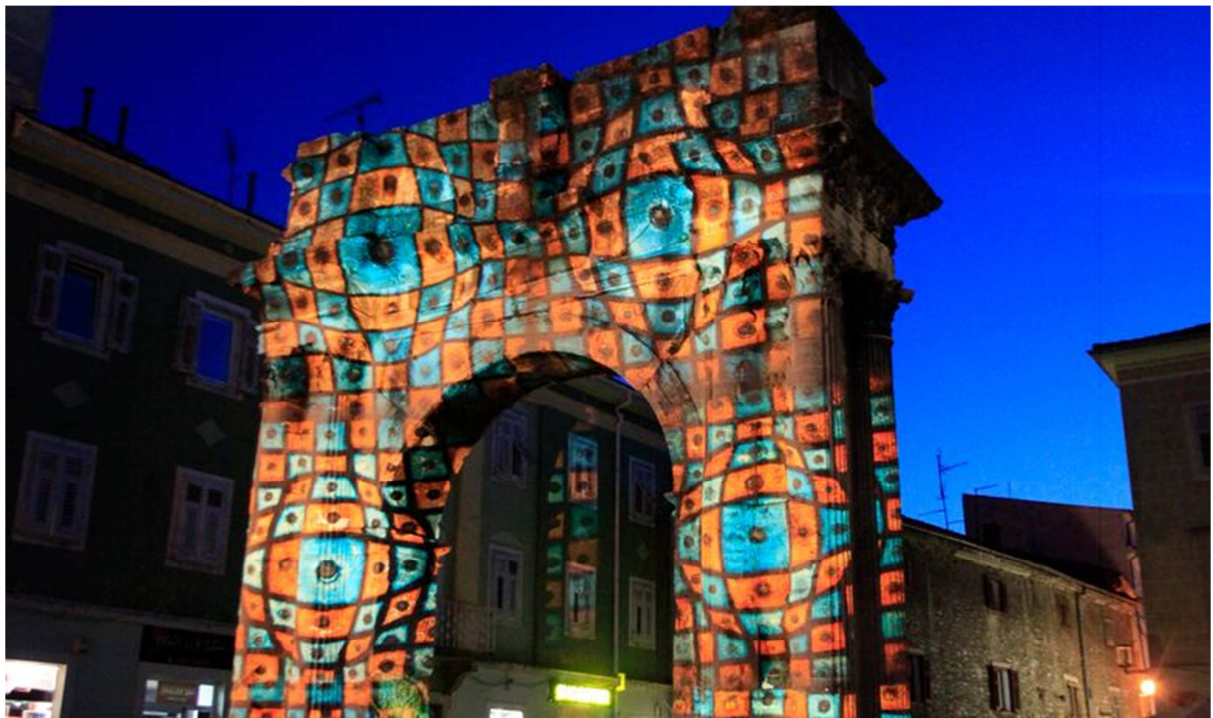
### Projektorski zasloni

Kako projektori, kao i gotovo sav hardver, s vremenom postaju sve jeftiniji, kompaktniji i boljih performansi, projektori se više ne koriste samo u kinima i učionicama već nalaze svoje mjesto i u aplikacijama za osobnu upotrebu. Projektori se mogu upotrijebiti za implementaciju nečega što se naziva prostorna proširena stvarnost (eng. spatial augmented reality), sustav koji ne koristi zaslone. Umjesto zaslona, projektor prikazuje elemente na površinama objekata u stvarnome svijetu, te tako iz perspektive korisnika mijenja njihov izgled i funkciju. Iako projektor ne može promijeniti oblik objekta u stvarnome svijetu, može dodati razne detalje na njegovu površinu poput raznih tekstura, sjena ili animacija.

Prostorna proširena stvarnost može se implementirati u dva oblika: kao view-independent ili view-dependent, to jest projekcije mogu biti statične i biti neovisne od perspektive korisnika ili ovise o perspektivi korisnika i prilagođavati se korisnikovom pogledu.

View-independent implementacija koristi statične projektore te jednostavno dodaje razne detalje na njegovu površinu poput raznih tekstura, sjena ili animacija. Jedna od čestih upotreba ovakve tehnologije je za stvaranje predstava ili izložbi projicirajući razne slike na razne površine, najčešće na fasade zgrada. U Puli se održava Visualia festival od 2012. godine koji koristi upravo tu tehnologiju (Više svjetla u Puli!, 2017).

**Slika 23** Zlatna vrata za vrijeme Visualia festivala



Izvor: <https://www.jutarnji.hr/kultura/foto-impresivan-festival-koji-ce-obuzeti-sva-vasa-osjetila/3751110/>

## 4.2. Hardver za praćenje

### Stacionarni uređaji

Pri odabiru sustava za praćenje, kao i pri odabiru sustava za prikaz, moramo uzeti u obzir ne samo namjenu sustava, već i ciljanu publiku i ciljano tržište. Pri tome je često potrebno odabrati kompromisno rješenje između performansi i cijene, kao i između veličine, težine i potrošnje energije s jedne strane i prenosivosti sustava s druge strane (Schmalstieg i Hollerer 2016). Naravno, mnogo je lakše izraditi sustav koji ne mora biti lagan, prenosiv i dobrih ergonomske karakteristika. Uzevši to u obzir, nije iznenađujuća činjenica da su prvi sustavi za praćenje bili stacionarni. Stacionarni sustavi za praćenje mogu se implementirati koristeći razne tehnologije, ovisno o potrebama sustava. Te tehnologije se mogu podijeliti na tri vrste: mehaničko, elektromagnetsko i ultrazvučno praćenje .

**Uređaji za mehaničko praćenje** su nadogradnja dobro poznatih sustava iz strojarstva. Najčešće se koriste mehaniziranim rukama kojima se prati položaj preko kuteva na zglobovima i duljini ruku. Takvi su sustavi veoma ograničeni slobodom kretanja odnosno pokreta koje mogu pratiti, iako su veoma precizni te stoga još uvijek nalaze svoju primjenu u industrijskoj proizvodnji.

**Uređaji za elektromagnetsko praćenje** koriste statični izvor elektromagnetskog zračenja koji stvara tri magnetska polja te senzore sa zavojnicima. Pomoću snage magnetskog polja računaju udaljenost od izvora, a pomoću zavojnica određuju orijentaciju. Elektromagnetsko praćenje je danas praktički izašlo iz upotrebe zbog između ostalog i ograničenja na efektivnu udaljenost praćenja koja nameće priroda elektromagnetskih polja.

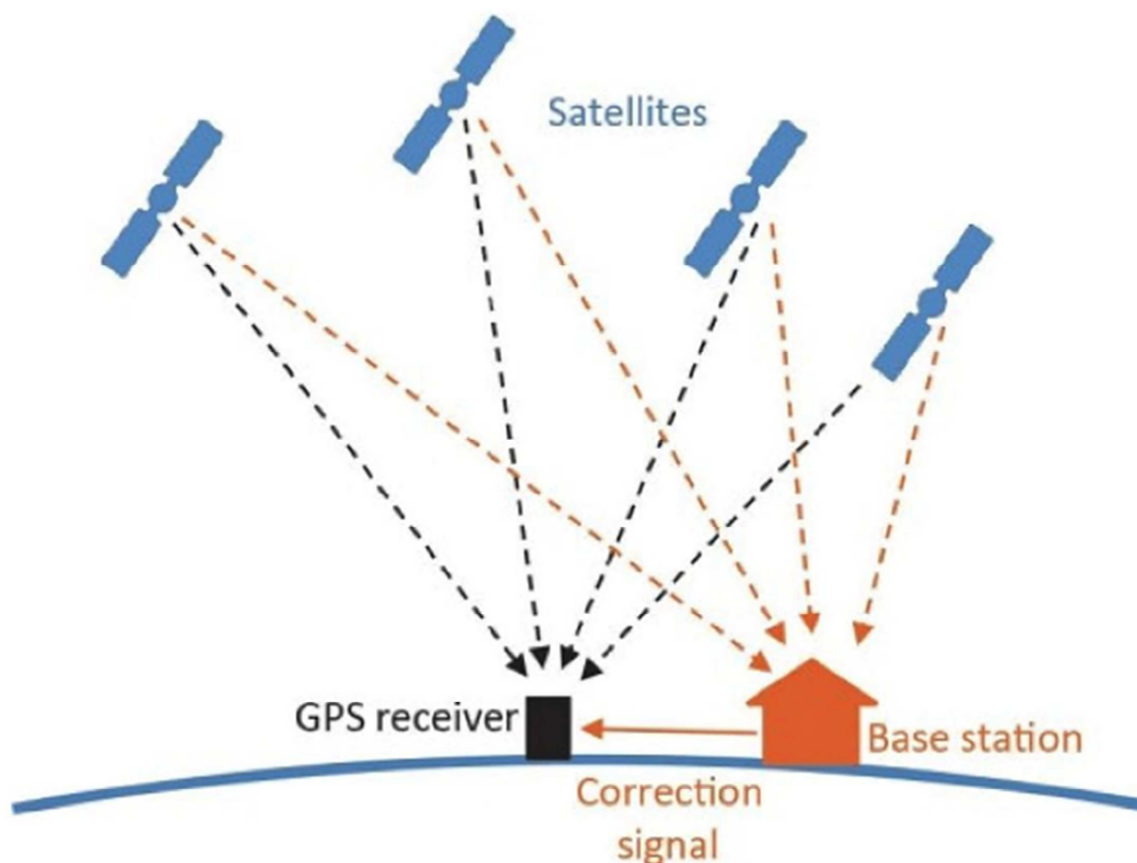
**Uređaji za ultrazvučno praćenje** mjere vrijeme puta zvučnog impulsa na putu od izvora do senzora. Kao i dvije prethodne vrste stacionarnih sustava, ultrazvučno praćenje je danas praktički izašlo iz upotrebe zbog svojih ograničenja. Izvori ultrazvučnih impulsa ne smiju istovremeno slati impulse da se ne bi međusobno ometali, brzina zvuka nije dovoljno velika za neke primjene te uz prethodno ograničenje ne dozvoljava dovoljno često slanje informacija o praćenju za mnoge upotrebe. Uz to, tehnologija zahtjeva čistu liniju za impulse, te je sklona smetnjama iz okruženja, uključujući i velike promjene u ambijentalnoj temperaturi.

