

# Trošenje materijala u ručnim satovima

---

**Vukić, Ante**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:866045>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-10**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Prijediplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

**TROŠENJE MATERIJALA U RUČNIM SATOVIMA**

Rijeka, rujan 2024.

Ante Vukić

0069089841

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Prijediplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

**TROŠENJE MATERIJALA U RUČNIM SATOVIMA**

Mentor: doc. dr. sc. Matej Fonović

Rijeka, rujan 2024.

Ante Vukić

0069089841

Rijeka, 13. ožujka 2023.

Zavod: **Zavod za materijale**  
Predmet: **Materijali II**  
Grana: **2.15.03 materijali**

## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Ante Vukić (0069089841)**  
Studij: Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva

Zadatak: **Trošenje materijala u ručnim satovima / Wear of the materials in wristwatches**

### Opis zadatka:

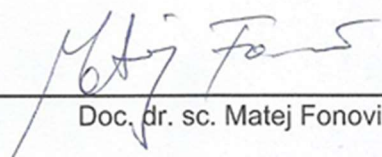
U radu je potrebno definirati trošenje materijala te objasniti osnovne procese trošenja materijala. Neophodno je ukratko opisati mehanički satni mehanizam kao i dijelove satnog mehanizma. Potrebno je opisati mehanizme trošenja i oštećenja materijala kod satnih mehanizama, objasniti utjecaj trenja te dati osnovnu tribološku analizu. Potrebno je identificirati kritične parametre, dijelove te materijale sata odnosno satnog mehanizma. Pri razmatranju navedene problematike potrebno je definirati strategije za poboljšanje tribološkog sustava satnog mehanizma. Na temelju analize dobivenih rezultata potrebno je donijeti odgovarajuće zaključke.

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

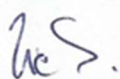


Zadatak uručen pristupniku: 20. ožujka 2023.

Mentor:

  
\_\_\_\_\_  
Doc. dr. sc. Matej Fonović

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

  
\_\_\_\_\_  
Izv. prof. dr. sc. Samir Žic

## IZJAVA

Sukladno članku 7. Pravilnika sveučilišta u Rijeci o izradi završnih radova, završnih ispita i završetku prijediplomskih sveučilišnih studija Tehničkog fakulteta ja, Ante Vukić, JMBAG: 0069089493 student Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, kao autor završnog rada s naslovom: Trošenje materijala u ručnim satovima, izjavljujem da sam završni rad izradio samostalno pod mentorstvom doc. dr. sc. Mateja Fonovića.

Rijeka, rujan 2024

---

Ante Vukić

## ZAHVALA

Zahvalio bih se mentoru doc. dr. sc. Mateju Fonoviću jer mi je pružio priliku za izradu završnog rada u okviru kolegija Materijali 2, te na njegovoj stručnoj pomoći pri izradi istog.

Također se želim zahvaliti svojoj obitelji, prijateljima, a naročito mom najboljem prijatelju Agru jer su me podnosili i bili podrška za vrijeme studiranja

## SADRŽAJ:

1.	UVOD .....	1
2.	POVIJEST SATOVA.....	2
2.1.	Sunčani sat.....	2
2.2.	Vodeni sat .....	3
2.3.	Pješčani sat .....	3
2.4.	Prvi mehanički satovi .....	4
2.5.	Nove inovacije.....	5
2.6.	Moderni satovi.....	6
3.	PRINCIP RADA .....	7
3.1.	Princip rada mehaničkog sata.....	7
3.2.	Princip rada kvarcnog sata .....	8
3.3.	Princip rada pametnih satova .....	8
4.	DIJELOVI MEHANIZMA .....	9
4.1.	Spiralna opruga i njeno kućište .....	9
4.2.	Kruna i njezini zupčanici.....	10
4.3.	Balansni kotač .....	10
4.4.	Čekić.....	11
4.5.	Kotač za bijeg.....	11
4.6.	Zupčanici.....	12
4.7.	Ležajevi .....	12
4.8.	Mostovi.....	13
4.9.	Automatski sklop.....	13
4.10.	Tourbillon .....	14
5.	PROIZVODNJA RUČNIH SATOVA .....	15
5.1.	Proizvodnja mehanizma .....	15
5.1.1.	Proizvodnja zupčanika .....	16
5.1.2.	Proizvodnja ležajeva .....	16
5.1.3.	Proizvodnja opruga .....	17
5.1.4.	Proizvodnja nosivih elemenata.....	17
5.2.	Proizvodnja kućišta .....	17
5.3.	Proizvodnja brojčanika sata .....	18
5.3.1.	Tiskanje brojčanika .....	18
5.3.2.	Lakiranje brojčanika.....	19
5.3.3.	Emajliranje brojčanika .....	19

5.3.4.	Graviranje brojčanika (Guilloche) .....	19
5.4.	Proizvodnja stakla .....	20
5.4.1.	Proizvodnja plastičnog stakla .....	20
5.4.2.	Proizvodnja mineralnog stakla .....	20
5.4.3.	Proizvodnja safirnog stakla .....	21
5.5.	Proizvodnja remena .....	22
5.5.1.	Proizvodnja metalnih remena .....	22
5.5.2.	Proizvodnja kožnih remena .....	22
5.5.3.	Proizvodnja NATO remena .....	23
6.	VRSTE MATERIJALA .....	24
6.1.	Čelik .....	24
6.2.	Zlato .....	24
6.3.	Bronca .....	24
6.4.	Nikal .....	25
6.5.	Silicij .....	25
6.6.	Dijamant .....	25
6.7.	Ceratanijski .....	25
6.8.	Titan .....	26
6.9.	Mjed .....	26
6.10.	Guma .....	26
6.11.	Ugljična vlakna .....	26
6.12.	Rubini .....	26
6.13.	Safir .....	27
6.14.	Keramika .....	27
6.15.	Kvarc .....	27
6.16.	Plastika .....	27
6.17.	Mineralno staklo .....	28
6.18.	Safirno staklo .....	28
7.	TROŠENJE MATERIJALA I NJIHOVA ZAŠTITA .....	29
7.1.	Trenje materijala .....	29
7.1.1.	Trenje na ležajevima .....	29
7.1.2.	Trenje zupčanika u kontaktu .....	30
7.1.3.	Trenje između balansne opruge i čekića .....	31
7.1.4.	Trenje na čekiću i kotaču za bijeg .....	31
7.2.	Trošenje zbog nepažnje .....	32
7.2.1.	Ogrebotine .....	32



7.2.2.	Udarci .....	34
7.2.3.	Starenje materijala .....	34
7.3.	Korozija .....	36
7.3.1.	Korozija mehanizma .....	36
7.3.2.	Korozija kućišta .....	37
7.4.	Zaštita pojedinih dijelova .....	37
7.4.1.	Zaštita mehanizma .....	37
7.4.2.	Zaštita ostalih dijelova .....	38
8.	ALATI ZA RAD NA SATOVIMA .....	40
8.1.	Povećalo i mikroskopi .....	40
8.2.	Stega .....	40
8.3.	Uređaju za otvaranje kućišta .....	41
8.4.	Uređaj za montiranje stakla .....	41
8.5.	Uređaji za čišćenje dijelova .....	41
8.6.	Dodatni alati .....	42
9.	ZAKLJUČAK .....	43
10.	LITERATURA .....	44
11.	POPIS SLIKA .....	47
12.	SAŽETAK .....	49
13.	SUMMARY .....	50

# 1. UVOD

Kroz povijest, satovi su uvelike utjecali na našu percepciju vremena, omogućujući nam precizno mjerenje vremena, što je važno za moderno društvo. Satovi se i danas razvijaju prateći tehnološki razvoj i prilagođavajući se novim potrebama svojih korisnika. Satovi su postali modni dodaci, statusni i personalizacijski simboli, što dodatno potiče inovativnost dizajna i korištenje novih materijala. Satovi su složeni mehanički uređaji koji funkcioniraju zahvaljujući precizno izrađenim komponentama koje se međusobno povezuju i pomiču, bilo da je mehanizam mehanički, kvarcni ili elektronički.

Mehanički satovi koriste opruge i zupčanike koji rade kontinuirano, što može uzrokovati trošenje materijala tijekom vremena, posebno tamo gdje je trenje veliko.

Kvarcni satovi, s druge strane, imaju manje pokretnih dijelova, ali ni oni nisu imuni na trošenje, osobito kada je riječ o kućištu, staklu i zupčanicima.

Obje vrste satova imaju svoje karakteristike, ali dijele osnovne komponente kao što su kućišta, stakla, remeni, zupčanici i opruge. Pametni satovi, iako se smatraju elektroničkim uređajima, suočavaju se s dodatnim izazovima trošenja zbog upotrebe senzora i zaslona osjetljivih na dodir.

Zbog sve veće popularnosti pametnih satova, proizvođači su prisiljeni pronalaziti nova rješenja za održavanje kvalitete i dugotrajnosti svojih komponenti, što uključuje razvoj naprednih softverskih algoritama za optimizaciju njihovog rada.

U Završnom radu će se detaljno raspravljati o različitim čimbenicima koji utječu na trošenje materijala, kao što su kvaliteta izrade, učestalost korištenja, trenje te nepažnja korisnika. Trenje je jedan od ključnih čimbenika u trošenju materijala jer je prisutno na različitim mjestima u satu, kao što je trenje na ležajevima sata, zupčanicima i čekićima. Uz trenje, korozija i mehanički udarci su važni uzroci trošenja, osobito prilikom neadekvatnog održavanja sata. Poseban naglasak bit će stavljen na zaštitne mjere koje se koriste u industriji satova, uključujući materijale kao što su safirno staklo, keramika i titan, kao i različite metode podmazivanja koje smanjuju trenje između komponenti. Osim toga, pomno će se ispitati inovativne tehnologije koje se koriste u modernim satovima za smanjenje trošenja i produljenje životnog vijeka. Sve će to biti povezano s praktičnim primjerima iz svakodnevnog života kako bi se što jasnije prikazale strategije koje su najučinkovitije u održavanju dugovječnosti i funkcionalnosti sata.

## 2. POVIJEST SATOVA

Za početak čovjekovog mjerenja vremena zaslužnim se smatraju Babilonci i Egipćani za koje se preko arheoloških pronalazaka doznaje da su pokušavali mjeriti vrijeme i prije 5000 godina praveći kalendare podijelivši godinu kako bi mogli organizirati i koordinirati bitne dane kao što su različite svečane pogodnosti, sadnje različitih biljaka, žetve i dr.

Egipćani su godinu podijelili u 12 mjeseci od kojih je svaki imao 30 dana sa 5 dodatnih dana koji su se dodavali kako bi se replicirala solarna godina. S vremenom su počeli dijeliti periode dana i noći svaki u 12 jednakih dijelova što je značilo da se serija dana i noći sastoji od 24 dijela (sata), naravno ta podjela je ovisila o dijelu godine jer je bila točna isključivo oko 21. dana u 3. mjesecu i 22. dana u 9. mjesecu. Što je značilo da su ljetni dani dulji a zimski kraći. Ovaj stil dijeljena godine i dana je bio preuzet od strane Grka i Rimljana koji su ga dalje proširili kroz Europu [1].

### 2.1. Sunčani sat

Kako bi se znalo koji dio dana je u kojem trenutku, bilo je izrazito bitno napraviti nešto što će moći precizno reći koliko vremena je prošlo u određenom danu. Tu ulogu imao je sunčani sat, prikazan na slici 1, koji je imao stup i preko duljine sjene ili njezine orijentacije ljudima slikovito prikazivao koliko je sati npr. U sedam sati ujutro sjena bi bila izrazito dugačka, dok u 12 sati popodne sjena bi se poklapala sa stupom.



*Slika 1- Sunčani sat [18]*

Sunčani sat kao što sam naziv objašnjava nije mogao funkcionirati bez prisutnosti sunca, što je značilo da je potrebno nešto drugo što tijekom noći ili oblačnih dana može prikazati vrijeme. Zbog toga je izmišljen vodeni sat koji se mogao relativno jednostavno proizvesti i riješiti navedeni problem.

## 2.2. Vodeni sat

Vodeni sat, prikazan na slici 2 sastojao se od dvije posude i mogao je raditi na 2 načina. Prvi način koji se koristio je da gornja posuda ima rupu na dnu kroz koju može polako curiti voda, posuda ima naznačene linije unutra i svaka linija predstavlja jedan sat, kako voda napušta posudu razina vode u njoj se smanjuje i može se očitati koliko sati je prošlo otkako smo dopustili protok vodi. Drugi način je gotovo identičan samo se skala nalazi na donjoj posudi, te porastom razine vode u posudi može se vidjeti koliko je sati prošlo.



*Slika 2- Egipatski vodeni sat [19]*

Najveći problem koji se javljao pri korištenju vodenog sata je to što se voda ledi pri temperaturama nižim od 0 °C što u mnogim mjestima na planeti predstavlja velik problem. To se rješavalo korištenjem različitih tekućina u posudi. Naravno kroz godine su nastale različite varijacije tih uređaja međutim jedna koja je imala najveći značaj je izum pješčanog sata.

## 2.3. Pješčani sat

Prvi pješčani sat smatra se da je izmišljen u 8. stoljeću n.e. od strane Francuza Liutpranda, no prvi pravi dokazi njegovog postojanja javljali su se u 14. stoljeću na transportnim brodovima. Naime pješčani sat, prikazan na slici 3, sastoji se od gornjeg i donjeg spremnika koji se na prijelazu sužuju dovoljno da pijesak može curiti iz gornjeg spremnika u donji. Imali su većinom drveni stalak koji je također služio kao i zaštita staklu. Budući da se koristio pijesak taj tip sata mogao je podnijeti izrazito visoke i niske temperature, te količina pijeska u posudi nije predstavljala nikakav problem što je bilo izrazito korisno, te omogućilo njegovu uporabu na raznim trgovačkim brodovima i omogućilo im precizan dolazak na pozicije. Pješčani satovi su dolazili u različitim veličinama, tj. što je sat bio veći moglo se njime mjeriti dulji protok vremena.



*Slika 3- Pješčani sat [20]*

#### **2.4. Prvi mehanički satovi**

Prvi mehanički satovi su se počeli pojavljivati između 1270. i 1300. na području Njemačke, Italije i Engleske [2]. Crkva je imala izrazito velik utjecaj, jer je ona imala najobrazovanije osobe koji su se trudili napraviti neki uređaj da preciznije i lakše pokazuje vrijeme. Ti uređaji nisu imali kazaljke već su udarcem čekića o zvono signalizirali protok vremena. Takvi satovi sastojali su se od utega koji su pokretali sat i čekića koji udara o zvono, te su imali regulatore i zupčanike koji su omogućavali precizniji rad.

Narednih godina se počinju pojavljivati razni izumi u industriji satova, te 1505. godine dolazimo do prvog prenosivog mehaničkog sata, prikazanog na slici 4 koji je imao samo jednu kazaljku jer dodavanje kazaljki za minute i sekunde u to vrijeme nije bilo potrebno budući da su takvi satovi gubili do pola sata dnevno na preciznosti. Kroz vrijeme navedeni tipovi sata su nestali, no ovaj tip sata je nanovo otkriven 1987. godine no na njemu nema dokaza da ga je napravio Peter Henlein, te se smatralo da sat nije originalan [3].

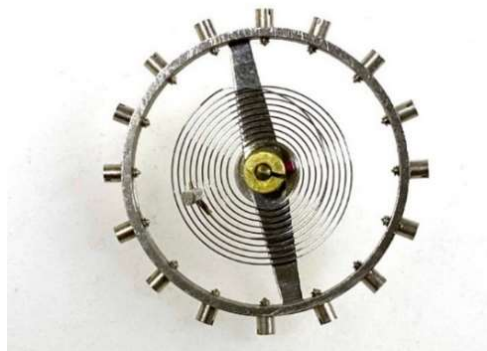


*Slika 4- Prvi prijenosni mehanički sat [21]*

Iako se satu Petera Heleina dodjeljuje titula prvog takvog sata u 16.st. je veliki broj ljudi proizvodio i unapređivao razne verzije, odnosno varijacije satova i smišljao načine kako ih učiniti čim boljim.

## **2.5. Nove inovacije**

U godinama nakon dolazi do raznih inovacija, a jedna od najznačajnijih je balansni kotač prikazan na slici 5 koji se rotirao u oba smjera i omogućavao satovima toliko dobru preciznost da su dnevno gubili do jedne minute na točnosti. Različite kompleksnosti na satovima dodavale su sve veći i veći broj dijelova no napokon je postalo toliko prošireno da je osoba mogla imati džepni sat koji bi nosila sa sobom i u svakom trenutku mogla znati koliko je sati sa velikom točnošću.



*Slika 5- Balansna opruga koja regulira gibanje mehanizma [22]*

Nedugo nakon džepnih satova počela je proizvodnja ručnih satova zbog jednostavnosti njihovog korištenja u svakodnevnom životu. Najviše su se popularizirali u vojnim jedinicama jer vojnici nisu imali vremena vaditi sat iz džepa te im je držanje sata omogućilo da budu mnogo efikasniji.

Sredinom 20. stoljeća počela je borba za proizvodnju prvog „Quartz“ sata. Švicarske kompanije prve su započele razvoj satova na baterije, no japanska firma „Seiko“ je imala puno značajniji utjecaj. 1964. godine „Seiko“ proizvodi kvarcni džepni sat, no nekoliko godina kasnije ga je popratila i sa ručnim modelom „Seiko Astron“ prikazanom na slici 6. Godine 1969. započela je „kvarcna kriza“ koja je skoro uništila mehaničke satove kao takve jer su kvarcni satovi mogli biti značajno precizniji i jeftiniji za proizvodnju, te su omogućili da svatko može posjedovati precizan sat [4].



Slika 6- Prvi ručni kvarcni sat od Seika i njegov mehanizam [23]

## 2.6. Moderni satovi

Danas klasični satovi gube na svojoj popularnosti jer im je sama funkcija zamijenjena raznim elektronskim uređajima (mobiteli, računala, pametni satovi itd...). Danas na tržište dolaze novi „pametni satovi“ koji uz pokazivanje vremena, mjere npr. i puls vlasnika te omogućavaju komunikaciju s drugim osobama, kao i mnoge druge pogodnosti. Unatoč tome razne tvrtke poput Seika, Rolexa, Omega, A. Lange & Söhne i mnoge druge i dalje pokušavaju održati svoju povijest i pokazati kako su u mnogim situacijama mehanički satovi i dalje u modi, te kako ih se ne smije zaboraviti.

### 3. PRINCIP RADA

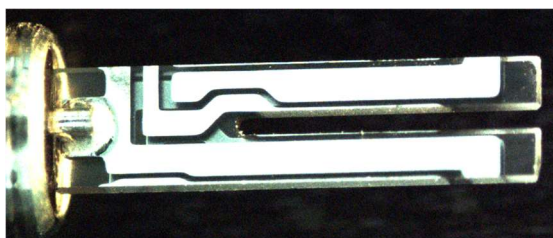
#### 3.1. Princip rada mehaničkog sata

Klasični mehanički sat se sastoji od velikog broja pokretnih i nepokretnih dijelova. Svoju energiju dobiva iz spiralne opruge koja ima svoje kućište na kojemu se nalazi niz zubaca (vidi sliku 8). Kako bi spiralna opruga mogla donositi energiju satu nju se treba nategnuti preko krune, prikazane na slici 10 koja se izvuče u položaj gdje se njezin klizni zupčanik poklapa sa zupčanikom koji pokreće zupčanik na koji je spiralna opruga povezana i tako ju dodatno zateže. Prevelikim zatezanjem kod mehaničkih satova može doći do loma spiralne opruge, no to je teško napraviti budući da opruga prije pucanja daje izrazito velik otpor osobi koja vrti krunu. Kada je spiralna opruga navijena ona se pokušava vratiti u prvobitni položaj, a to se sprječava sklopom za zaustavljanje (vidi sliku 9) koji dozvoljava gibanje navojnog zupčanika u jednom smjeru no blokira rotaciju u suprotnom smjeru sprječavajući tako odvijanje opruge. Zupčasto kućište energiju opruge prenosi na niz zupčanika koji se rotiraju različitim brzinama. Centralni zupčanik je u direktnom kontaktu sa zupčastim kućištem i u sat vremena se okrene za  $360^\circ$  te se na njemu nalazi kazaljka za minute. Drugi zupčanik mijenja omjer rotacije i prenosi energiju na treći na kojemu se nalazi kazaljka za sekunde koja se u minuti okrene 60 puta za  $360^\circ$ . Kazaljka za sate u većini slučajeva ima zadatak napraviti dvanaest puta manju rotaciju od minute (za dvanaest punih rotacija kazaljke za minute kazaljka za sate napravi jednu), to se ostvaruje još jednim setom zupčanika koji reduciraju brzinu rotacije satnog zupčanika. Ovako sat nije u mogućnosti raditi te je potreban sklop koji regulira količinu gibanja i energije koja se smije koristiti kako bi sat mogao raditi dulje vrijeme nakon jednog navijanja. Tu ulogu imaju balansni kotač, prikazan na slici 12, čekić, slika 13 i kotač za bijeg, slika 14. Balansni kotač je jako delikatan element u satu i često se ugrađuje na nosače koji ublažuju udarce. Sastoji se od kotača spiralne povratne opruge i navedenog nosača. Ona se rotira u oba smjera i pokreće ju gibanje čekića koji je u stalnom kontaktu sa kotačem za bijeg. Kotač za bijeg se pokušava odvrtati jer je povezan sa spiralnom oprugom. Kako bi spriječili da se to dogodi stavljamo čekić koji zaustavlja rotaciju kotača za bijeg i to u većini slučajeva radi 6 puta u sekundi. Ukoliko se cijeli sklop kreće prebrzo sat će dnevno gubiti vrijeme unaprijed, a ukoliko se giba presporo gubiti će vrijeme u natrag. Svaka rotacija ovog mehanizma se naziva otkucaj i standardni mehanizmi u većini slučajeva imaju 21600 otkucaja po satu što predstavlja 6 otkucaja po sekundi odnosno kazaljka za sekunde se pomakne 6 puta po sekundi. Svi ti dijelovi montiraju se u ležajeve od rubina koji im omogućuju rad bez prevelikog trenja. Naknadno se cijeli mehanizam stavlja u kućište i spreman je za svakodnevnu uporabu [5].



### 3.2. Princip rada kvarcnog sata

Kvarcni satni mehanizmi iako slični mehaničkim imaju velike razlike. Glavna razlika je to što kvarcni mehanizam ne pokreće snaga opruge već baterija. Kvarc je mineral koji kada je pod mehaničkim pritiskom proizvodi naboj, te kada dobije električni impuls počinje vibrirati određenom frekvencijom. To se naziva piezoelektrični efekt. Baterija šalje elektricitet ka kvarcnom kristalu u obliku viljuške (vidi sliku 7) koji zbog elektriciteta počinje vibrirati. Navedene oscilacije detektira sustav te nakon 32768 oscilacija sustav daje signal motoru za pokretanje mehanizma svakih 32768 oscilacija vrijeme je za pomak kazaljke od sekundi za 1 sekundu. Kazaljka za sekunde je direktno povezana sa drugim zupčanicima koji pokreću minute i sate sa reduciranim omjerima (1 sat predstavlja 60 minuta što je 3600 sekundi) [6].



Slika 7- Kvarcna viljuška [24]

### 3.3. Princip rada pametnih satova

Pametni satovi se uvelike razlikuju od klasičnih. Sastoje se od kućišta, remena, procesora, baterije, senzora i drugih pomoćnih elemenata. Njegova funkcija imitira rad računala više nego sata tako što koristi procesor koji obavlja sve kalkulacije potrebne za njegov rad. Ekran služi za prikaz svega potrebnog paljenjem pojedinih piksela po potrebi. Različiti senzori satu omogućuju praćenje pokreta, otkucaja srca, temperature i mnogih drugih funkcija koji čovjeku mogu pomoći u svakodnevnom životu. Cijeli sustav pokreće baterija koja mora biti veća od baterije za kvarcni sat jer pametni satovi za svoj rad zahtijevaju znatno veću količinu energije. Na slici 8 vidljive su razlike u izgledu sva tri tipa sata. Kvarcni i pametni satovi su značajno kompaktniji od mehaničkih.



Slika 8- Usporedba mehaničkog, kvarcnog i mehanizma pametnog sata [25]

## 4. DIJELOVI MEHANIZMA

### 4.1. Spiralna opruga i njeno kućište

Slika 9 prikazuje spiralnu oprugu koja služi za skladištenje energije koja će satu biti potrebna za rad. Energija se u opruzi skladišti zatezanjem opruge. Spiralna opruga se nalazi u kućištu i navija se preko krune sata, te u najčešćim slučajevima satu daje energiju za rad od 48 sati, no u nekim slučajevima to može biti značajno duže vrijeme. Kod samih mehaničkih satova opruga se mogla preoptereti i znalo je doći do pucanja, no to se unaprijedilo tako da opruga nije fizički povezana s kućištem već isključivo trenjem. Danas opruga u slučaju da dođe do povišenog opterećenja samo proklizi unutar svojeg kućišta i može nastaviti obavljati svoju funkciju.



*Slika 9- Spiralna opruga u kućištu [26]*

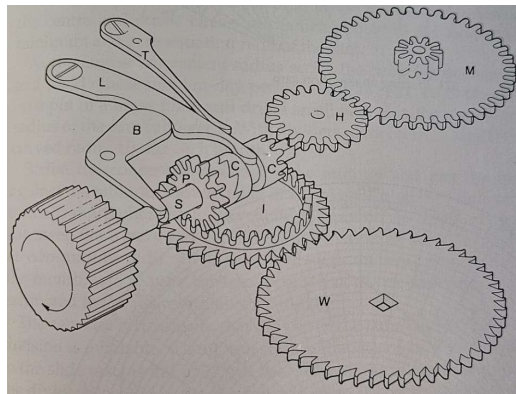
Kako bi se osiguralo da se spiralna opruga ne otpusti u suprotnom smjeru na zupčanik kućišta montira se zub, slika 10 koji u jednom smjeru rotacije propušta zupce, no u drugom ih blokira i tako zadržava energiju u spiralnoj opruzi.



*Slika 10- Zub za kočenje spiralne opruge [27]*

## 4.2. Kruna i njezini zupčanici

Na slici 11 prikazana je kruna sata koja se sastoji od šipke s navojem, krune koja se nalazi s vanjske strane. Kruna sata prolazi kroz zupčanike u obliku krune P i C, te ovisno o poziciji koristi se za navijanje spiralne opruge W, promjenu vremena koje sat prikazuje H i M ili izmjenu datuma s nešto drugačijom izvedbom, što sve ovisi o tipu mehanizma. Dijelove krune je po potrebi moguće izmijeniti, te vađenje krune sa sata predstavlja prvi korak prilikom servisiranja sata koje se vrši po preporukama proizvođača između 2 do 10 godina. Na krunu sata se također često stavlja i gumena brtva koja sprječava ulazak nečistoća ili vlage u mehanizam sata.



Slika 11- Kruna i njezini zupčanici [28]

## 4.3. Balansni kotač

Balansni kotač, prikazan na slici 12 je vrlo bitan element u mehaničkim satovima. Sastoji se od spiralnog utega, mosta, spiralne opruge, prigušivača i rubina koji mijenja poziciju čekića. Balansni kotač je izrazito osjetljiv i zbog toga se ugrađuje u prigušivač koji u slučaju pada sata ili raznih udaraca smanjuje opterećenje na sam balansni kotač. U slučaju da sat tokom svog rada gubi ili dobiva na vremenu to se donekle može podesiti preko balansnog kotača tako što se mijenja opterećenje na samoj opruzi kotača. Sam kotačić se često nalazi na zasebnom mostu koji ga podržava na mjestu.



Slika 12- Balansni kotač [29]

#### 4.4. Čekić

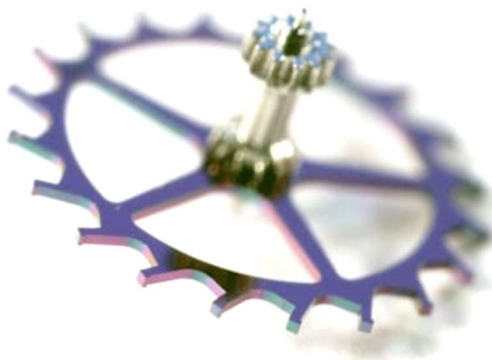
Čekić, prikazan na slici 13 se sastoji od vilice, dva rubina na svakoj njegovoj strani i između rubina se nalazi osovina koja cijeli element drži na mjestu. Rotacijom balansnog kotača njezin rubin dolazi u dodir s vilicom čekića i time mijenja poziciju čekića koji naknadno udara u kotač za bijeg.



Slika 13- Čekić [30]

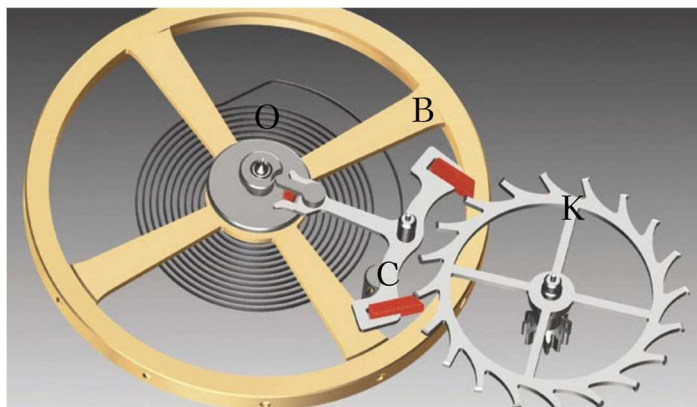
#### 4.5. Kotač za bijeg

Kotač za bijeg, prikazan na slici 14 je napravljen kao i zupčanik no s idejom da neće imati klasične zupce nego duguljaste kukice koje imaju dovoljno veliku površinu da rubini čekića mogu o njih udariti, te time zaustaviti rotaciju kotača za bijeg. Sam kotač za bijeg je preko niza zupčanika povezan s spiralnom oprugom , te da nema čekića koji mu zaustavlja rotaciju, kotač za bijeg bi se kontinuirano vrtio i rad sata bi bio postojan svega nekoliko sekundi.



Slika 14- Kotač za bijeg [31]

Na slici 15 prikazan je balansni kotač (B), opruga (O), čekić (C) i kotač za bijeg (B) u svome jedinstvenom sklopu čine tzv. „Sustav za bijeg“, koji u svom sklopu regulira brzinu rada sata i omogućava pretvorbu energije očuvane u glavnoj spiralnoj opruzi u kontinuirano gibanje kazaljki na satu.



*Slika 15-Sustav za bijeg [32]*

#### **4.6. Zupčanci**

Zupčanci prikazani na slici 16 su glavni elementi za prenošenje energije sa glavne spiralne opruge na kazaljke sata, oni su najčešće napravljeni od istog materijala (mjeđi ili čelika), no ponekada se mijenjaju zbog izgleda mehanizma. Sami zupčanci dolaze u različitim veličinama i različitim oblicima jer moraju pokretati različite dijelove sata, te služe kao reduktori kako bi se same kazaljke uvijek mogle rotirati svaka svojom brzinom.



*Slika 16-Zupčanci [33]*

#### **4.7. Ležajevi**

Ležajevi, prikazani na slici 17 su izrazito bitni jer svaki zupčanik u satu mora biti smješten u određeni utor, te kako bi trenje bilo što manje proizvode se izrazito maleni i jeftini ležajevi od rubina ili sintetskog safira jer oni imaju izrazito veliku tvrdoću, te se tako smanjuje trenje na njihovom kontaktu. Postoje različiti oblici ovisno o lokaciji ležaja i elementu koji je umetnut u njega. Sami rubini izrazito rijetko budu istrošeni no u iznimnim situacijama prilikom pada sata može doći do loma samog rubina koji se naravno može po potrebi zamijeniti. U većini slučajeva satovi imaju 17 rubina, no s povećanim brojem rubina mogu se javiti i dodatne nepoželjne komplikacije.



*Slika 17- Vrste ležajeva [34]*

#### **4.8. Mostovi**

Kako bi se svi elementi mogli montirati na određenim udaljenostima i lokacijama u kućištu na kućište se stavljaju mostovi (vidi sliku 18) koji služe kao baza za ležajeve. Oblik mostova je pažljivo promišljen kako bi svi elementi kompaktno mogli stati u kućište. Sami mostovi su vrlo jednostavnih oblika no često se graviraju različiti uzorci preko njih kako bi im se poboljšao izgled.



*Slika 18- Most [35]*

#### **4.9. Automatski sklop**

Sam sklop se sastoji od utega i niza zupčanika koji povezuju uteg i samu spiralnu oprugu. Prilikom svakodnevnog hodanja trčanja ili bilo kakvog gibanja ruke sat prelazi iz jedne u drugu poziciju, te samim time uteg zbog gravitacije mijenja svoj položaj. Rotacijom utega počinju se kretati zupčanici i tako dodatno zatežu glavnu oprugu. Ovo je dodatak na mehanizam koji se nalazi na automatskim satovima koji to ime dobivaju jer se mogu puniti bez da osoba sama mora navijati krunu, no opcija da se navija sat preko krune i dalje ostaje jer se na taj način sat značajno brže može naviti, a automatski dodatak samom satu omogućava da radi neprekidno ako ga se svakodnevno nosi. Također, kao i kod drugih dijelova mehanizma, postoje različite verzije samog sklopa, no u većini slučajeva uteg je najveća razlika jer se on jedini vidi kroz pozadinu sata, dok

su zupčanici prikriveni. Proizvođači veliku pažnju daju izgledu utega kako bi poboljšali izgled samog sata, te time i prodaju samog sata, slika 19.



*Slika 19- Automatski sklop [36]*

#### **4.10. Tourbillon**

Kao što je već pojašnjeno u poglavlju 4.3. balansni kotač je izrazito bitan za preciznost sata. Prilikom upotrebe džepnih satova, oni su uvijek stajali na istom mjestu u istom položaju. Iz tog razloga gravitacija je balansni kotač uvijek lagano vukla prema tlu i zbog toga su satovi gubili na vremenu jer bi opruga balansnog kotača bila deformirana. Tourbillon, prikazan na slici 20 je pokušaj rješavanja problema čiji je uzrok gravitacija tako što bi on rotirao sam balansni kotač i tako omogućavao da se kontinuirano mijenja pozicija kotača i osiguravao da sam kotač u svakom trenutku stoji u nekoj drugoj poziciji. Tourbillon se manje koristi za ručne satove jer oni sami po sebi mijenjaju pozicije iz trenutka u trenutak, no također i zato što je sama komplikacija izrazito teška za izvesti i to ju čini izrazito skupom. Danas se sam element koristi samo na najboljim modelima satova od najvećih svjetskih tvrtki iako im je svrha izrazito velika najviše se koriste kao kozmetički dodatak jer imaju izrazito zanimljiv izgled i zanimljivu priču iza sebe.



*Slika 20- Tourbillon [37]*

## 5. PROIZVODNJA RUČNIH SATOVA

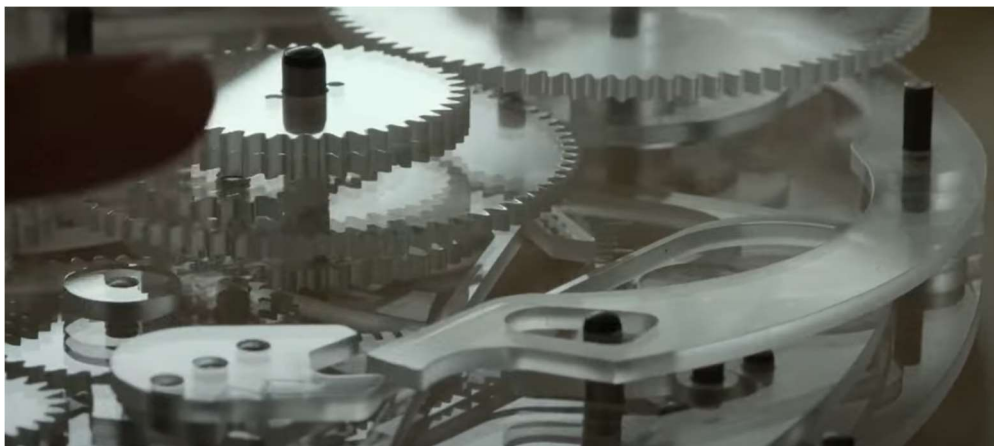
Cijeli proces proizvodnje ručnih satova počinje od ideje koju smišlja dizajner i prezentira ju u obliku crteža (vidi sliku 21). Mehanički sat je kompleksan i potrebni su timovi ljudi koji će se pobrinuti kako bi svaki pojedini element u satu bio kvalitetan i odrađivao traženu funkciju [7].



*Slika 21- Početni crteži [38]*

### 5.1. Proizvodnja mehanizma

Proces proizvodnje mehanizma počinje izradom makete, prikazane na slici 22, na kojoj se na uvećanom primjeru kojeg je lakše izraditi može vidjeti kako će uređaj funkcionirati i može li se uopće ostvariti u ovisnostima o dizajnu. Sama maketa po obliku je jednaka mehanizmu, no koriste se pristupačniji elementi proizvedeni od akrilnog stakla poznatog još pod imenom pleksiglas koje je jednostavno oblikovati raznim tehnološkim postupcima.



*Slika 22- Maketa [39]*



### 5.1.1. Proizvodnja zupčanika

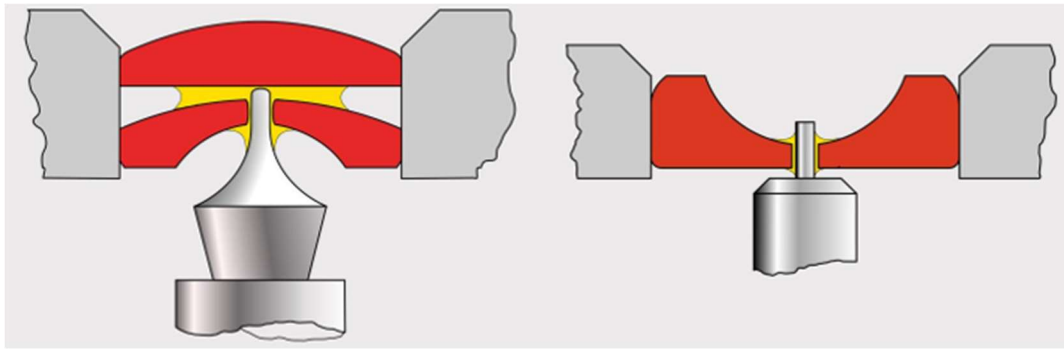
Proizvodnja zupčanika se ovisno o proizvođaču može raditi ručno ili sa strojevima, slika 23. Proizvodnja se odvija gotovo identično kao i sa klasičnim zupčanicima no ovdje su u pitanju značajno manje dimenzije. Sirovina (najčešće različite verzije mjedi ili čelika) u obliku cilindra se nabavlja i reže u tanjuraste oblike traženih dimenzija. CNC strojevi oblikuju element i dovode ga do točne dimenzije i oblika, potom se on rotira dok mu se izrežu pojedini zupci i naknadno glodalicom rade rupe u površini kako bi svaki zupčanik bio što lakši ali uz to podnosio očekivana opterećenja. Nakon što je cijeli zupčanik gotov nosi ga se na ručno poliranje, te inspekciju da se pod mikroskopom provjeri ukoliko imaju neke nepravilnosti koje bi mogle dovesti do neželjenih grešaka u radu sata. Po završetku inspekcije dijelovi se skladište i čekaju svoj red za proizvodnju.



*Slika 23-Tokarilica [40]*

### 5.1.2. Proizvodnja ležajeva

U većini slučajeva ležajevi, prikazani na slici 24 u satnim mehanizmima su proizvedeni od kristala. Tradicionalno su se radili od rubina no danas postoje metode za proizvodnju sintetičkog safira jer se može osigurati da imaju minimalnu količinu nepravilnosti u strukturi. Materijali s manjom količinom nepravilnosti u strukturi imaju veću tvrdoću što je izrazito važno kod ležajeva jer se oni ne bi smjeli značajno trošiti. Ležajevi su jako glatki i imaju rupu u centru u koju se polaže zupčanik. Ovisno o njihovoj poziciji u mehanizmu ponekad ih se sklapa od 2 dijela od kojih jedan blokira vertikalno gibanje zupčanika a drugi horizontalno. Ležajevi se oblikuju po traženim parametrima, kružnog su oblika imaju provrt izbušen u sredini i konus u obliku zdjele koji osigurava da ulje ostane na toj poziciji, te da dio koji je u kontaktu sa ležajem bude dovoljno podmazan. Ležajevi se u mehanizam montiraju presama jer su oni nepomični element u satu. Budući da se kao ležaj koristi safir potrebno je oblikovati ih dijamantnim alatima.



Slika 24- Podmazivanje ležajeva [41]

### 5.1.3. Proizvodnja opruga

U mehaničkim satovima se koriste različite vrste opruga najznačajnije su spiralne opruge i povratne opruge različitih oblika. Glavna spiralna opruga se proizvodi od duge čelične trake pravokutnog poprečnog presjeka i spiralno se zavijaju slično kao opruge u metrima no znatno manje. Njihov zadatak je nakon navijanja vratiti se u prvobitni položaj i tako pokretati cijeli mehanizam. Spiralna opruga koja je u kontaktu sa čekićem ima sličan oblik no znatno je manja podsjeća na vlas kose i ona se mora slobodno okretati iz jednog smjera u drugi. Postoje različite druge povratne opruge koje osiguravaju rad drugim elementima one se dobivaju od žica različitih profila koje se prešom savijaju na željeni kut i po prestanku djelovanja sile na njih se uvijek nastoje vratiti na početni položaj.

### 5.1.4. Proizvodnja nosivih elemenata.

Nosivi elementi predstavljaju dijelove koji drže sve druge elemente na traženom mjestu. U njih se slažu ležajevi i oni onemogućuju neželjene pokrete pojedinih dijelova mehanizma. Svaki pojedini nosivi element ima različite dimenzije i proizvode se na različitim prešama, čekićima i glodalicama. Noseći elementi često imaju površinsku obradu koja im osigurava lijep izgled jer se često ti dijelovi vide kroz poleđinu mehaničkih satova [8].

## 5.2. Proizvodnja kućišta

Kućišta sata, prikazano na slici 25 čuva mehanizam od vanjskih udaraca i sprječava da vlaga dođe u kontakt s njim. Svaka tvrtka ima svoj način proizvodnje kućišta ovisno o modelu. Neke tvrtke kućišta lijevaju pa ih naknadno obrađuju neke ih slažu od više različitih elemenata. Pojedina

kućišta znaju biti kompletno izrađena ručno, no većinski se izrađuju na različitim CNC glodalicama, te naknadno ručno poliraju i dovršavaju kako bi imali izgled dostojan mehanizma koji štite. Poledina kućišta se mora moći skinuti kako bi bilo moguće vađenje i servisiranje mehanizma. Poledine se proizvode od istog materijala kao i kućište, te se ponekad stavlja staklo kako bi se mogao vidjeti mehanizam kroz njih. Kako bi poledina bila čvrsto vezana sa kućištem, njoj se često urezuje navoj kako bi se jednostavno montirala. Rjeđe korištena metoda montiranja poledine je upotrebom pritiska gdje poledinu i kućište vezuje gumena brtva.



*Slika 25-Proizvodnja kućišta za satove [42]*

### **5.3. Proizvodnja brojčanika sata**

Pri proizvodnji brojčanika postoje različite metode koje se razlikuju po izgledu, vremenu potrebnom za proizvodnju i cijeni. Brojčanik sata je stvar u koju nositelj gleda svakodnevno i potrebno ga je napraviti sa što većom točnošću. Sam element na koji se dodaje boja se dobiva prešanjem i dalje se nadodaju detalji tiskanjem, lakiranjem, emajliranjem i graviranjem [9].

#### **5.3.1. Tiskanje brojčanika**

Tiskani brojčanici, prikazani na slici 26(A) su najčešće korišteni jer ne zahtijevaju puno vremena i financijski predstavljaju najmanji trošak proizvođaču. Danas se koristi proces tiskanja vrlo sličan pečatiranju, no u ovom slučaju se kao baza koristi silikonska guma koja je izrazito mekana i ima teksturu poput balona napunjenog vodom. Ta baza se naslanja na tintu s željenim dizajnom te potom utiskuje na brojčanik i ostavlja željeni trag. U prošlosti su se brojčanici ručno bojali što je rezultiralo time da su svi brojčanici bili različiti, te se sada mnogo jednostavnije izrađuju pravilniji brojčanici.

### 5.3.2. Lakiranje broččanika

Lakirani broččanici, prikazani na slici 26(B) su rijetki i izrazito upadljivi, jer se lak sprejom nanosi u više slojeva i tako se dobiva dubina, odsjaj i efekt sjene. Ova metoda se može izvršavati strojno ili ručno, no bez obzira na izvršitelja to je dugotrajan i relativno skup proces.

### 5.3.3. Emajliranje broččanika

Emajlirani broččanici, prikazani na slici 26(C) su izrazito rijetki jer je proces emajliranja kompliciran. Kada ga se obavlja sa strojevima u kontroliranim uvjetima i do 40% broččanika otpada jer ne zadovoljavaju uvijete. Naime proces se sastoji od nabave staklastog praha koji može biti bijeli ili u boji, te se njega pospe po brončanoj bazi broččanika. Nakon posipanje stavlja se u peć gdje se pažljivo zagrijava. Kako bi se osiguralo da se broččanik ne savija dodaje se stražnji sloj koji izjednačava opterećenje. Po potrebi se stavlja i do 6 slojeva, te se naknadno tiskanjem nanose detalji. Zbog teže izvedbe emajliranje se koristi isključivo na skupocjenim modelima satova, no boja koja se dobije na broččaniku dugotrajno ostaje kvalitetna [10].

### 5.3.4. Graviranje broččanika (Guilloche)

Graviranje broččanika, prikazano na slici 26(D) predstavlja najkompleksniju metodu izrade broččanika. Kod ove metode koristi se specijalna vrsta tokarilice na kojoj se broččanik može rotirati dok nož urezuje površinu u niz specifičnih ponavljajućih oblika. Ponekad se koristi i modificirana tokarilica koja određene oblike proizvodi bez značajnih poteškoća, no upravo najkompliciraniji oblici su najtraženiji, a oni se ne mogu izraditi nikako drugačije nego ručno. Po završetku graviranja se pojedini broččanici uređuju prozirnom bojom. Ova metoda koristi se za najskuplje satove zbog dugotrajnosti, te svaka nepravilnost zahtjeva od proizvođača rad od početka [11].



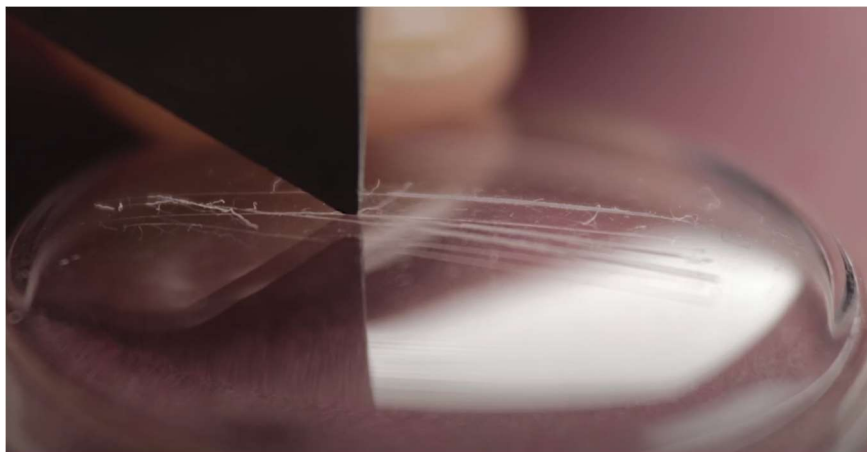
Slika 26- Usporedba broččanika kod raznih satova [43]

## 5.4. Proizvodnja stakla

Stakla na satu služe kao zaštita brojčaniku i mehanizmu, te omogućuju jednostavno očitavanje vremena. Najrasprostranjeniji su plastika, mineralno staklo i safir [12].

### 5.4.1. Proizvodnja plastičnog stakla

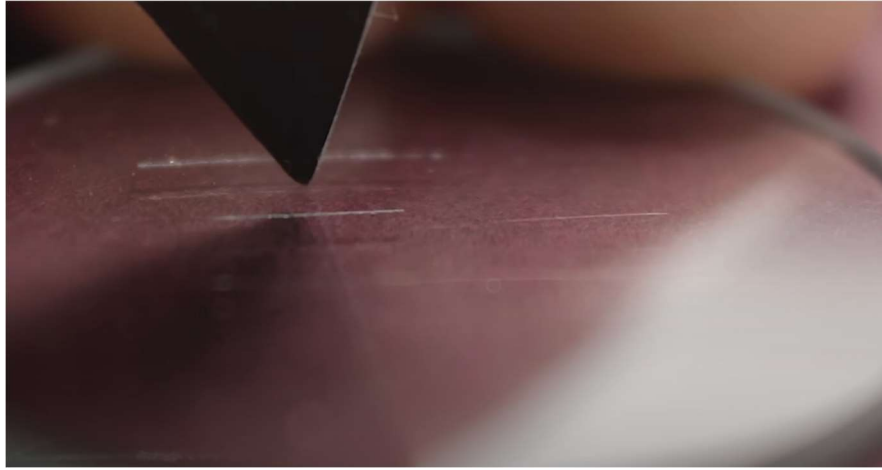
Plastika je češće viđena na starijim satovima. Ona je proizvođačima omogućavala jednostavnu proizvodnju, a kada se plastika ogrebe može ju se jednostavno polirati ili zamijeniti. Uz sve te prednosti plastika će također imati više plastične deformacije nego mineralni kristal ili safir. Plastično staklo se najčešće proizvodilo lijevanjem u kalupe. Nakon lijevanja viškovi bi se odstranili i staklo bi bilo spremno za ugradnju. Prednosti plastike u odnosu na ostala stakla su niska cijena, te mogućnost poliranja ogrebotina u slučaju njihove pojave. Naravno plastika ima najmanju tvrdoću od 3 materijala, što je vidljivo na slici 27.



*Slika 27-Plastično staklo [44]*

### 5.4.2. Proizvodnja mineralnog stakla

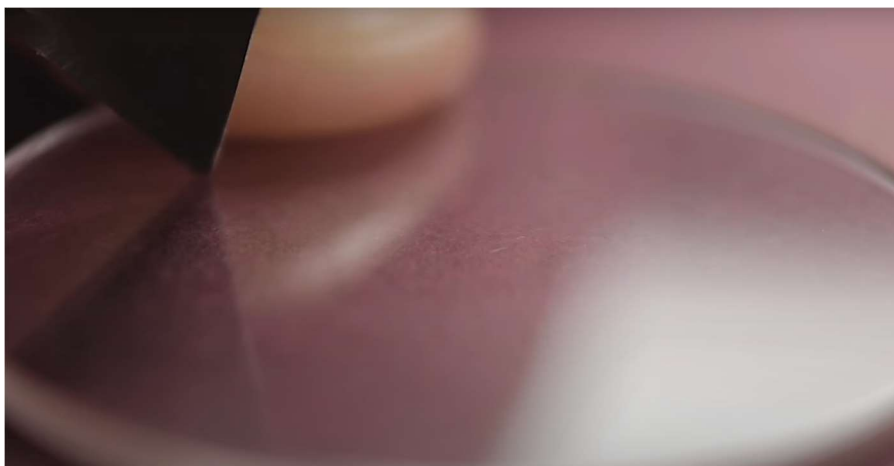
Mineralno staklo je znatno tvrđe od plastike, što je vidljivo na slici 28, no i znatno krhkije. Mineralno staklo nakon što se ogrebe je znatno teže popraviti kod kuće i često se šalje proizvođaču ili se samo zamjeni. Budući da ne podnosi plastične deformacije koriste se specijalne stege za montiranje stakla u sat. Nakon proizvodnje stakla ono se tiska u oblik cilindra, te naknadno polira finim strojnim brusom koji osigurava glatkoću površine. Nakon poliranja traženi oblik stakla se dobije rezanjem na tokarilici koja za skidanje materijala koristi brusnu ploču. Mineralno staklo je tretirano na visokoj temperaturi kako bi mu se povećala tvrdoća.



*Slika 28-Mineralno staklo [44]*

#### 5.4.3. Proizvodnja safirnog stakla

Safir se koristi u najskupljim satovima jer on od sva tri ima najbolja svojstva. Safir ne podnosi plastičnu deformaciju, te u slučaju loma krhko se lomi. Ta dva podatka ne stvaraju značajan problem budući da je safir drugi najtvrdi materijal odmah poslije dijamanta, što znači da ga je gotovo nemoguće ogrebat (vidi sliku 29). Safir je izrazito zahtjevan materijal za proizvodnju. U laboratorijima ga se mjesecima proizvodi i kada je napokon spreman za obradu prvo ga se reže u pločice. Nakon što su pločice spremne šalje ga se na daljnju obradu na glodalicama ili brusilicama koje imaju dijamantne alate. Nakon proizvodnje i rezanja safir nema čistoću očekivanu od stakla na satu, te ga se nosi na poliranje dijamantnim brusnim kamenjem. Nakon cijele obrade safir je spreman za postavljanje u sat i to se vrši prešom kao i za mineralno staklo.

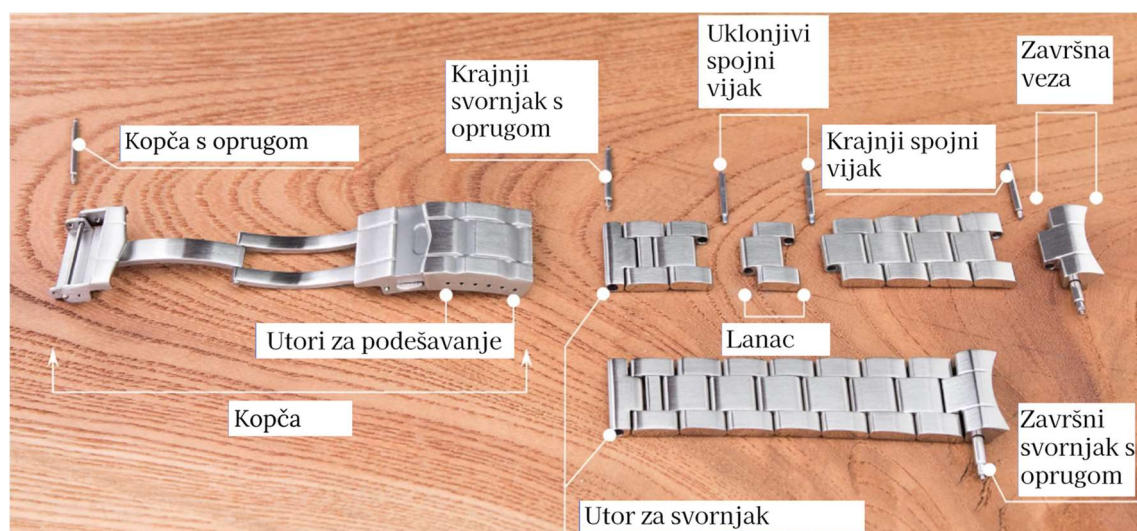


*Slika 29- Safirno staklo [44]*

## 5.5. Proizvodnja remena

### 5.5.1. Proizvodnja metalnih remena

Metalni remeni se proizvode od različitih metalnih materijala kao npr. čelik, zlato, titan i drugi. Metalni remeni se sastoje od niza dijelova međusobno povezanih metalnim profilima, prikazanim na slici 30. Metalni profili za povezivanje su najčešće u obliku slova L i proizvode se prešanjem. Za povezati 2 dijela remena potrebno je koristiti jedan L profil ili svornjake s oprugom. Dijelovi remena se dobiju izrezivanjem, te potom oblikuju hidrauličkim prešama. Nakon oblikovanja vrši se bušenje rupa koje omogućuje stavljanje svornjaka ili umetanje L profila. Potom se vrši poliranje po potrebi. Po završetku svih navedenih operacija remen je spreman za sklapanje. Po završetku sklapanja remenu se dodaje kopča koja omogućuje stezanje sata za ruku. Nakon što je remen u potpunosti složen vrši se završno poliranje [13].



Slika 30- Dijelovi metalnog remena [45]

### 5.5.2. Proizvodnja kožnih remena

Kožni remeni se proizvode kao i metalni, u mnogo različitih boja tipova i materijala (vidi sliku 31). U većini slučajeva za proizvodnju je potreban materijal koji će ispunjavati remen (koža ili guma), koža s vanjske strane remena sa traženom teksturom i uzorkom, unutarnja koža koja će biti mekša i pogodnija za kontakt s ljudskom kožom. Vanjski i unutarnji komad moraju biti odrezani nešto šire nego unutarnja koža no unutarnja koža je značajno deblja od vanjske. Nakon što se sve pripremi počinje šivanje remena koje se vrši milimetar dalje od ruba unutarnje kože. Nakon što je cijeli dio remena sašiven bruse mu se rubovi kako bi bili glatki, te se na kraju stavlja kopča [14].

### 5.5.3. Proizvodnja NATO remena

NATO remenima je potrebna izrazito velika sila za pucanje napravljani su za uporabu u vanjskom prostoru, za satove koje bi koristila vojska, farmeri i mnogi drugi radnici. Remen se proizvodi od velikog broja konaca na spravi za tkanje. Tkalački stan može proizvoditi beskonačno dugačke remene sve dok ima konac. Remeni dugački nekoliko metara se naknadno režu na potrebne duljine i imaju specijalne uzorke koji su specifični za svakog proizvođača (vidi sliku 31) [15].



*Slika 31- Različiti modeli metalnih, kožnih i NATO remena [46]*



## **6. VRSTE MATERIJALA**

### **6.1. Čelik**

Čelik je najrasprostranjeniji materijal u proizvodnji metalnih remena i okvira ručnog sata. Veliki broj proizvođača upotrebljava različite vrste čelika no jedan od najpoznatijih je nehrđajući 316L čelik (DIN EN 10088-3). Čelik je izrazito popularan zbog relativno niske cijena i dobrih svojstava koja dolaze s njim. Gustoća čelika se prostire bilo gdje od 7750 i 8050 kg/m<sup>3</sup>. Nalazi ga se na većini ručnih satova bez obzira na cijenu. Veliki proizvođači se često odlučuju proizvoditi svoje satove s čelicima s poboljšanim svojstvima, no s povećanjem financiranja često ga se mijenja nekim drugim elementom poput zlata, platine i titana.

### **6.2. Zlato**

Zlatno se kroz povijest uvijek upotrebljavalo pri izradi luksuznih stvari i to je vidljivo i na ručnim satovima. Zlato se često vidi na luksuznim ručnim satovima. Zlato se smatra mekim metalom zbog čega ga se rijetko koristi u satovima za treniranje plivanje i slično, a jako se često vidi na otmjenim satovima za svečane prigode. Njegova gustoća je 19320 kg/m<sup>3</sup>. Uz standardno žuto zlato (legura čistog zlata, bakra, srebra i cinka), također se koriste bijelo zlato (legura čistog zlata, nikla i cinka) i rozo zlato (legura čistog zlata i bakra).

### **6.3. