

Podvodno snimanje u igranom filmu

Birimiša, Roko

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Academy of dramatic art / Sveučilište u Zagrebu, Akademija dramske umjetnosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:205:722597>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-02**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Academy of Dramatic Art - University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

AKADEMIJA DRAMSKE UMJETNOSTI



ROKO BIRIMIŠA

PODVODNO SNIMANJE U IGRANOM FILMU

Pisani dio diplomskog rada

Zagreb, 2022.

1

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AKADEMIJA DRAMSKE UMJETNOSTI**

**Studij snimanja
Usmjerenje filmsko i video snimanje**

PODVODNO SNIMANJE U IGRANOM FILMU

Diplomski rad

Mentor: Mario Sablić, doc.art

Student: Roko Birimiša

Zagreb, 2022.

Sadržaj

Uvod.....	4
Povijest podvodnog snimanja.....	7
Oko, vid i svjetlo ispod površine mora.....	16
Oprema za podvodno snimanje.....	22
Planiranje podvodnog snimanja.....	30
James cameron „The Abyss“	32
Zaključak.....	38
Literatura.....	40
Internet stranice.....	40

Uvod

Nakon dvanaestogodišnjeg bavljenja plivanjem i četverogodišnjeg bavljenja vaterpolom, zaronio sam prvi put ispod površine mora koristeći boce s kisikom i zaljubio se u podmorje. Dok se stvarala ljubav prema podmorju s jedne strane, s druge strane stvarala se ljubav prema filmu. Po završetku srednje škole odlučio sam se posvetiti kameri i nakon tri godine studiranja na Umjetničkoj akademiji u Splitu odlučio sam diplomirati snimanje. Tijekom studija u Zagrebu odlučio sam spojiti dvije ljubavi, ljubav prema kameri i ljubav prema podvodnom svijetu. Tako sam došao do podvodnog snimanja te naslova ovog diplomskog rada - „Podvodno snimanje u igranom filmu”.

U ovom diplomskom radu proučavati ću povijest podvodnog snimanja od prvih snimljenih fotografija do današnjih uspjeha poput snimaka gotovo cijelih dugometražnih filmova pod vodom. Kroz povijesni dio bit će navedeno tko je i kada prvi zabilježio podvodnu fotografiju, a čitatelj će se upoznati s tehnikama kojima su se koristili pioniri podvodnog snimanja pokretne slike. Isto tako, pokazati ću etape kroz koje je trebalo proći po pitanju tehnološkog napretka podvodnog kućišta za kameru kako bi se stvorili uvjeti za pokretno snimanje dinamičnih kadrova ispod površine mora. Bit će navedeni neki od najzaslužnijih ljudi za tehnološki napredak podvodnog kućišta. Također, istražiti ću što se događa s okom, vidom i svjetlom ispod površine i na koje sve aberacije podvodni snimatelj treba paziti. Ovaj diplomski rad je putovanje do današnje tehnologije koju podvodni snimatelj koristi kako bi sebi olakšao samo snimanje i kako bi dobio što atraktivniji i tehnički ispravniji kadar. Potom će biti navedeni problemi s kojima se podvodni snimatelj susreće prije samog snimanja, za vrijeme odabira alata i lokacije na kojoj će se izvesti samo snimanje. Sve su to prepreke o kojima se mora razmišljati prije i tijekom samog snimanja, u prvom redu u svrhu što veće razine sigurnosti cijelog pothvata.

Nakon dijela diplomskog rada koji obuhvaća gore navedene teme, cijelo jedno poglavlje posvetiti ću Jamesu Cameronu, čovjeku koji je zasigurno jedna od osoba koja je najdetaljnije proučila podvodni svijet i snimila jedan od najkompleksnijih filmova ispod površine vode („The Abyss“) i tako u velikoj mjeri doprinijela tehnološkom napretku podvodnog snimanja.

Ključne riječi: Podvodno snimanje, Luis Boutan, Wiliam Thompson, John Wiliamson, photosphera, technicolor, Hans Hass, Jacques – Yves Cousteau, Jordan Klew, Pete Romano,

HydroFlex, HydroHead, SeaPar1200w, refleksija svjetla, apsorpcija boje, refrakcija svjetla, lom svjetla, raspršivanje svjetlosti u vodi, kromatska aberacija, sabirne leće, rastresne leće, sferične leće, geometrijsko izobličavanje, centralna zraka, tangencijalna distorzija, radijalna distorzija, bačvasta distorzija, jajasta distorzija, meko kućište, splash bag, polimer, flat port, dome port, podvodna glava s daljinskim upravljanjem, tvrdo kućište, optičke aberacije, podvodna rasvjeta, James Cameron, The Abyss, Mickael Salomon.

Introduction

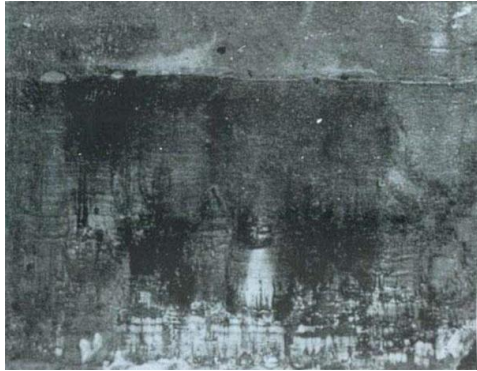
After twelve years of practising swimming and four years of practising waterpolo, I dived for the first time beneath surface of the sea using oxygen tanks and fell in love with the underwater world. While there was love for the sea bed, there was also love toward film world. Upon completion of high school I decided to devote myself to camera and after three years of studying at the Art Academy in Split I decided to graduate shooting. During studying in Zagreb I decided to combine my two loves, love for camera and love for the underwater world. So I came to the underwater shooting and to the title of this master thesis - „Underwater shooting of a movie.” This master thesis will study the history of underwater shooting from the first recorded photographs all the way to today's successes such as footages of feature films under water. Trough the historic part it will be mentioned who and when was the first person to record an underwater photo, and the reader will get familiar with the techniques used by the pioneers of underwater shooting of moving image. Also, it will be shown the phases necessary to overcome when it comes to technological progress of underwater case for camera in order to create conditions for motion imaging beneath the surface of the sea. It will be mentioned some of the most meritorious individuals then it comes to technological progress of underwater shooting. Furthermore, it will be explored what happens to human eye, to sight and to light beneath the surface and which are the aberrations that need to be taken care of by the cameraman. This master thesis is a journey to the technology of today used by the underwater cameraman in order to facilitate the actual shooting and to obtain the most attractive and technically most correct frame. After, there will be listed the problems that underwater cameraman needs to handle before the shooting, at the moment of choosing tools and location on which the shooting will be done. Everything mentioned is the obstacle that needs to be considered before and during shooting, first of all with purpose of providing higher security level of the entire undertaking. After the part of the master thesis that deals with themes mentioned above, an entire chapter will be dedicated to James Cameron, the man who is surely one of the people that studied the underwater world in 5

most elaborated way and made one of the most complex movies taking place beneath the sea called „The Abyss” and in that way profoundly contributed to the technological progress of underwater filmmaking.

Keywords: underwater shooting, Luis Boutan, William Thompson, John Williamson, photosphere, technicolor, Hans Hass, Jacques - Yves Cousteau, Jordan Klew, Pete Romano, HydroFlex, HydroHead, SeaPar1200w, reflection of light, absorption of colour, refraction of light, aberration, scattering of light, chromatic aberration, condenser aperture, spherical lens, geometric distortion, central beam, tangential distortion, soft case, splash bag, polimer, flat port, dome port, remote controlled underwater head, hard case, optical aberrations, underwater lighting, James Cameron, The Abyss, Mickael Salomon.

Povijest podvodnog snimanja

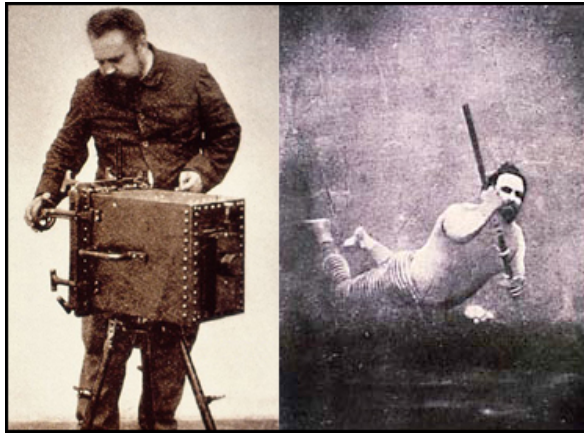
Da bi netko mogao razumjeti umjetnost i znanost iza ovog zanata, jednostavno je prikladno zaroniti u njegovu povijest staru stotinu i šezdeset godina.



William Thompson 1856

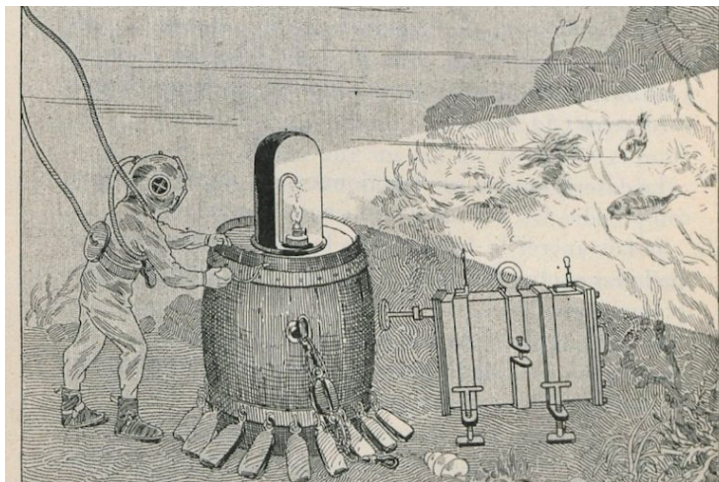
Kad se spomene povijest podvodnog snimanja, većina će se sjetiti Luisa Boutana kao osobe koja je snimila prvu podvodnu fotografiju 1893. godine, a manji broj će se sjetiti Engleza Wiliama Thompsona koji je 1856. snimio prvu podvodnu fotografiju u zaljevu Waymount, Dorset, jugozapadno od Engleske. Thompson se zainteresirao za morski život i odlučio zabilježiti podvodne ljepote. Dao je stolaru napraviti metalnu kutiju kako bi u nju stavio fotoaparatus. S prijateljem je odveslao u zaljev Waymouth, a onda spustio kameru sve dok se njegov tronožac nije smjestio na dno, otprilike pet i pol metara ispod površine. Ekspozicija je trajala desetak minuta i napravio je crno bijelu fotografiju na staklu 10x12cm. Za ovu fotografiju vjeruje se da je fotografirana najmanje dvadeset godina prije prve službene podvodne fotografije u svijetu.

Kao što je gore spomenuto, tvorca prve službene podvodne je Luis Boutan. Boutan je francuski biolog rođen u Versaillesu 1859. godine, a 1934. godine umro je u Alžiru. Boutan je zapravo prvi tvorca podvodne fotografije u smislu da su i kamera i snimatelj bili pod vodom.



Luis Boutan 1893.

Boutan je razvio opremu za fotografiranje s bljeskalicom, uređaj kojom je osvjetljavao objekt. Ona je uključivala alkoholnu lampu koja je prekrivena staklenom kupolom i pričvršćena za bačvu napunjenu kisikom. Napuhavanjem magnezija preko alkoholne svjetiljke reagiralo bi jačim uzastopnim bljeskanjem i tim postupkom skratilo je ekspoziciju od pola sata na par sekunda.



Fotografija koja pokazuje kako se podvodna fotografija može snimiti pomoću magnezijeva svjetla

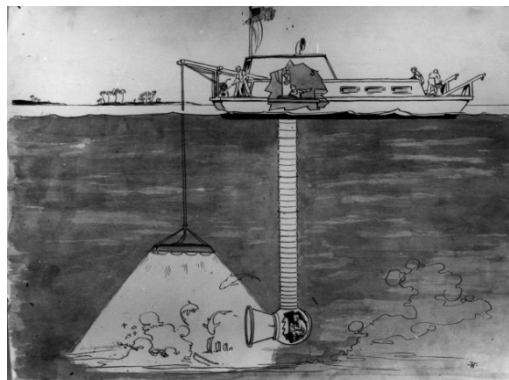
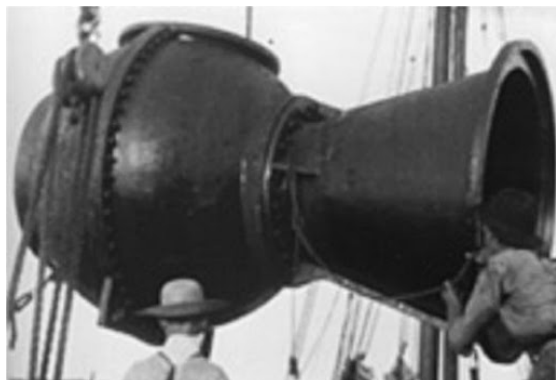
Prvi poznati podvodni portret fotografiran je 1899. godine. Luis Boutan fotografirao je rumunjskog kolegu oceanografa i biologa Emila Racovitza u Francuskoj na pedeset metara dubine. Ekspozicija je trajala pola sata kako bi ušlo dovoljno svjetla u svrhu osvjetljavanja negativa.



Nekoliko godina poslije, oko 1913. godine, američki fotograf i karikaturist John „Ernest“ Williamson (1881.-1966.) sa svojim bratom Georgeom Williamsonom (1885.-1956.) napravio je najveće kućište na svijetu pod imenom „Photosphera“. Fotosfera je sferna komora za promatranje u kojoj se snimatelji mogu spustiti ispod površine mora. Promjera je otprilike dva metra i debljine četiri centimetra, sa staklenim prozorom debljine četiri centimetra. Kugla je pričvršćena na kraj dubokomorske cijevi koju je izumio otac J. E. Williamsona, pomorski kapetan Charles Williamson. Koncentrični i isprepleteni željezni prstenovi omogućavaju cijevi da se rastegne poput harmonike na dubinu do sedamdeset i pet metara. Charles Williamson izvorno je dizajnirao ovu cijev kao pomoć pri podvodnim popravcima. Njegovi sinovi imali su druge ideje. Preinačili su cijev pričvrstivši fotosferu na dno. Nakon nedugog istraživanja s fotografijom, negdje oko 1915. godine, braća Williamson kreću u istraživanje i snimanje kratkih igranih filmova ispod površine mora. Prvo su otišli na Bahame gdje je čistoća mora toliko visoka da svjetlo prodire i do pedeset metara dubine. Snimili su tako prvi film – „20 000 milja pod morem“ koji je 1916. godine imao svoju projekciju na Bahamima. Nažalost, nakon nekoliko godina Bahame je poharao uragan koji je uništio i originalne negative tog filma. Zbog uspjeha koji su braća Williamson postigla tim filmom, odlučili su otvoriti tvrtku „Submarine Film Corporation“. Nedugo nakon otvaranja tvrtke, 1917. godine, Williamson snima nekoliko filmova: „The Submarine Eye“(1917). J.E. Williamson nastavit će sa snimanjem nekoliko filmova, uključujući „Girl of the sea“ (1920.), „Wet gold“(1921.), „Wonders of the sea“(1922.) i „The uninvited guest“(1924.) koji je snimljen u boji.¹

1 (Sonia Shechet Epstein 2018. „Nautical Film”
<http://www.scienceandfilm.org/articles/3117/nautical-film> (pristupljeno 28.12.2021.))

U to vrijeme razvijao se Technicolor² proces snimanja i tim je procesom Wiliamson snimio taj film. Utvrdivši kako je Luis Boutan prva osoba koja se spustila ispod površine mora s kamerom i fotografirala drugu osobu, možemo reći da je J.E.Wiliamson prva osoba koja je počela snimati igrane filmove ispod površine mora.



Wiliamsonu nisu bila važna toliko snimateljska dostignuća, koliko mu je bilo važno publici prikazati podvodni život. Zbog toga su njegovi kadrovi s „Photospherom“ uvijek bili statični i odvojeni od radnje pod vodom. Braću Wiliamson to nije toliko zanimalo pa nisu ništa ni radili po tom pitanju, ali ono što je tada nedostajalo u filmu jest da kamera pod morem bude dinamičnija. Prvo podvodno kućište koje nije povezano s površinom koristio je francuski pomorski oficir Yves Palu Gaston Le Prieur (1885.-1963.). Takvim načinom snimanja ronilac, odnosno snimatelj, samostalno diše i kontrolira kameru. Le Prieur 1925. godine snima svoja prva dva filma: „The Diving Club“ i „Life Underwater“.

Podvodno snimanje je bila nova mogućnost kreativnijeg kadriranja ispod površine, kadrovi više nisu trebali biti statični jer su operater i kamera bili odvojeni od broda. 1926. godine proizveden je samostalni podvodni aparat za disanje napravljen u osnovi od malog visokotlačnog spremnika zraka. U to doba svugdje po svijetu mnoge male privatne i profesionalne produkcije pojavljuju se s podvodnim filmskim sadržajem. Nepostojanje tehnološke logistike primoralo je autore podvodnih snimaka na samostalnu proizvodnju potrebne opreme. Među njima posebno se istaknuo jedan od pionira ovog zanata Hans Hass (1919.-2013.) koji je bio poznat po svojim filmovima. Prvi njegov film bio je Pirsch unter Wasser (Lov pod vodom) 1942. snimljen 16 milimetarskom kamerom u crno-bijeloj tehnici, u trajanju od šesnaest minuta. Prvi put prikazan je u prosincu 1942. godine. Hans Hass i dva studenta otputovali su na Karibe u srpnju 1939. godine. Ekspedicija je trajala dvjesto deset

² Technicolor je process snimanja u boji u kojem se istovremeno koriste tri negativa

dana (sedam mjeseci), a Hass je koristio kameru Movikon K-16³. Tijekom snimanja nailazili su na različite probleme. U jednom trenutku kućište im je propustilo more zbog vanjskog pritiska, morali su izvaditi kameru na suho, ukloniti vlagu iz kućišta i vratiti natrag u more. Sljedeći film koji je snimio bio je „Menscher under Haien“ (Muškarci i morski psi) 1947. Bila je to ekspedicija na Egejsko more, grčke otoke i druge destinacije. Film traje osamdeset i tri minute. Za snimanje ovog puta koristio je Movikon K-16 za snimanje iznad površine vode, a ponio je i dvije Siemens kamere za podvodno snimanje. O točnom modelu nema konkretnih saznanja. Postoje spisi u kojima stoji kako se, pred kraj ekspedicije, jedan dio snimao i u Jadranskom moru pokraj Dubrovnika.



Hans Hass

U to vrijeme i Francuzi kreću u istraživanje podmorja okupivši tim u kojem su bili Jacques-Yves Cousteau (1910.-1997.), Philippe Tailliez (1905.-2002.) i Frederic Dumas (1913.-1991.). Prvi francuski podvodni film „Par dix-huit metres de fond“ (Osamnaest metara dubine) snimili su 1943. podvodnim kućištem koje je dizajnirao inženjer Leonea Vechea. Koristili su kameru Zeiss Ikon, model Kinamo 35mm u vodonepropusnom kućištu napravljenom od mesinga sa kontrolom za izoštravanje i kontrolu relativnog otvora objektiva pomoću kabla. Sredinom dvadesetog stoljeća pojavljuju se kućišta za kamere od 16mm i 8mm. U Švicarskoj 1955. godine tvrtka Paillard Bolex predstavlja kućište za kameru Bolex H-16⁴.

³ Movikon K-16 je 16mm kamera proizvedena 1938.

⁴ Bolex H-16 je 16mm kamera proizvedena 1935. u Švicarskoj



To podvodno kućište bilo je iznimno popularno zbog svog dizajna i kompaktnosti. Kućište je jednostavnog dizajna tako da se njome mogu služiti profesionalci i amateri. Dosta je jednostavnija za korištenje. S obzirom da se u to vrijeme u Europi snimaju ponajviše dokumentarni filmovi, na ovim prostorima u Europi nije bilo potražnje za upotrebu kvalitetnije kamere ispod površine mora. Za dokumentarne filmove nije bilo potrebe za 35mm ili 65mm vrpce koje su se u to vrijeme koristile u igranim filmovima. Dok su se ovdje snimali dokumentarni filmovi, u Americi su krenuli snimati pojedine podvodne scene u igranim filmovima. Zbog toga su proizveli kućišta za profesionalne kamere 35mm i 65mm. Nakon Drugog svjetskog rata američka mornarica započinje ispitivanje nove vrste podvodnog naoružanja i u tu svrhu kontaktira tada dvije najbolje tvrtke u Americi za izradu dodatnih elemenata za kameru. Od tvrtki „Birns & Sawyer“ i „Mako Products“ tražili su da im izrade podvodno kućište za kamere najveće kvalitete kako bi vidjeli ponašanje podvodnog naoružanja ispod površine mora. Američka mornarica je snimala testiranja oružja ispod površine. Mako Products osnovao je Jordan Klein 1954. godine. Izrađivao je podvodna kućišta za 35mm Mitchell i 35mm ArriFlex kamere za snimanje podvodnih kadrova u igranim filmovima. Prva dva filma koji su snimljeni tim kućištima bila su „Creature from the Black Lagoon“ (1954.) i film „20 000 Milja pod morem“ (1954.). Tim filmovima pokazan je veliki pomak u podvodnom snimanju. Jordan je isto tako jedan od pionira koji je zaslužan za tehnološki napredak za filmske klasike kao što su: „Flipper“, „Sea Hunt“, „Thunderball“, „Cocoon“, „The Abyss“ i „Splash“. 2002. godine Jordan prima Oscara za tehničko postignuće kao pionir u razvoju podvodnih kućišta za kameru.



Jordan Klein

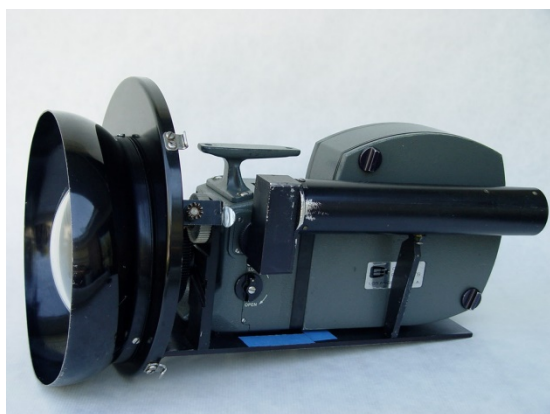


Birns & Sawyer

Tvrtku Birns & Sawyer osnovali su Jack Birns (1919.-2008.) i Cliff Sawyer 1954. godine. To je bila poznata tvrtka koja je iznajmljivala opremu za filmaše, a potom su počeli i prodavati opremu u Los Angelesu. Birns & Sawyer razvili su i prve električne podvodne reflektore. Njihove proizvode koriste mornarice SAD-a, Velike Britanije, Kanade i Izraela. Prikupljeno iskustvo usmjerilo ih je ka proizvodnji da su krenuli s proizvodnjom podvodnih kućišta za 35mm ArriFlex kameru koja se zajedno s podvodnom rasvjetom koristi za snimanje igranih filmova.

Godine 1980. Pete Romano koji je radio u ILM-u⁵ kao asistent snimatelja bio je angažiran da snimi svoju prvu samostalnu podvodnu reklamu u lokalnom bazenu. Iskustvo korištenja iznajmljene 16mm opreme pokazalo se iznimno frustrirajućim, jer nema standardizirane opreme koja je prilagođena operateru. Toliko je bio frustriran da je odlučio izraditi vlastito kućište za Cinema Products 16 mm Gizmo. Svoj je proizvod nazvao HydroFlex. Praktično iskustvo kao 1. asistent kamere u mnogim podvodnim produkcijama kao što su “For Your Eyes Only”(Samo za tvoje oči)(1981.), “Never Say Never Again”(Nikad ne reci nikad)(1983), “Jaws 3-D”(Ralje)(1983.) i “Splash”(1984) uvjerilo ga je u potrebu za standardizacijom podvodnih kućišta prilagođenog operateru za 35 mm filmske kamere.

⁵ Industrial light and magic je američka tvrtka od 1975. Koja je radila vizualne efekte



– 1985. godine Romano osniva tvrtku „HydroFlex“ u sklopu koje izrađuje prva dva HydroFlex 35-3 kućišta za Arri 35-3 kamere. Kao podvodni snimatelj, Romano je ugradio elemente za koje je smatrao da će pojednostaviti i poboljšati proces podvodnog snimanja. Ubrzo se HydroFlex kućišta mogu iznajmljivati u rentalima⁶, a Romano nastavlja usavršavati modele i razvija ih za nove filmske i digitalne kamere. Od tada je Pete nastavio usavršavati sustave kućišta i razvio je dodatne modele za nove filmske i digitalne kamere. Razvija i kućišta za podvodnu rasvjetu, te danas tvrtka HydroFlex proizvodi: „Linear LED⁷“⁷, „SeaSun S30⁸ SkyPanel⁹“, „HydroPar 1200w HMI¹⁰“, „HydroPar 2000w HMI“ i druga. 1990. godine Pete Romano i njegov električar Richard Mula podijelili su nagradu za tehnička dostignuća Akademije filmske umjetnosti i znanosti za razvoj podvodne HMI lampe SeaPar 1200w.



SeaPar 1200w

Pete Romano: Mission Impossible

⁶ Rental je prostor u kojem se može iznajmljivati oprema za snimanje

⁷ LinearLed su podvodne LED cijevi koje imaju crvene zelene i plave boje

⁸ SeaSun s30 je podvodno kućište za SkyPanel s30

⁹ SkyPanel je rasvjetno tijelo firme ARRI koje ima mogućnost pojedinačne kontrole RGB sustava kao i ugađanja vrijednosti emitiranja temperature boje

¹⁰ HMI su metal halogene žarulje u kojoj je izvor svjetla strujni luk koji nastaje između elektroda u staklenom balunu punjenom smjesom plinova

¹¹ HydroPar 1200HMI je podvodno metal halogeno svjetlo snage 1200w

- Razvoj tehnologije za podvodno snimanje proširila je kreativne mogućnosti. Nova oprema je proširila mogućnosti djelovanja pod vodom i poboljšala kvalitetu podvodne kinematografije.

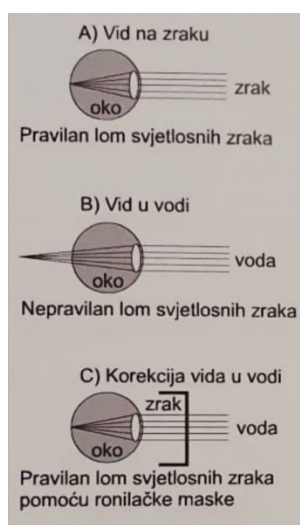
Oko, vid i svjetlo ispod površine mora

Što se događa s okom i vidom ispod površine mora

Da bi se shvatilo što se događa s kamerom, odnosno slikom ispod površine mora, trebalo bi najprije shvatiti što se događa s ljudskim vidom. Pri direktnom kontaktu oka s vodom oštrina vida drastično se smanjuje u odnosu na vidljivost na površini. Kako bi bila zadovoljena oštrina vida ispod površine vode, između mora i oka trebamo postaviti ravno staklo s indeksom refrakcije 1.5 te oko od vode izolirati slojem zraka. Na taj način trebali bismo dobiti jasnu oštru sliku.



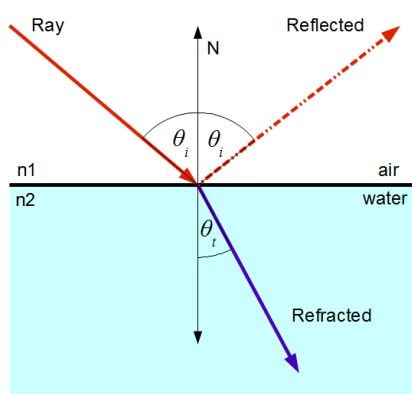
Zahvaljujući maski za ronjenje, postiže se zadovoljavajuća oštrina gledanja, ali zbog jačeg loma svjetlosnih zraka predmeti izgledaju bliže za jednu četvrtinu i veći za jednu trećinu.



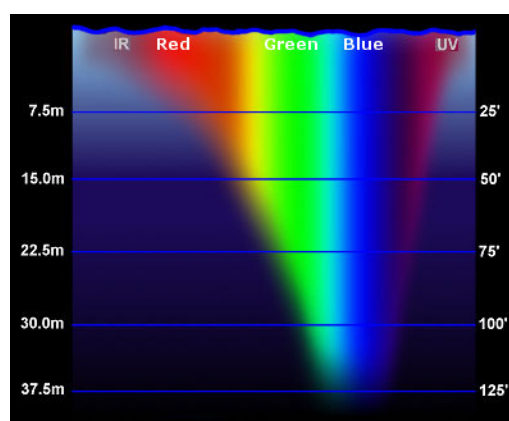
Ljudsko oko na zraku, u vodi i s maskom za ronjenje

Što se događa sa svjetlom i bojom ispod površine mora

Kod podvodnog snimanja, pri idealnim svjetlosnim uvjetima na površini, osvjetljenost ispod površine mora jako je oskudna. Uslijed nepovoljnih uvjeta intenziteta izvornog sunčevog svjetla na dubini od pet metara, intenzitet svjetla se smanjuje na četvrtinu, na petnaest metara na osminu, a na četrdeset metara na tridesetinu. Vidljivost ispod površine ovisi o dubini, prozračnosti, dobu dana i godine te geografskom položaju. Kroz površinu ne probijaju se sve sunčeve zrake jer se od morske površine sunčeve zrake reflektiraju kao od ravnog ogledala. Kada se sunce nalazi gotovo u zenitu, od površine se reflektira samo 2% sunčevih zraka, u trenutku kad se sunce nalazi pod kutom od 10 posto nad horizontom reflektira se do 35 % sunčevih zraka. Zbog ovog fenomena dobivamo direktnu suprotnost od snimanja na površini po suncu. Podvodne scene se zato trebaju snimati između 11 i 14 sati po zimskom vremenu, a po ljetnom vremenu može se snimati od 10 do 15 sati.



Refleksija i refrakcija sunčeve zrake



Apsorpcija boje

Povećavanjem dubine i udaljenosti od objekta koji se snima, vidljivost se smanjuje zbog apsorpcija¹² svjetlosti. Pored apsorpcije sunčevih zraka svjetlo raspršuju organske i anorganske tvari, planktoni i mulj, što također utječe na vidljivost. Prolaskom sunčeve svjetlosti kroz more događa se aberacija¹³.

Refrakcija svjetla (lat. refractio, prema lat. refractus: slomljen) ili **lom svjetlosti** nastaje u trenutku prelaska sunčeve zrake ili snop svjetla emitiranog iz umjetnog izvora u vodu, pri

¹² Apsorpcija – (lat. Absorpto: srkanje, upijanje), u kemijskom smislu, je proces upijanja tvari.

¹³ Aberacija - (lat. aberratio: zastranjivanje, odstupanje) svjetla, i to: refrakcija, apsorpcija, refleksija, difuzija svjetlosti, distorzija i kromatska aberacija.

čemu svjetlosne zrake mijenjaju brzinu i smjer kretanja. Razlog tomu je različita gustoća medija, koja se razlikuje u moru, rijeci ili bazenu u kojem se voda oplemenjuje klorom i drugim sredstvima. Refrakcija ispod površine mora događa se dva puta. Prvi put pri prolasku svjetlosti iz zraka u more i drugi put kad svjetlost prolazi iz mora kroz staklo u kućište kamere. U zraku slika viđenog predmeta oštro se odražava na mrežnici zbog znatne razlike indeksa loma (refrakcije) svjetlosnih zraka u zraku i optičkom aparatu oka (rožnica, leća). Iznos refrakcije u zraku iznosi 1.0003, a optičkog aparata oka 1.35. S obzirom da je indeks refrakcije morske vode 1.347 dosta blizak indeksu loma optičkog aparata oka (1.35), zrake koje dolaze u oko manje se lome tako da se križaju iza mrežnice. Zbog toga se predmeti u vodi vide neoštro, a oko se ponaša kao dalekovidno s dioptrijom 32.



Refrakcija željezne šipke u moru

Primjer apsorpcija boje u vodoravnom smjeru

Apsorpcijom ili **upijanjem svjetlosti** intenzitet svjetlosti u vodi se smanjuje. Apsorpcija ovisi o valnoj dužini svjetlosnih zraka, o bistroći vode, vremenskim uvjetima, dubini, prozračnosti, dobu dana i godine, zemljopisnom položaju itd. Svjetlosne zrake veće valne duljine (crvena boja) brže se apsorbiraju pa im je sposobnost probijanja u dubinu ograničena. Apsorpcija nije jednaka za sve dijelove sunčevog spektra. Prema dubini i udaljenosti prvo se upijaju tople boje pa onda hladne, tako da crvena boja nestaje već nakon jednog metra, zatim narančasta nakon pet metara, žuta nakon deset metara, ljubičasta nakon dvadeset metara, a plava i zelena preko trideset, odnosno tridesetpet metara.

Refleksija

Svjetlost se odbija od vodene površine kao od ogledala. Refleksija se događa kad svjetlo dođe na ravnu površinu koja ne propušta tu valnu duljinu. Jačina (intenzitet) reflektirane svjetlosti ovisi o kutu upada i polarizaciji upadne svjetlosti. Kod snimanja pod vodom refleksija je važna za kontrolu svjetla koje dolazi izvan vode prilikom snimanja u prirodnim uvjetima kada koristimo sunčeve zrake kao glavni izvor osvjetljenja i kod korištenja umjetne rasvjete izvan vode.

Difuzija svjetlosti ispod površine

Difuzija ili raspršivanje svjetlosti je raspršivanje svjetlosti na sve strane. Svjetlost obasjava na svaku plohu pod drugim kutom pa se svjetlo odbija u različitim smjerovima. Suspenzije čestica u vodi kao što su zooplanktoni, fitoplanktoni te nečistoće različitog podrijetla sudaraju se sa svjetlosnim snopom mijenjajući tako smjer i intenzitet svjetla.

Kromatska aberacija Kromatska aberacija nastaje zbog toga što optička leća ne može fokusirati svjetlost različitih boja u jednoj ravnini. „Kromatska aberacija je funkcionalno izobličenje optičke komponente na različitim valnim duljinama. Razlog tome je fazna neusklađenost komponente za različite valne duljine.”¹⁴ Aberacija nastaje zato što se bijela svjetlost lomi, odnosno razdvaja na kolorni spektar. S obzirom da komponente u bijeloj svjetlosti ne putuju istom brzinom i svjetlosne zrake prolaze iz vode kroz staklo u zrak, neće se jednako lomiti. „Kromatska aberacija – nedovoljna oštrina slike kao posljedica nejednake snage prelamanja leća za zrake različitih boja što dovodi do bojanja slike drugim bojama.“¹⁵ Žarišne daljine različitih boja u bijeloj svjetlosti nam nude da slika nekog predmeta bude oštra samo u jednoj boji. Kromatska aberacija se može popraviti korištenjem sabirnih¹⁶ i rastresnih¹⁷ leća dok se kod sferičnih¹⁸ leća kromatska aberacija ne pojavljuje.

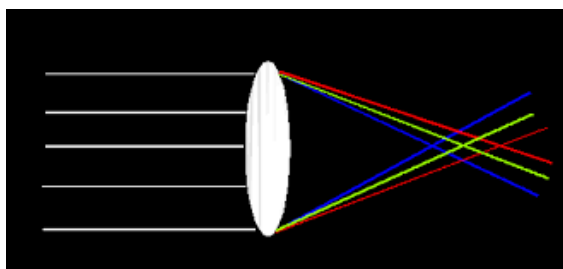
14 “Kompezacija između strukture i disperzija materijala”(2019.) <https://hr.intermediapub.com/achromatic-flat-optical-components-via-compensation-between-structure-223372> (pristupljeno 28.12.2021.)

15 Bratoljub Klaić, Nakladni zavod Matice hrvatske (1978.) “Rječnik stranih riječi” str.3

16 Sabirna leća, ispupčena, konveksna leća je optička leća koja je u sredini deblja nego na rubovima

17 Rastresna leća, udubljena, konkavna leća je optička leća koja je u sredini ranja nego na rubovima

18 Sferična leća je leća kod koje su sve lomne plohe sferične. Prolaskom kroz sferičnu leću, zrake svjetlosti sjeku se u njenom žarištu (fokusu)



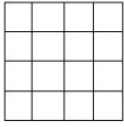
Kromatska aberacija kod sabirne leće

Distorzija

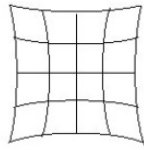
„Geometrijsko izobličavanje ili distorzija objektiva uzrokuje iskrivljene linije snimljenog objekta. Distorzija nastaje kao posljedica asimetričnosti u konstrukciji objektiva i upotrebe zaslona za kontrolu otvora objektiva zbog nemogućnosti da cijeli snop svjetla prođe kroz leću kao i što prolazi centralna zraka.“¹⁹ Centralna zraka je ona zraka koja prolazi kroz centar leće i s njom se ne događaju nikakvi otkloni kao što se pojavljuju po rubovima fotografije. Mogu biti dva različita tipa distorzije jedna je Tangencijalna, a druga je Radijalna distorzija. Prema konstrukciji radijalne distorzije postoje dvije vrste kao što su bačvasta ili jastučasta distorzija. Kada je zaslon smješten iza leće, rubovi se otklanjaju od centra pa dolazi do jastučaste distorzije. Ukoliko je zaslon ispred otvora objektiva zrake skreću prema centru i na taj način dolazi do bačvaste distorzije. “Distorzija se može korigirati izradom simetrične leće (ortoskopske), ako je zaslon u sredini, a ispred i iza njega su identične leće, onda se otklanjanje zraka poništi i nema izobličenja.“²⁰ Do Tangencijalne distorzije dolazi zbog poravnavanja leće sa senzorom slike i neparalelnog smještaja leće u odnosu na senzor u kućištu kamere. Tangencijalne distorzije na novijim kamerama nije izražena te ju se često zanemaruje. Moguće posljedice su izobličavanje ljudskih lica i predmeta ispod površine.

19 Geometrijska izobličenja objektiva, 2006. (<https://www.fot-o-grafiti.hr/nauci/optika/geometrijska-izobli%C4%8Denja-objektiva>) (pristupljeno 29.12.2021.)

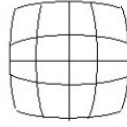
20 Geometrijska izobličenja objektiva, 2006. (<https://www.fot-o-grafiti.hr/nauci/optika/geometrijska-izobli%C4%8Denja-objektiva>) (pristupljeno 29.12.2021.)



predmet



jastučasta
distorzija



bačvasta
distorzija

OPREMA ZA PODVODNO SNIMANJE

Podvodno kućište

Razlikujemo dvije vrste kućišta, meko i tvrdo podvodno kućište. Vrstu kućišta odabiremo ovisno o tehnici sa kojom raspoložemo, a što uključuje vrstu kamere i objektiva koji namjeravamo koristiti, a naposljetku i o tehničkoj zahtjevnosti prizora koji namjeravamo snimiti.

Meko podvodno kućište

Meko kućište ili Splash bag napravljeno je od metalne ploče na kojoj je pričvršćeno staklo kroz koje se snima. Vodonepropusno zatvoreno kućište sastoji se od gume i plastične mase koja na vrhu ima svoj patent za zatvaranje kućišta. Meko kućište s unutarnje strane, kraj stakla, sadrži zvučni senzor koji služi kao alarm ukoliko dođe do prodora vode unutar kućišta. Kućište na sebi ima priključke kojima se kamera spaja na kabel za kontrolu kamere s površine. Također, ima dva video priključka: jedan priključak za monitor smještenom na površini i kojim se služi režija te drugi koji služi za spajanje monitora za snimatelja, u svrhu kontrole kompozicije slike, ukoliko kućište nema okular za tražilo. Ova vrsta kućišta najčešće se koristi izvan mora, kad kamera pluta na površini ili prilikom snimanja scena u kojima voda zapljuskuje. Često u takvim slučajevima tekućina poprska staklo kroz koje se snima. Kako bi se spriječilo zadržavanje kapljica na staklu, često se koriste zračne dizne koje stoje iznad ili sa strane stakla te puštaju zrak iz ronilačke boce. Danas se češće koristi tekućina „Polimer“ kao neka vrsta prozirne tekuće gume s koje tekućina klizi i ne zadržava se na staklu. Meko kućište ponaša se kao lopta koju je teško potopiti zato što je napunjena zrakom pa je s desne strane postavljen nepovratni ventil kako bi se iz kućišta mogao ispustiti zrak. S manjom količinom zraka kućište ima manju plovnost tako da se utezima kućište može jednostavnije potopiti do maksimalno tri metra dubine. Postoje dvije vrste mekog kućišta: kućišta koja mogu ići do tri metra dubine te kućišta, na primjer Hydroflexovo, koje ima otvor za kablove na stražnjem dijelu. Ovo kućište nije namijenjeno potapanju ispod površine. Upravo zbog toga takvo kućište često nazivamo Splash bag. Glavni nedostatak ovog kućišta je to što ima samo ravno staklo (Flat port) kroz koje se snima pa uporabom širokokutnih objektiva dolazi do izražajnije aberacije (kromatske aberacije, radijalne distorzije i refrakcije). Volumen kućišta nije ograničen krutošću kućišta, tako da se za isto kućište mogu koristiti kamere

35mm, 16mm ili sve profesionalne digitalne kamere te ga možemo nazvati univerzalnim. Još jedna velika prednost ovog kućišta je to što ne zahtijeva dulje postavljanje kamere. Potrebno je obratiti pažnju prilikom zatvaranja patentnog zatvarača kako voda ne bi ušla unutra.



Mekano podvodno kućište

Tvrdo podvodno kućište

Tvrdo podvodno kućište napravljeno je u cijelosti od metala ili aluminija. Najčešće je izrađeno po mjeri sasvim određenog modela kamere. Rijetko koje tvrdo kućište napravljeno je kao univerzalno za više različitih kamera. Tvrdo kućište sastoji se od glavnog dijela na koji je pričvršćena kamera, stražnjeg poklopca koji cijelim rubom ima brtvu koja osigurava vodonepropusnost te s prednje strane otvora kroz koji se snima. Na otvoru je pričvršćeno ravno ili sferno staklo. U međunarodnoj terminologiji koriste se nazivi Flat port za ravno staklo i Dome port za sferno staklo. Na kućištu s lijeve strane nalaze se mehaničke komande za kontroliranje oštine i blende. Mehanizam za kontrolu blende i oštine sastoji se od osovine i zupčanika. Konektori za video i kontrolu kamere nalaze se s desne strane povezani posebnim kabelima na vanjski monitor i uređaj za kontrolu kamere s površine. Također, postoji još jedan video konektor poput onoga na mekom kućištu za mali monitor koji služi snimatelju, ukoliko nema tražilo na kućištu. Često tvrda kućišta imaju tražilo kako bi se kadar mogao kontrolirati direktno kroz objektiv. Okular je pogodniji za gledanje u odnosu na mali monitor jer je na tražilu bolja oština. Postoje kućišta koja nemaju ugrađeno tražilo; ta kućišta češće se koriste na podvodnim glavama na daljinsko upravljanje. Težina ovih kućišta s kamerom, objektivom i baterijom je tolika da je na suhom potrebno dvoje ljudi za prijenos. U vodi je lakša pa ima neutralnu plovnost, dok neka kućišta imaju blagu negativnu plovnost. Za bolju kontrolu kamere mogu se nadodati utezi kako bi kućište pod vodom imalo barem neku masu. Neki snimatelji običavaju staviti dasku za plivanje ispod kućišta kako bi kućište imalo neutralnu plovnost ukoliko ima blagu negativnu plovnost. U konačnici to ovisi o

načinu rada snimatelja. U Europi za snimanje na filmskoj traci, bilo 16mm, bilo 35mm, najčešće su se koristile ArriFlex kamere, to jest ArriFlex SR16 za 16mm filmsku vrpcu ili ArriFlex 435 za 35mm filmsku vrpcu. Tehnološkim napretkom do danas došli smo do tvrdog kućišta za Red One, Red Epic, Arri Alexa Sxt, Arri Alexa mini, Arri alexa mini LF, Phantom HD i druge. Tvrtka Nauticam napravila je kompatibilno kućište za Alexu Mini i za Mini LF. Za sve ove profesionalne kamere postoje kućišta s potpunim pristupom svim komandama na kameri.



Nauticam kućište kompatibilno za Alexu mini/mini LF

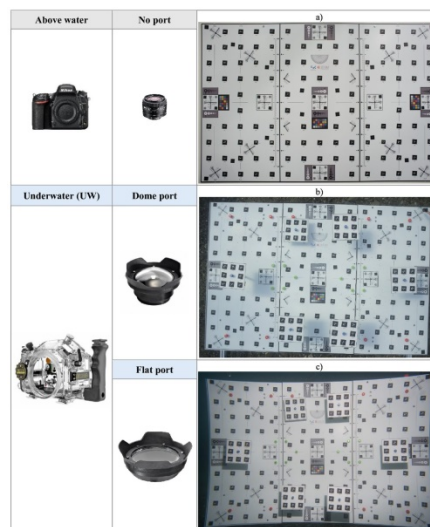
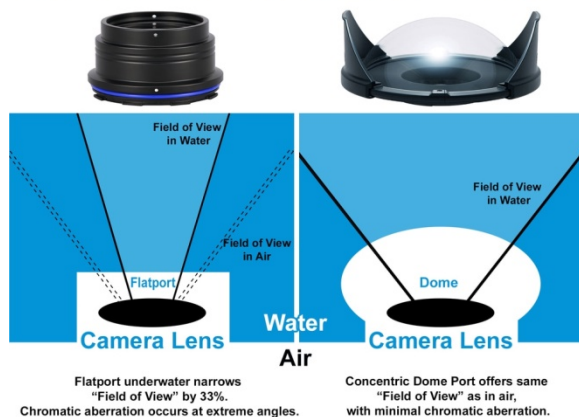
Flat port i Dome port

„Promatranje podvodne scene kroz ravno ili sferno staklo ima mnogo optičkih posljedica od kojih je najpoznatije vidno polje leće postavljene na kameru, sačuvano korištenjem sfernog stakla i smanjenje faktora (gotovo jednakog refraktivnom indeksu) za ravno staklo.“²¹ Dok Dome port ne utječe na vidni kut, Flat port ga sužava. Flat port je ravno staklo kroz koje kamera snima. Flat port koristi se kod upotrebe makro²² ili kod objektiva srednje žarišne daljine, dok se uskokutni objektiv ne koriste za podvodno snimanje jer lakše dolazi do distorzije, odnosno gubitka oštine zbog velike gustoće medija. Širokokutni objektiv mogu se koristiti, ali s njima treba biti jako oprezan zbog mogućeg pojačavanja aberacija kao što su refrakcija, distorzija i kromatska aberacija.

21 E. Nocerino, F. Remondino i F. Menna (2017.) „Flat versus hemispherical dome ports in underwater photogrammetry“ str 481.

22 Makro objektiv je objektiv dizajniran za snimanje iznimno bliskih objekata

FLAT PORT VS. DOME PORT



Usporedba vidnog kuta između Flat i Dome porta Prikaz optičke aberacije

Jedan neželjeni učinak kod sfernog stakla ili Dome porta je taj da čini fotografiju mekšu po rubovima, dok primjerice Flat port u kombinaciji sa širokokutnim objektivima ima jaku kromatizaciju aberaciju prema kutovima fotografije. Optičke aberacije u podvodnoj fotografiji mogu se ispraviti puno teže jer se ispod vode događaju puno veće distorzije, kromatske aberacije i refrakcije u odnosu na one koje se generalno vide na kameri iznad vode. Osim toga, maksimalno vidno polje ovim portovima iznosi 96 stupnjeva.

²³„1931. A. Dratz, inženjer optičkih istraživanja koji je radio za francusku mornaricu u Toulon Arsenalu, bio je prvi koji je prepoznao važnost sustava leće za korekciju aberacija unutar kućišta.“ Ovaj oblik morao je brusiti i polirati, a potpuna korekcija svih aberacija nije postignuta, već moderne verzije često samo kopiraju originalni dizajn kupole. Dome portovi izrađuju se od optičkog stakla ili akrila²⁴. Optičko staklo kvalitetnije je za izradu po svojim performansama, ali je skuplje od akrila. „Optičko staklo na poseban je način napravljeno prozirno staklo, koje se koristi kao dio optičkih instrumenata. Ono se razlikuje od uobičajene čistoće i povećane transparentnosti, uniformnosti i bezbojnosti. Također, u njemu se disperzijska i refrakcijska snaga strogo normaliziraju.²⁵“ Optičko staklo puno se češće koristi na profesionalnim kućištima od akrilnog stakla. Dome port poprilično kvalitetno rješava aberacijske probleme kao što su refrakcija, distorzija i kromatska aberacija. Zbog toga

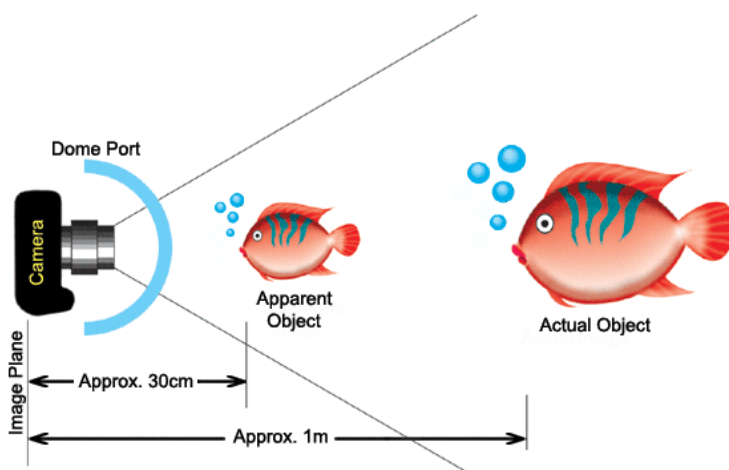
23 Dimitri Rebikoff (1968.) „History of underwater photography“ str.900.

24 Akrilno staklo je prozirna termoplastika PMMA je također poznat kao akril, akrilno staklo ili pleksiglas

25 „Optičko staklo s konveksno-konkavnim površinama: Proizvodnja, primjena. Objektiv, povećalo“

<https://hr.garynevillegasm.com/obrazovanie/75807-opticheskoe-staklo-s-vypuklo-vognutymi-poverhnostyami-izgotovlenie-primenenie-linza-velichitelnoe-staklo.html> (pristupljeno 28.12.2021.)

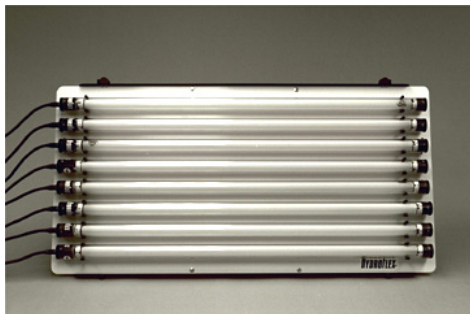
objektivi koji se koriste ispod površine imaju svoju stvarnu žarišnu daljinu. Dome portovi proizvode se s različitim promjerima zakrivljenosti: šest, osam, deset ili više inča na podvodnim kućištima za profesionalna snimanja. „Ispravljeni dome port omogućuju lećama da funkcioniraju sa svojim pravim žarišnim udaljenostima.“²⁶Dome port zapravo se ponaša kao samostalni objektiv ispred objektiva kamere. On stvara virtualnu sliku objekta na približnoj udaljenosti od tri promjera zakrivljenosti, što bi značilo da ako se uzme port zakrivljenosti šest inča, virtualna slika bi se trebala nalaziti na udaljenosti od $6 \times 3 = 18$ inča ili $18 \times 2.54 = 45.72$ cm. To bi značilo da bismo imali objektiv koji ima najbližu oštrinu na udaljenosti od 45.72cm. U situaciji kada je potreban objektiv koji nema sposobnost izoštravanja na tu udaljenost, koristimo dioptrijske predleće. Neki će snimatelji koristiti dioptrijsku predleću čak i ako postoji objektiv tih sposobnosti. Razlog korištenja dioptrijske predleće je taj što se pomakom oštine unutar objektiva dobiva oštrija fotografija po rubovima. Dome port ne koristi se u situaciji u kojoj je fotografija podijeljena ispod i iznad površine. U tom slučaju koristi se Flat port bez obzira na žarišnu daljinu objektiva.



Podvodna rasvjeta

Kod snimanja podvodnih scena najčešće se koristi vanjska rasvjeta, ali se često dogodi da vanjska rasvjeta nije dovoljna za kreiranje atmosfera ili postizanje odgovarajućeg ekspozicijskog nivoa. Zbog toga se koristi podvodna rasvjeta spojena na struju. Postoje mnogi praktični problemi koji su uključeni u stavljanje svjetala i vodova pod naponom u vodu. Imajući veće amperaze koje prolaze kroz kabele, povećava se opasnost u slučaju da vruća žica dođe u kontakt s vodom. Žarulje moraju biti potopljene prije nego što se uključe zbog temperaturne razlike koja pod vodom rezultira naelektriziranim vodičem u kontaktu s

vodom. Rasvjetna tijela zbog toga moraju biti posebno konstruirana i imati senzor uzemljenja kako ne bi došlo do strujnog udara ispod površine vode. Pod vodom se najčešće koristi HMI rasvjeta, jer je učinkovitost količine svjetla po jedinici snage struje puno veća od ostalih rasvjetnih tijela. Podvodna rasvjeta može se koristiti i izvan vode, ali se mora obratiti veća pozornost prilikom zagrijavanja rasvjetnog tijela. Zbog zatvorenosti imaju slabije hlađenje i vremenski moraju raditi kraće nego pod vodom. Promjenom leće na rasvjetnom tijelu mijenja se snop svjetla s šireg na užu snop svjetla. Promjena leće ne smije se raditi pod vodom zbog toga što se leća ne smije smočiti s obje strane. U tom slučaju leća gubi svoj efekt koji pruža ukoliko se leća ne promijeni van vode. Promjena leće na suhom iznimno je važan faktor jer na taj način izbjegavamo refrakciju svjetla. Svjetlo sa žarnom niti također je sastavni dio podvodnog seta. Uz HMI rasvjetu danas se koriste i paneli s fluorescentnim cijevima²⁷ koristeći standardizirani KinoFlo²⁸ sistem i LED²⁹ rasvjeta kao što je SkyPanel s30.



Fluorescentna podvodna rasvjeta



SkyPanel S30

Podvodni svjetlomjer

Podvodni svjetlomjer nekoć, u doba filmske vrpce je bio vrlo važan dio opreme za snimatelja danas, u eri digitalnih kamera, situacija je jednostavnija jer se kadar može procijeniti i na monitoru. Danas postoji više različitih kućišta za različite svjetlomjere. Hydroflex je proizveo liniju podvodnih kućišta za Minoltu³⁰ 1, Minoltu Auto IV Incident Meter i za Spectru pro IV Incident Meter³¹ koja su izrađena od aluminijske i pleksiglasa. Prvenstveno su napravljena za korištenje pod vodom, ali zbog svoje veličine praktična su za korištenje po kiši, ali i u slučaju

27 Fluorescentne cijevi su staklene cijevi ispunjene živinim parama kojima su unutarnje stijenke obložene fosforom. Između elektroda na krajevima cijevi se stvara strujni luk. Pod utjecajem strujnog luka živine pare daju ultraljubičasto svjetlo koje fosfori na stijenkama cijevi pretvaraju u vidljivo svjetlo. (prof. Boris Popović 2007. ADU, Svjetlo u TV studiju (pristupljeno 29.12.2021.))

28 KinoFlo je proizvođač profesionalne rasvjete za snimanje

29 LED - Light Emitting Diodes – Led označava diodu koja emitira svjetlo

30 Minolta je japanski proizvođač fotoaparata i ostalih dodataka za fotografiranje

31 Spectra pro IV Incident Meter, profesionalni digitalni svjetlomjer nastavak tvrtke Spectra Cine Inc.

zapluskivanja ili u drugim zahtjevnim radnim okruženjima. Kućišta za Minoltu Auto IV i Spectra pro IV uključuju prilagođene akrilne kupole precizno postavljene na kupolu mjerača kako bi se osigurala što preciznija očitavanja svjetlosti. Ikelite³² je dizajnirao digitalni svjetlomjer DM4200 koji korisniku pruža mogućnost mjerenja reflektirajućeg svjetla, ali i mjerenja upadnog svjetla. U nekim se situacijama dogodi da nema kućišta za svjetlomjer na setu. Tada je moguće poslužiti se vodonepropusnim vrećicama koje služe za zaštitu električnih uređaja od vode.



Kućište za Minoltu Auto Iv



Ikelite DM4200

Podvodna glava s daljinskim upravljanjem

HydroFlex je konstruirao podvodnu glavu s daljinskim upravljanjem pod nazivom HydroHead s dvije osi koja nije jedina na tržištu, ali je jedna od najpoznatijih. Podvodna glava koristi se najčešće za panoramske pokrete gdje je kamera izložena velikoj količini vode. „Podvodna glava u kombinaciji sa cijevnom hidrodinamikom RemoteAquaCam-a omogućuje ovom sustavu da klizi kroz vodu s manjim otporom od bilo čega što je trenutno dostupno.“³³ „L“ nosač omogućuje montiranje tvrdog i mekog kućišta i zbog te mogućnosti univerzalnog spajanja mogu se montirati Arri, Panavision i ostale profesionalne kamere. HydroFlex je nakon nekog vremena konstruirao i podvodnu glavu koja ima mogućnost upravljanja preko kontrolne jedinice s tri osi. Ovisno o vrsti krana s podvodnim kućištem u kombinaciji s podvodnom glavom, proširuje mogućnosti podvodnog snimanja i mogu se dobiti atraktivniji kadrovi.

32 Ikelite – tvrtka specijalizirana u proizvodnji podvodnih kućišta i ostale opreme za podvodno snimanje
33 (HydroFlex, HydroHead, <https://hydroflex.com/portfolio/hydrohead/> (pristupljeno 29.12.2021.))



HydroHead s dvije osi



HydroHead s tri osi

Planiranje podvodnog snimanja

Najčešći problemi u domeni podvodnog snimanja kreću odabirom tehnike za podvodno snimanje i odabirom načina izvršenja podvodnog snimanja.

Odabir načina izvršenja podvodnog snimanja

Odabir načina izvršavanja podvodnog snimanja ovisi o tome snima li se scena u bazenu, moru, jezeru ili rijeci. Ove četiri situacije različite su po pitanju temperature, slanosti (zbog koje je teže potonuti), strujanja i vidljivosti. Poznavanje lokacije i određenog vremenskog perioda za podvodno snimanje jako je važno zbog odabira ronilačke opreme. Snimanje u rijeci ili u moru, ljeti ili zimi, važne su informacije zbog odabira debljine odijela što ujedno određuje količinu utega koja će biti korištena. Snimanje u bazenu gdje se može kontrolirati temperatura zahtijeva tanje odijelo jer je bazen topliji od rijeke, jezera i mora. Pokret kamere ispod vode diktira koliko će snimatelj ponijeti utega. Ukoliko je potrebna veća statičnost, postavlja se veliku količina utega, ali ukoliko pokret kamere zahtijeva veliku dinamiku snimatelji se jako često oslobađaju svih viškova. U nekim situacijama skidaju sa sebe ronilačku bocu, utege i stavljaju tek najtanje odijelo, peraje i masku. U tim situacijama često snimatelji rone na dah.

Odabir lokacije

Kod odabira lokacije najvažnije je da ista odgovara sceni koja se snima. Postoje dvije vrste lokacija: lokacije u prirodnim uvjetima gdje snimatelj nema gotovo nikakvu kontrolu i studijski uvjeti gdje snimatelj ima potpunu kontrolu. Odabirom prave lokacije snimatelj sebi može olakšati daljnji rad. U koliko produkcija zahtijeva snimanje na prirodnim lokacijama, snimatelj mora znati kvalitetu vode, lokalne vremenske uvjete i vrstu dna. Mora poznavati kvalitetu vode kako bi zaključio je li ta lokacija adekvatna za scenarij. Ukoliko se snima u jezeru, snimatelj otpočeka zna kako je boja zelenija i vidljivost manja za razliku od mora gdje mu je boja plavija i vidljivost veća. Razliku čini i informacija snima li se, primjerice, zapadni dio Istre gdje je vidljivost manja ili Lastovsko otočje gdje je vidljivost veća. Kvaliteta dna također je važna zbog toga što se u moru u trenutku snimanja nalazi više ljudi pa u slučaju muljevitog dna broj ljudi utječe na prozirnost mora. Idealni uvjeti kad je u pitanju kvaliteta dna je kamenito dno jer ne utječe na vidljivost. Lokalna vremenska prognoza također je važna. Tijekom ljeta, vrijeme idealno za snimanje u moru jest od 10h do 15h jer je

tada sunce u zenitu i najmanji je postotak reflektiranja svjetla, to jest najveći je postotak prolaznosti svjetla u more. U tom razdoblju u Dalmaciji najčešće puše zapadni vjetar, takozvani maestral, od kojeg nastaju mali valovi koji sprječavaju svjetlost da uđe u more. U tom trenutku svjetlo pada pod kutom na valove pa se reflektira veliki postotak. Na taj način puno manje svjetla ulazi u more. Zato bi bilo dobro odrediti lokaciju, primjerice uvalu na koju ne utječe maestral, mirne površine i veće upadnosti svjetla do objekta. Najbolje bi bilo organizirati snimanje u bazenu radi mogućnosti kontrole svjetla, temperature vode i nemogućnosti ometanja od strane vremenskih uvjeta. Snimanje u bazenu snimatelju omogućuje bolju pripremu i na kraju bolji rezultat što ide svima u korist.

Organizacija i sigurnost podvodnog snimanja

Na uobičajene opasnosti podvodnog ronjenja ne utječe korištenje video opreme, ali rizik povezan s tim opasnostima može se povećati opterećenjem zadatka. To generalno umanjuje pozornost i svijest operatera, a dodatno opterećenje video opremom smanjuje učinkovitost ronioca da brzo i precizno reagira kako bi uklonio probleme prije nego što postanu ozbiljniji. Ovi se problemi inače ublažavaju praksom, a po potrebi, ako je moguće, suradnjom s drugim roniocem koji brine za snimateljevu sigurnost. Generalno, podvodno snimanje može se gledati kao akcijsko snimanje. Zbog toga pomaže veća pozornost svih sudionika na snimanju. Produkcija u organizaciji u tom trenutku ima odgovornost prema ekipi koja se nalazi ispod površine po pitanju sigurnosti snimanja. Prema zahtjevnosti scene i broju ljudi koji se nalaze u moru treba osigurati broj ronilaca koji su na snimanju u svrhu sigurnosti. Svaki ronilac ima dva regulatora: jedan za sebe i dodatni regulator u slučaju opasnosti (npr. ako glumac signalizira ispod površine da mu treba zraka). Idealno bi bilo da sami glumci odrade kratki tečaj ronjenja i da taj proces ponove s ljudima koji će ih paziti i na samom snimanju. To sve jako je korisno kako bi glumci bili opušteniji. Na taj način snimanje bi se moglo odraditi puno brže i bezbolnije.

James Cameron

James Francis Cameron kanadski je redatelj rođen 16. kolovoza 1954. Sa svojom obitelji 1971. godine preselio je u Kaliforniju gdje je počeo studirati fiziku i raditi kao vozač kamiona. Odlučio je odustati od toga i početi se baviti pisanjem scenarija i režiranjem filmova. James Cameron filmski je redatelj koji vas psihološki uvuče u situacije u kojima se ni sami ne bi htjeli naći i u kojima se događaji nikad ne rješavaju na lakši način.³⁴



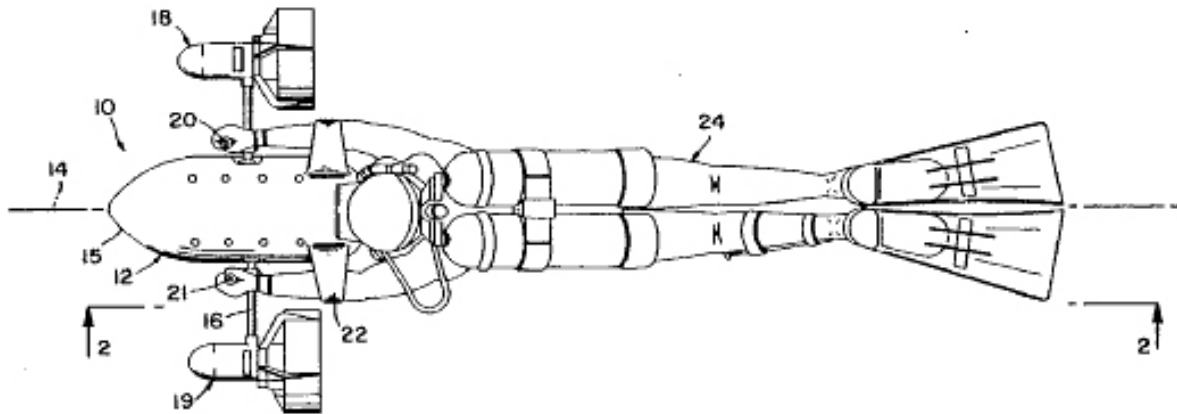
James Cameron

Prvi dugometražni Cameronov film je horor „Pirana II Mriješćenje” iz 1981., nakon kojeg je nastavio s filmovima od kojih su mnogi danas filmski klasici poput „Terminatora”, „Terminatora II”, „Aliena II”, „Bezdana”, „Titanica”, „Avatara” itd. Sljedeći njegov film koji bi uskoro trebao biti premijerno prikazan je „Avatar II”.

James Cameron piše scenarije za sve svoje filmove, ali i za filmove drugih redatelja. Već u ranoj fazi svoga stvaralaštva, filmom „Alien II”, osvojio je sedam nominacija za nagradu Akademije filmskih umjetnosti i znanosti. Film „Bezdan” ušao je u povijest kao jedan od zahtjevnijih snimateljskih pothvata (u tehničkom smislu). Nakon toga snima film „Titanic” kojim je prestigao sve filmove do tog trenutka. Osvojio je jedanaest Oscara i sto dvadeset i pet ostalih nagrada filmskog svijeta. Film Titanic držao je titulu najskupljeg filma sljedećih dvanaest godina. 2009. Cameron snima svoj sljedeći znanstvenofantastični film Avatar koji je koštao dvjesto trideset i sedam milijuna dolara. Uz igrane filmove snimio je i tri dokumentarna filma kao što su „Duhovi ponora“, „Aliens of the Deep“ i „Bismarck“. S obzirom da je Cameron veći dio svoje karijere proveo okružen vodom pronašao je „prazninu”

³⁴ <https://web.archive.org/web/20080807181226/http://www.dareland.com/emulsionalproblems/abyss.htm>
(pristupljeno 19.01.2022.)

u industriji podvodnih kamera. Konkretno, postojala je potreba za vozilom koje ima sposobnost usmjeravanja leće spojene na podvodnu kameru u jednom smjeru, dok se uređaj kao jedinica kreće u drugom smjeru.³⁵ Uređaj sadrži sklop za održavanje kamere na željenoj dubini te pogon za kretanje u vodi. Ovaj izum omogućuje snimatelju bolje pozicioniranje kamere.



Underwater dolly

„The Abyss“ James Cameron

„The Abyss“ (Bezdan) je znanstveno fantastični film epskih razmjera. Priča se gotovo u cijelosti odigrava ispod površine mora i bila je iznimno tehnički zahtjevna jer nije postojala tehnička infrastruktura potrebna za ekranizaciju scenarija. Cameron je od početka govorio kako želi učiniti onoliko koliko je moguće. Producentica Gale Anne Hurd bila je skeptična uvidjevši kompleksnost snimanja ovog filma. Snimanje nije bilo problem isključivo u tehničkom smislu. Bio je to test cijele ekipe, fizički i emocionalni napor koji je trajao gotovo šest mjeseci. James Cameron htio je koristiti prave podmornice za snimanje. Ovo je bio daleko veći pothvat nego što je bilo prvotno planirano. Film je snimljen na najvećem podvodnom filmskom setu izgrađenom u napuštenoj nuklearnoj elektrani u Južnoj Karolini. Cameron je angažirao danskog snimatelja Mikaela Salomona, koji je kasnije režirao „Hard rain“ (1998.) u kojem se radnja gotovo u potpunosti odvija u poplavljenom gradiću, velikim dijelom i ispod površine, kako bi realizirao svoju viziju. Kao glavne likove angažirao je Eda

35 (pristupljen <https://www.theatlantic.com/technology/archive/2011/01/celebrity-invention-james-camerons-underwater-dolly/70370/> o 20.01.2022.)

Harrisa i Mary Elizabeth Mastrantonio. Prva nesuglasica između redatelja i snimatelja bila je razlika u načinu snimanja. Odmah na početku, redatelj i snimatelj različito su gledali na način snimanja filma. Cameron je htio da se film snimi anamorfno što se Salomonu nije svidjelo pa mu je savjetovao da se snimi na formatu Super 35. Nakon odrađenih nekoliko testova u tom formatu, Cameron pristaje snimiti film kako mu je direktor fotografije savjetovao. Vizualni stil nisu mogli utemeljiti na primjerima iz prošlosti jer takvih filmova nije bilo, tako da je Cameron pokazao Salomonu vanzemaljce i neke vizualne efekte koje je sam osmislio i nacrtao. U napuštenoj nuklearnoj elektrani imali su improvizirane bazene. B bazen bio je dug pet metara, a dubok oko jednog metra. Ta dubina nije bila dovoljna za snimanje glavne scene. Glavni bazen izgradili su u prostoru gdje se nalazila turbina reaktora koji je bio dubok petnaest metara i promjera pedeset metara.



Glavni bazen

Prije samog snimanja organiziran je tečaj ronjenja za glumce. Prije samog snimanja, glumačka ekipa provela je na Karibima dva tjedna kako bi se naučili kretati ispod površine vode s ronilačkom opremom. S obzirom da je cijelo snimanje bilo jako kompleksno i teško za organizirati, ekipa je od prvog dana bila u natjecanju s vremenom. Krenuli su puniti vodom glavni bazen prije nego što se do kraja izgradila podvodna konstrukcija. Za napuniti glavni bazen bilo je potrebno jedanaest milijuna galona nepročišćene vode iz obližnjeg jezera. Punjenje bazena filtriranom vodom trajalo je pet dana kako bi se bazen napunio za konstrukciju koja je završena u posljednjem trenutku. Unatoč filtriranju, pri početku snimanja, voda je bila mutna. Bilo je potrebno staviti veliku količinu klora u bazen. Klor nije smetao ljudima koji su bili u odijelima i koji su imali kacige na glavama. Ljudima koji nisu imali kacige i odijela kosa je počela bijeliti, a na koži im se stvarale opekline. Produkcija je morala osigurati odijela svima koji su bili u bazenu. Cijela ekipa koristila je vazelin za zaštitu. Cameron je ovim filmom glumce tjerao do granica njihovih sposobnosti. U bazenu s

toliko vode stvorena je zrcalna površina koja bi odražavala cijelu filmsku ekipu u promjeru pedeset metara, u trenutku snimanja. Kako bi riješili problem, donijeto je sedam milijardi plutajućih crnih kuglica koje su nasipane u vodu kako bi se uklonila refleksija i zacrnila površina. Prvog dana snimanja, Cameron se obratio cijeloj ekipi rečenicom; „Zdravo, ekipa, dobrodošli u moju noćnu moru.“³⁶ Mickael Salomon imao je za zadatak osvijetliti scenu koristeći isključivo podvodnu rasvjetu zbog toga što se scena snimala na dubini od petnaest metara, a vanjsko svjetlo ne može doprijeti kroz plutajuće kuglice do te dubine. Salomon je često koristio i neizravno, odbijajuće svjetlo za osvijetljavanje dubine. „Pod vodom su snimali koristeći plavu pozadinu i stražnju projekciju što nitko prije nije radio.“³⁷ Rasvjetljivači na ovom filmu morali su raditi točno ono što su cijeli život izbjegavali zbog strujnog udara. Inače, rasvjetljivači su pazili na to da kabel ne bude u dodiru s vodom, a na ovom setu bilo je potrebno cijelu rasvjetu i sve kablove postaviti u bazen. Snimke kamera slali su na površinu, potom kabelom natrag u vodu do monitora na kojem je James Cameron kontrolirao sliku. Najveći izazov, kako je Mikael Salomon naveo, bila je scena u kojoj dizalica koja se srušila pada na tlo. Dizalicu su snimili izgradivši model koji su snimali 65mm kamerom. Taj snimak projicirali na pozadinu drugog kadra. To je trenutak u kojem posada gleda kroz prozor i dizalica ispred njih pada na tlo. „Problem je bio u tome što nismo imali vremena i kad je materijal stigao iz laboratorija, bila je potpuno zelena.“³⁸ Salomon je zbog toga stavio zelene filtre na sva rasvjetna tijela, tako da je sve snimljeno u zelenoj boji koja je u laboratoriju uklonjena i scena je uspješno snimljena. Za najdražu scenu naveo je onu u kojoj se Mary Elizabeth Mastrantonio utapa.



Scena je snimljena u kupoli pričvršćenoj na dizalicu koja je spuštala kupolu u vodu kako bi simulirali porast razine vode u prostoriji. Ta scena je snimljena iz ruke i kamera nije bila osigurana od prodora vode. Zahvaljujući prskanju vode, strujnim udarom ozlijeđen je direktor fotografije i kamera se pokvarila. Sutradan su dobili novu kameru i snimanje je nastavljeno.

36 Under Pressure: The Making of The Abyss Documentary 1993.

37 Under Pressure: The Making of The Abyss <https://www.syfy.com/syfy-wire/the-abyss-at-30-cinematographer-mikael-salomon-on-water-logged-tech-challenges-and-on-set>ng of The Abyss Documentary 1993.

38 (pristupljeno: 07.01.2022.)

Salomon je imao asistenta koji mu je pomicao kapljice s prednjeg stakla ispred objektiva. U finalnoj montaži ušao je kadar u kojem se vidi asistentova ruka na rubu, ali je toliko blijeda da se ne može primijetiti. Salomon je molio Camerona da ne stavlja taj kadar u film na što mu je Cameron objasnio da to nitko nikad neće vidjeti. U sceni u kojem vodena zmija prilazi Edu i Mary, Salomon je želio dobiti interaktivno svjetlo na zidovima i glumcima. Dijelove razbijenog ogledala stavio je u ravne posude napunjene vodom, a svjetlo usmjerio prema ogledalu. Refleksijom i uzburkanom vodom stvorio je interaktivno svjetlo na zidovima i glumcima. U jednom trenutku pukle su cijevi za filtraciju i grijanje vode. Snimanje je stalo na četiri dana. Glumci su taj period vremena proveli na setu zbog promjene plana snimanja uzrokovane tehničkim poteškoćama. Dolazili su na set svakog dana i čekali po sedam sati prije nego što bi nešto napravili, ako bi uopće nešto i radili. Zbog toga što je snimanje počelo krajem kolovoza, lokacija je bila na otvorenom. Početkom jeseni ekipa se suočila s novim izazovima kao što su grmljavina i kiša koja im je kidala ceradu kojom je bio pokriven cijeli set.



Za potrebe scene u kojoj Ed Harris pad u bezdan je snimljen na način da su glumac i snimatelj bili povezani istim užetom koje je povlačio jedan ronilac. Na taj način mogli su se kretati istim tempom. Cijela scena snimljena je okrenuta na bok. Izgedalo je kao da odlaze u dubinu, ali ih se zapravo povlačilo u stranu. S obzirom na to, gledatelj ima dojam da glavni lik tone prema dnu. Kako se snimanje bližilo kraju, za snimanje su korišteni sve manji i manji bazeni.

U Engleskoj, u prikazu finalne verzije, morali su izbaciti scenu u kojoj testiraju rozu tekućinu s bijelim štakorom. Ta scena nije se svidjela kraljevskom veterinaru jer je zaključio da je

proces bio bolan za životinju. Film je premijerno prikazan 9. kolovoza 1989. godine za svjetsku javnost.

Zaključak

S obzirom da podvodni snimatelj ima veliko znanje o podvodnim tehnikama, tim znanjem i informacijama o sceni sam odlučuje kojom tehnikom će snimati. Uz snimateljevo znanje važan faktor u odabiru tehnike jest i financijski plan produkcije. U podvodnom snimanju postoje dva modela financijske konstrukcije i mogućnosti odabira tehnike. Prvi model je taj da je važno prikazati ono što je zamišljeno i koristiti tehniku koja može omogućiti zamišljeno neovisno o njenoj cijeni. Snimanja u kojima se ne razmišlja o financijskom dijelu komercijalni su projekti poput reklama i snimanja stranih produkcija u kojima se razmišlja na način da su podvodne scene neophodne za pričanje priče cijelog filma. Drugi model koji se češće primjenjuje u domaćim produkcijama je taj da se ne osiguravaju sredstva za podvodne scene pa se ide na jeftinije opcije. Ponekad se dogode situacije u kojima uz podvodne scene treba snimiti i neke dijelove na površini. U toj situaciji trebalo bi iznajmiti tvrdo i meko kućište kako bi materijal ispod i iznad površine bio tehnički korektan. Produkcije u tim situacijama često iznajmljuju samo meko kućište koje je znatno jeftinije od tvrdog kućišta, ali mekano kućište ima samo flat port jer se to kućište jako rijetko koristi za snimanja pod vodom. Meko kućište može se koristiti i pod vodom, ali uz velika ograničenja i velikom količinom utega kako bi kamera bila potopljena. Loša strana tog kućišta je ta što snimatelj nije pokretan u smislu prilazaka i odlazaka. Njim se mogu odraditi ograničeni horizontalni i vodoravni pokreti. Koristeći to kućište ispod vode snimatelj je ograničen i u korištenju funkcije širokokutnih objektiv. Uz to snimatelj mora paziti da se previše ne približi objektu jer u trenutku aberacije postaju vidljivije. U situaciji kad se snima scena mekim kućištem na površini, zbog velike težine snimatelj treba imati drvenu podlogu sa stiroporom kako bi kamera mogla plutati i kako bi objektiv ostao izvan vode. Korištenjem tvrdog kućišta za potrebu površinskog kadra snimatelj ima drugi problem, težinu cijelog kućišta uz težinu kamere, objektiv i baterije. Cjelokupna težina iznosi desetak kilograma što onemogućuje održavanje kamere iznad površine. Može se koristiti drvena ploča sa stiroporom kao i kod mekanog kućišta. U ovom slučaju dimenzije drvene ploče moraju biti veće, dok se plovnost rješava dodavanjem stiropora ispod drvene ploče. Na sredini te plutajuće platforme napravi se rupa za pričvršćivanje tvrdog kućišta za drvenu ploču (plutajuće platforme). Podvodne scene treba snimati upotrebom tvrdog kućišta ako je ikako moguće jer tvrdo kućište ima mogućnost postavljanja Dome porta što poboljšava tehničku kvalitetu fotografije. Pored kamera s

filmskim negativom³⁹ danas se puno češće koriste kamere s digitalnim senzorom, zbog visoke kvalitete profesionalnih kamera kao što su Alexa SXT⁴⁰, Mini Lf⁴¹, Panavision Genesis⁴², Red Epic Dragon⁴³, Red Komodo⁴⁴ i druge. Sve ove kamere imaju PL⁴⁵, LPL⁴⁶ ili PV⁴⁷ prihvate za objektivne koji omogućuje korištenje visoko kvalitetnih objektivna kao što su marke Cooke⁴⁸, Zeiss⁴⁹ ili Panavision. Podvodno svjetlo koristi se u slučajevima kad vanjsko svjetlo nije dovoljno za stvaranje atmosfere scene, a atmosfera scene ovisi o scenama koje su snimljene na površini, a vezane su uz scenu pod vodom. U situaciji kad se snima scena u bazenu gdje je svjetlo kontrolirano s površine, u vodi ima dosta reflektiranog svjetla od pločica s poda i bočnih zidova. Ukoliko se radi o bazenu s bijelim pločicama, nije potrebna umjetna podvodna rasvjeta, već su dovoljni samo okviri za nadodavanje ili oduzimanje svjetla kako bi se kontrolirao kontrast ispod površine vode. Važan faktor kod podvodnog snimanja jest i veza putem „Full face maske⁵⁰“ koja omogućuje komunikaciju preko radio stanice s režijom na površini.

39 Filmski negativ – je višeslojni materijal za snimanje i reprodukciju filma fotografskim postupkom. Sastoji se od podloge i fotografskog ili emulzijskog sloja

40 Alexa SXT je digitalna kamera firme ARRI

41 MINI LF je digitalna kamere firme ARRI

42 Panavision Genesis je digitalna kamera firme Panavision

43 Red Epic Dragon je digitalna kamera firme Red

44 Red Komodo je digitalna kamera firme Red

45 PL- „Positive Lock“ vrsta nosača za objektivne koji je ARRI razvio za uporabu s filmskim kamerama

46 LPL- „Large Positive Lock“ vrsta nosača za objektivne koji je ARRI razvio za uporabu s filmskim kamerama

47 PV- je nosač koji je Panavision razvio za upotrebu s filmskim kamerama. Najčešće se nalaze na njihovim kamerama i objektivima

48 Cooke je tvrtka za proizvodnju filmskih objektivna

49 Zeiss njemački je proizvođač optičkih sustava, industrijskih mjernih uređaja i medicinskih uređaja, osnovan u Jeni u Njemačkoj 1846. godine od strane optičara Carla Zeissa.

50 Full face maska ima regulator za disanje u moru i neki modeli imaju komunikaciju preko radio stanice

LITERATURA

1. American Cinematographer (10.2021.) ASC VOL.102 NO.10
2. Bratoljub Klaić, (1978.) "Rječnik stranih riječi" Nakladni zavod Matice hrvatske
3. prof. Boris Popović (2007.) ADU, Svjetlo u TV studiju
4. E. Nocerino, F. Remondino i F. Menna (2017.) „Flat versus hemispherical dome ports in underwater photogrammetry“
5. Dimitri Rebikoff (1968.) „History of underwater photography“
6. Dr. Rod Ryan(1993.) „American Cinematographer Manual“, The ACS Press Hollywood, California
7. Goran Ergović, ing. I Zoran Ergović,ing. (2014.)“Ronilac s jednom zvijezdicom” HRS, Zagreb
8. Goran Ergović, Zoran Ergović (2006.)“Ronilac s dvije zvijezdice” HRS, Zagreb
9. Patrick McCoolle, (1972.) „To unplumbed depths by Hans Hass“
10. Stracimir Gošević, (1990.)„Ronjenje u sigurnosti“ peto izdanje, Jumena – Jugoslavenska medicinska naklada

INTERNET STRANICE

<https://www.scubadiving.com/living-legends-dive#page-10>

<https://birnsandsawyer.com/staff/>

https://www.youtube.com/watch?v=3k43KHV1fDU&ab_channel=StormS2000

<https://www.theatlantic.com/technology/archive/2011/01/celebrity-invention-james-camerons-underwater-dolly/70370/>

<http://www.lysator.liu.se/~hakgu/ab-behind2.html>

<https://www.syfy.com/syfy-wire/the-abyss-at-30-cinematographer-mikael-salomon-on-water-logged-tech-challenges-and-on-set>

<https://shotonwhat.com/the-abyss-1989>

<https://www.scubadiving.com/living-legends-dive#page-5>

https://h2ography.com.au/history-of-underwater-photography/?fbclid=IwAR2iJEamBJbygf1CjaVOF6sYe_gK7I2XhXwSoAdtHqEFyF94d4P6cVXoFxs

<https://earthlymission.com/first-underwater-photograph-story/>

https://en.wikipedia.org/wiki/Underwater_photography

<http://www.scienceandfilm.org/articles/3117/nautical-film>

<https://g3ynh.info/photography/articles/ports.html>

<https://theunderwaterpodcast.com/director-of-photography-pete-romano-asc/>

<https://theunderwaterpodcast.com/director-of-photography-pete-romano-asc-part-2/>

<https://www.flickr.com/photos/23369162@N02/albums/72157625919388459/with/5443584363/>

<https://hydroflex.com/portfolio/hydrohead-3-axis/>

<https://hydroflex.com/portfolio/arri-435-remoteaquacam-and-hydrohead-3/>

<https://hydroflex.com/portfolio/waterproof-exposure-meter-housings/>

<https://hydroflex.com/about-us/biography-pete-romano/>

https://owussnorthamerica.org/behind-the-scenes-underwater-cinematography-with-pete-romano/?fbclid=IwAR2xo8xLTSXwLmewWdCdiBRwGsOMewyh73VP8I_FOF_MmVrgic9vQcFdqYM

https://en.wikipedia.org/wiki/Underwater_videography

<https://hr.garynevillegasm.com/obrazovanie/75807-opticheskoe-steklo-s-vypuklo-vognutymi-poverhnostyami-izgotovlenie-primenenie-linza-uvelichitelnoe-steklo.html>

<http://struna.ihjj.hr/naziv/sfericna-leca/40801/>

<https://hr.intermediapub.com/achromatic-flat-optical-components-via-compensation-between-structure-223372>

<https://www.fot-o-grafiti.hr/nauci/optika/geometrijska-izobli%C4%8Denja-objektiva>

https://hr.wikipedia.org/wiki/Kromatska_aberacija

https://hr.wikipedia.org/wiki/Raspr%C5%A1enje_svjetlosti

<https://hr.wikipedia.org/wiki/Refleksija>

<https://hr.wikipedia.org/wiki/Refrakcija>