### Mobilni uređaji

Dok su za neke primjene stacionarni sustavi za praćenje prikladni, poput onih gdje se od korisnika očekuje da se ne kreće previše, za većinu današnjih primjena sustavi za praćenje bi trebali biti mobilni kako bi bili upotrebljivi. Naime, korisnici tehnologije proširene stvarnosti najčešće koriste mobilne računalne platforme te se često kreću kroz nepoznati i neograničeni okoliš gdje nemaju kontrolu nad okruženjem i ne mogu se pouzdati na praćenje od strane udaljenih uređaja, već moraju koristiti senzore

koje mogu uklopiti u ranije spomenu mobilnu računalnu platformu. Moderni pametni telefoni su primjerice opremljeni sa velikim brojem senzora koje ugrubo možemo podijeliti u dvije skupine: nevizualne senzore među koje spadaju GPS sateliti, bežične mreže, magnetometri, žiroskopi i akcelerometri te u vizualne senzore. Slijedi kratak senzora:

**GPS** je satelitski radionavigacijski sustav razvijen od strane ministarstva obrane Sjedinjenih Američkih Država te služi za precizno određivanje trodimenzionalnog položaja (zemljopisne širine, dužine i visine) na Zemlji ili u njezinoj blizini. Sustav se sastoji od 31 umjetnog satelita koji se kreću u šest orbita oko Zemlje. U bilo kojem trenutku, bilo gdje na Zemlji, najmanje četiri satelita su dostupna korisniku te se putem složenih mjerenja i matematičkih izračuna može dobiti precizna lokacija (GPS Overview, 2017).



<https://books.google.hr/books?id=qPU2DAAAQBAJ&pg=PT129&lpg=PT129>

**Bežične mreže** poput Wi-Fi mreža i mobilnih telefonskih mreža, koje su danas svepristupne, se mogu koristiti za određivanje položaja. Uređaji su u stalnoj komunikaciji s baznim stanicama te je za ipak relativno neprecizno određivanje položaja dovoljno samo pogledati identifikacijsku oznaku bazne stanice s kojom uređaj komunicira. Preciznost se može povećati mjereći snagu signala bazne stanice te povećati još više ako možemo locirati više baznih stanica. No čak i ako imamo

dovoljno baznih stanica u okruženju, preciznost je i dalje nekoliko metara u najboljem slučaju.

**Magnetometar** poznat i kao elektronski kompas mjeri orijentaciju zemljinog magnetnog polja da bi odredio smjer relativan magnetskom sjeveru te na taj način pruža podatke o orijentaciji na globalnoj razini. Nažalost, u praksi su takva mjerenja često nedovoljno precizna i nepouzdana zato što ih lokalna magnetska polja, poput onih koje proizvodi elektronička oprema, ometaju u velikoj mjeri.

**Žiroskop** je uređaj to jest mikroskopska elektronička ploča koja je sposobna izračunati kutne brzine, prenoseći odgovarajuće informacije u obliku električnih signala te utvrditi odstupanja od vlastite osi.

**Akcelerometar** mjeri akceleraciju, promjenu brzine u jedinici vremena.

**Vizualni senzori** se često koriste zajedno sa nevizualnim sensorima. Naime nevizualni senzori su važni zbog svoje mobilnosti, ali oni nisu dovoljno precizni da bi sustavima proširene stvarnosti osigurali podatke potrebne da se usklade virtualni elementi sa stvarnima. Vizualni senzori odnosno optičko praćenje uz relativno jeftin hardver u obliku kamere pružaju veoma bogate podatke. Čak i najjeftinije kamere danas u upotrebi u jednoj slici zabilježe doslovno milijune piksela. Kad se tome dodaju sofisticirani algoritmi koji se koristi pri analiziranju slika i kojima se mogu prepoznati određeni elementi u okruženju, bilo da su oni prirodni ili umjetni u vidu postavljenih markera, optičko praćenje je postalo jedno od temeljnih modernih tehnika praćenja u sustavima proširene stvarnosti.

## 5. Softver

Sustavi proširene stvarnosti postavljaju mnoge zahtjeve u pogledu arhitekture softvera. Kad je u pitanju softver, proširena stvarnost je veoma zahtjevno polje zato što da bi bila ispravno izvedena mora uspješno spojiti razne komponente iz različitih polja, od kojih svaka donosi i svoje zahtjeve i izazove povrh onih koje donosi sama tehnologija proširene stvarnosti. Uz složenost koju donosi potreba za integracijom raznih komponenti u jednu aplikaciju koja mora raditi u stvarnome vremenu, tu je i potreba za integracijom spomenute aplikacije i stvarnoga svijeta te potreba za podrškom raznih mobilnih sustava i raznih platformi ovisno o vrsti aplikacije i njezinoj namjeni.

(Schmalstieg i Hollerer 2016) prepoznaju sljedeće zahtjeve, koje možemo grubo podijeliti na zahtjeve aplikacije i zahtjeve softverskog inženjerstva.

### 5.1. Zahtjevi aplikacije

Jedna od jedinstvenih karakteristika sustava proširene stvarnosti je što njihova korisnička sučelja uključuju vanjski fizički svijet, iz čega se javlja potreba za kontrolom okruženja (eng. environment control), dinamiku prikaza (eng. scene dynamics), upravljenje prostora za prikaz (eng. display space management), konzistentnost između stvarnog i virtualnog (eng. real-virtual consistency) i potreba za semantičkim znanjem (eng. semantic knowledge). U idućih nekoliko odlomaka slijede kratka objašnjenja svakog od tih zahtjeva.

**Kontrola okruženja i dinamika prikaza** – sustavi proširene stvarnosti trebaju biti u mogućnosti u stvarnome vremenu reagirati na promjene u perspektivi korisnika i na složenost i nepredvidivost stvarnoga svijeta koji je dio korisničkog sučelja. Na primjer, ako aplikacija zahtjeva neometan pogled na neki fizički objekt, ona treba biti spremna na razne situacije poput toga da korisnik odvrti pogled od objekta u pitanju, da netko ili nešto blokira korisnikovo pogledu prema objektu ili da se zbog utjecaja iz stvarnoga svijeta, utjecaja koji je van korisnikove kontrole, poput razine osvjetljenja, izgled objekta u pitanju drastično promijeni. Istovremeno, sustav ne smije prečesto odnosno nepotrebno mijenjati korisnikov pogled ili elemente proširene stvarnosti zato što je poznato da takve promjene ometaju korisnikovu pažnju i stvaraju neugodno i nekonzistentno korisničko iskustvo.

**Upravljenje prostorom za prikaz** – Proširena stvarnost, kao i virtualna, ima potencijal da prostor za prikaz bude neograničen u odnosu na korisnikovo okruženje (osim ograničenja fizičkoga svijeta, naravno), iako je zbog karakteristika ljudskoga vida samo jedan malen dio tog prostora vidljiv korisniku u datom trenutku. Sustav bi trebao imati mogućnost povezati se sa već postojećom infrastrukturom u stvarnome

svijetu poput raznih tableta i drugih mobilnih uređaja odnosno imati mogućnost raditi kao dio distribuiranog računalnog okruženja.

**Konzistentnost između stvarnog i virtualnog** – ljudi od početka svog života uče na koji način se manipulira objektima u stvarnome svijetu i kako izgleda interakcija s raznim sustavima te na temelju tih iskustava se stvaraju određena očekivanja, posebice kod sustava proširene stvarnosti koji pokušavaju stopiti virtualno sa stvarnim te pri tome se mora paziti na konzistentnost između stvarnog i virtualnog.

**Semantičko znanje** – kako bi sustav proširene stvarnosti mogao donijeti ispravne odluke o načinu upotrebe, načinu interakcije i položaju virtualnih elementa, potrebno je uspostaviti semantičku vezu između stvarnih i virtualnih objekata. Da bi se ta veza uspješno uspostavila sustavu su potrebne informacije o fizičkim objektima, o vrsti virtualnog proširenja te o vezi između to dvoje. Potrebno je da sustav ispravno protumači stvarni svijet i kontekst proširenja i interakcije.

## 5.2. Zahtjevi softverskog inženjerstva

Uz zahtjeve koje softver proširene stvarnosti mora ispuniti da bi mogao raditi u stvarnome svijetu, van specijaliziranih laboratorija u kojima su uvjeti izvođenja strogo kontrolirani, softver mora ispuniti i zahtjeve koji proizlaze iz inženjerskih zahtjeva za izgradnju složenih softverskih sustava. Oni su: apstrakcija platforme (eng. platform abstraction), apstrakcija korisničkog sučelja (eng. user interface abstraction), ponovno korištenje (eng. reusability), proširenje (eng. extensibility), distribuirano računalstvo (eng. distributed computing), odvojena simulacija (eng. decoupled simulation). U idućih nekoliko odlomaka slijede kratka objašnjenja svakog od tih zahtjeva.

**Apstrakcija platforme** – kompatibilnost između različitih platformi je nužna kako bi se osiguralo uspješno izvođenje aplikacije na uređajima u stvarnome svijetu, uređajima koji će koristiti razne operativne sustave, razna korisnička sučelja i razne grafičke knjižnice, između ostaloga. Iako je neovisnost od bilo koje jedne određene platforme poželjno svojstvo svakog softvera, ta karakteristika ističe se još snažnije kod softvera namijenjenog sustavima proširene stvarnosti. Naime, ti sustavi imaju iznimno veliku raznolikost u sebi, posebice u domeni uređaja za ulaz i izlaz. Apstrakcija platforme i njezina neovisnost također značajno olakšava izvođenje aplikacije na distribuiranoj arhitekturi.

**Apstrakcija korisničkog sučelja** – za razliku od klasičnih desktop aplikacija s kojima se interakcija gotovo uvijek vrši putem miša i tipkovnice, a korisnička sučelja gotovo uvijek sadrže svima dobro poznate elemente poput prozora, ikona, izbornika i pokazivača, slična dobro uspostavljena paradigma korisničkog sučelja za sustave proširene stvarnosti jednostavno ne postoji. Zbog toga bi bilo poželjno da softver

bude barem donekle neovisan o određenoj paradigmi dizajna korisničkog sučelja, pa i o određenim uređajima sučelja.

**Ponovno korištenje i proširenje** – sustavi proširene stvarnosti trebali bi težiti softverskim komponentama koje omogućuju ponovno korištenje to jest komponentama koje je moguće ponovno upotrijebiti u nekoj drugoj aplikaciji. Isto tako komponente bi trebale omogućiti proširenje novim funkcijama ili modifikacije postojećih uz relativno malo problema i prilagodbe.

**Distribuirano računalstvo** –mnoge aplikacije proširene stvarnosti zahtjevaju neku vrstu distribuiranog računalstva. Potreba za distribuiranim računalstvom kao arhitekture proizlazi iz prirode sustava u kojemu se te aplikacije razvijaju i koriste, sustava koji se sastoji od mnogo različitih komponenti, kako softverskih tako i hardverskih. Iz te činjenice proizlazi da sustav proširene stvarnosti mora pružiti barem dvije mogućnosti. Prva mogućnost je zajednički komunikacijski mehanizam za softverske komponente kako bi se komunikacija preko mreže koja spaja spomenuti distribuirani sustav pojednostavila, i kako ne bi bila problematična točka pri razvoju novih aplikacija. Druga mogućnost koju sustav mora pružiti je dostupne mehanizme za kontrolu toka i debugging kako bi se developerima olakšao posao, i kako ih se ne bi složenosti rada otjeralo s platforme.

**Odvojena simulacija** – distribuirana simulacija je jedan od temeljnih koncepata distribuiranih interaktivnih sustava i sustava proširene stvarnosti. U ovom modelu, sustav se sastoji od barem dvije softverske komponente, koje se istovremeno ali međusobno nezavisno izvršavaju. Svaka je komponenta zadužena za simulaciju jednog određenog dijela simuliranog okruženja. Na primjer, jedna komponenta može biti zadužena za simulaciju fizikalnih svojstava virtualnog objekta, dok druga može biti zadužena za trodimenzionalnog prikaz objekta. Da bi animacije bile glatke, one se moraju osvježavati brzinom osvježavanja zaslona, odnosno moraju se osvježavati i izvoditi češće nego simulacija fizikalnih svojstava. Model odvojene simulacije također uvelike olakšava redizajn, rekonfiguraciju i bilo kakve promjene u sustavu zato što se sustavom može upravljati na precizniji način, te se pri tome mora u obzir uzimati samo manji dio sustava, onaj dio na kojemu se vrše promjene.



## Zaključak

Iako je od svojega početka tehnologija proširene stvarnosti ostvarila impresivan napredak, te uspjela izaći iz strogo kontroliranih uvjeta specijaliziranih istraživačkih laboratorija sveučilišta i velikih korporacija na tržište i među šire stanovništvo, očito je da se tehnologija još uvijek nalazi u relativno ranoj fazi razvoja, ili možda točnije, u relativno ranoj fazi široke implementacije i prihvaćenosti među širim stanovništvom. Zasad je, iako svima dostupna po relativno niskoj cijeni, ova tehnologija još uvijek predmet interesa ili tehnoloških entuzijasta ili stručnjaka koji je koriste kao alat za obavljanje specijaliziranih zadataka. (Weiser 1991) najznačajnijom tehnologijom smatra onu koja nestaje tako što se u tolikoj mjeri stopi sa samom niti svakodnevnog života da postane njezin sastavni, neodvojiv dio. Ako pogledamo stanje tehnologije proširene stvarnosti danas, počevši od relativno jednostavnih aplikacija ograničene primjene preko potrebe za specijaliziranim hardverom za bilo kakvu ozbiljniju upotrebu pa do nužnih kompromisa u domeni funkcionalnih i ergonomskih zahtjeva, nije teško zaključiti da tehnologija proširene stvarnosti nije postala neprimjetna te da ima još mnogo razvoja na svom putu prije nego što se može reći da je postala neizostavan dio naših života.

## Popis literature

**Craig, A. (2013) *Understanding Augmented Reality: Concepts and Applications***: [pdf] Amsterdam. Morgan Kaufmann. Dostupno na <http://digilib.stmik-banjarbaru.ac.id/data.bc/12.%20Enterprise%20Architecture/12.%20Enterprise%20Architecture/2013%20Understanding%20Augmented%20Reality.pdf> [pristupljeno 20 rujna 2019.]

**Schmalstieg, D. i Hollerer, T. (2016) *Augmented Reality***. Boston. Addison-Wesley.

**Azuma, R.T. (1997) *A Survey of Augmented Reality, Presence***. [pdf] Teleoperators and Virtual Environments, 6, 355-385. Dostupno na <https://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf> [pristupljeno 20 rujna 2019.]

**Milgram, P. i Kishin, T. (1994) *Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality***. [pdf] Kyoto. ATR Communication Systems Research Laboratories. Dostupno na [http://etclab.mie.utoronto.ca/publication/1994/Milgram\\_Takemura\\_SPIE1994.pdf](http://etclab.mie.utoronto.ca/publication/1994/Milgram_Takemura_SPIE1994.pdf) [pristupljeno 20 rujna 2019.]

**Weiser, M. (1991.) *The Computer for the 21st Century***. [pdf] Scientific American, 265, 94-104. Dostupno na <https://www.lri.fr/~mbl/Stanford/CS477/papers/Weiser-SciAm.pdf> [pristupljeno 20 rujna 2019.]

**Sutherland, I. (1965) *The Ultimate Display***. [pdf] Arlington, Virginia. Information Processing Techniques Office, ARPA. Dostupno na <http://worrydream.com/refs/Sutherland%20-%20The%20Ultimate%20Display.pdf> [pristupljeno 20 rujna 2019.]

**Caudell, T. i Mizell, D. (1992) *Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes***. [pdf] Seattle, Washington. Boeing Computer Services, Research and Technology. Dostupno na [https://www.researchgate.net/publication/3510119\\_Augmented\\_reality\\_An\\_application\\_of\\_heads-up\\_display\\_technology\\_to\\_manual\\_manufacturing\\_processes](https://www.researchgate.net/publication/3510119_Augmented_reality_An_application_of_heads-up_display_technology_to_manual_manufacturing_processes) [pristupljeno 20 rujna 2019.]

**Eastern Western, (2018). *What is Mercedes' new augmented reality sat-nav?*** [online] Dostupno na <https://www.easternwestern.co.uk/news/What-is-Mercedes-new-augmented-reality-sat-nav/60406/> [pristupljeno 20 rujna 2019.]

**Humphries, M. (2010). *Lego augmented reality kiosks heading to shops worldwide***. [online] Geek.com. Dostupno na <https://www.geek.com/geek-cetera/lego-augmented-reality-kiosks-heading-to-shops-worldwide-1195942/> [pristupljeno 20 rujna 2019.]

**Reynolds, M. (2018). *How IKEA's future-living lab created an augmented reality hit.*** [online] Wired. Dostupno na <https://www.wired.co.uk/article/ikea-place-augmented-reality-app-space-10/> [pristupljeno 20 rujna 2019.]

**ARToolKit (2007) *ARToolKit Documentation - History*** [online] Dostupno na <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/documentation/history.htm> [pristupljeno 25. rujna 2019.]

**Girbacia, F. (2010) *An Approach to Augmented Reality Technical Drawings*** [pdf] Brasov, Romania. Product Design and Robotics, Transilvania University Brasov. Dostupno na <https://pdfs.semanticscholar.org/419f/c547bbb69bbac7ec20bb73e626ddde47f3ab.pdf> [pristupljeno 25. rujna]

**Goergel, P., Schroeder, P., Benhimane, S., Hinterstoißer, S., Appel, M i Navab, N. (2015) *An Industrial Augmented Reality Solution For Discrepancy Check*** [pdf] Los Angeles, USA. Institute of Electrical and Electronics Engineers. Dostupno na <https://ieeexplore.ieee.org/document/4538834> [pristupljeno 25. rujna]

**Mohr, P., Kerbl, B., Donoser, M., Schmalstieg, D. i Kalkofen, D. (2015) *Retargeting Technical Documentation to Augmented Reality*** [pdf] Graz, Austria. Graz University of Technology. Dostupno na [https://arbook.icg.tugraz.at/schmalstieg/Schmalstieg\\_288.pdf](https://arbook.icg.tugraz.at/schmalstieg/Schmalstieg_288.pdf) [pristupljeno 25. rujna]

**Navab, N., Blum, T., Wang, L., Okur, A. i Wendler, T. (2015) *First Deployments of Augmented Reality in Operating Rooms*** [pdf] Los Angeles, USA. Computer Magazine, 7, 48-55. Dostupno na <https://ieeexplore.ieee.org/document/6165241> [pristupljeno 25. rujna]

**Deebika, D. (2015) *Augmented Reality Advancement X-Ray Imaging Medical Reality scanning*** [pdf] Chennai, India. Department of Computer Science & Engineering, MNM Jain Engineering College. Dostupno na <http://biomedpharmajournal.org/vol8no1/augmented-reality-advancement-x-ray-imaging-medical-reality-scanning/> [pristupljeno 25. rujna]

**Zazulia, N. (2018). *F-35: Under the Helmet of the World's Most Advanced Fighter*** [online] Aviation Today. Dostupno na <https://www.aviationtoday.com/2018/08/24/f-35-helmet-worlds-advanced-fighter/> [pristupljeno 25 rujna 2019.]

**Pesce, M. (2018). *1968: When the World Began – SWORD OF DAMOCLES*** [online] The Next Billion Seconds. <https://nextbillionseconds.com/2018/11/30/1968-when-the-world-began-part-two-sword-of-damocles/> [pristupljeno 25 rujna 2019.]

**Sheppard, A. i Wolffsohn, J. (2015) *Digital eye strain: prevalence, measurement and amelioration*** [pdf] London, UK. BMJ Open Ophthalmology.

Dostupno na <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6020759/> [pristupljeno 25. rujna]

**Raturi, G. (2018).** *Virtual Mirror: The Future of interaction* [online] Hackernoon. Dostupno na <https://hackernoon.com/virtual-mirror-the-future-of-interaction-95755b0d3d60> [pristupljeno 25 rujna 2019.]

**Vizkultura, (2018).** *Više svjetla u Puli!* [online] Dostupno na <https://vizkultura.hr/vise-svjetla-u-puli/> [pristupljeno 25 rujna 2019.]

**GPS, (2017).** *GPS Overview* [online] Dostupno na <https://www.gps.gov/systems/gps/> [pristupljeno 25. rujna 2019.]

## Popis slika

Slika 1 Primjer aplikacije proširene stvarnosti .....	2
Slika 2 <b>Primjer sustava virtualne stvarnosti</b> .....	3
Slika 3 Spektar mješane stvarnosti prema Milgramu i Kishinu (1994).....	4
Slika 4 Milgram-Weiser graf koji prikazuje međusobne odnose raznih tehnologija mješane stvarnosti .....	5
Slika 5 Prvi HMD uređaj, dijelo Ivana Sutherlanda .....	6
Slika 6 Boeingov sustav proširene stvarnosti koji pomaže radnicima u proizvodnji .....	7
Slika 7 Virtual Fixtures, jedan od prvih funkcionalnih sustava proširene stvarnost .....	8
Slika 8 KARMA, sustav za pomoć pri održavanju i popravku printera.....	8
Slika 9 Touringov stroj, prvi sustav proširene stvarnosti koji je bio namijenjen za korištenje vani .....	9
Slika 10 RV-Border Guards video igra ravijena u Canonovom laboratoriju .....	10
Slika 11 Primjer sustava proširene stvarnosti za CAD modele.....	11
Slika 12 Primjer sustava proširene stvarnosti za pomoć pri održavanju koji prikazuje slijed rastavljanja ventila.....	12
Slika 13 Pogledi kroz sustav proširene stvarnosti CamC koji se koristi za pomoć pri izvođenju medicinskih zahvata.....	13
Slika 14 Pogled na Mercedes-Benzov navigacijski sustav s proširenom stvarnošću .....	14
Slika 15 AR kiosk u Lego trgovini, koji kupcima prikazuje trodimenzionalni prikaz sastavljenog modela .....	15
Slika 16 Vuforia SmartTerrain video igra.....	16
Slika 17 Pilotska kaciga s tehnologijom proširene stvarnosti koja se koristi u F-35 zrakoplovima .....	17
Slika 18 Razne opcije postavljanja HMD zaslona na glavu korisnika .....	19
Slika 19 Sony Glasstron, uređaj s OST zaslonom postavljenim na glavu.....	20
Slika 20 Primjer uređaja s VST zaslonom postavljenim na glavu korisnika.....	21
Slika 21 VST sustav proširene stvarnosti implementiran na hand held uređaju .....	22
Slika 22 Zamišljen primjer virtualnog zrcala za isprobavanje odjeće.....	23
Slika 23 Zlatna vrata za vrijeme Visualia festivala .....	24

## Sažetak

Proširena stvarnost je tehnologija koja omogućuje proširenje stvarnosti digitalnim informacijama kojima možemo upravljati na način sličan onome kojime upravljamo stvarima u stvarnosti. Ona spaja digitalno i stvarno na način koji je ljudima razumljiviji i intuitivniji od onoga kojime se koriste klasični računalni sustavi te pokušava besprimjetno uklopiti digitalne informacije u fizičku stvarnost. Iako su se od ranih sustava koji su 1960-ih godina stvoreni u strogo kontroliranim uvjetima specijaliziranih istraživačkih laboratorija sveučilišta i velikih korporacija sustavi proširene stvarnosti do danas razvili u sustave koje može susresti u raznim poljima, od digitalne zabavne industrije pa sve do vojne tehnologije, njihov razvoj tek počinje.

## Summary

Augmented reality is a technology that enables augmentation of the real world with digital information, in a form that allows the digital information to be interacted with and manipulated in a similar manner in which we do it with real world objects. It merges the digital with the physical in a more easily understandable and more intuitive manner than the one of classical computer systems and it tries to seamlessly blend digital information into the physical reality. Although the augmented reality technology has come a long way since the early systems designed in the 1960's in controlled conditions of research laboratories of universities and large corporations, and can today be found implemented in many different fields, from digital entertainment all the way to the latest military systems, its development is just starting.

## **Ključne riječi**

Informatika, Informacijska tehnologija, IT, proširena stvarnost, AR, miješana stvarnost, MR, primjene proširene stvarnosti, povijest proširene stvarnosti



## **Keywords**

Information Technology, IT, augmented reality, AR, mixed reality, MR, applications of augmented reality, history of augmented reality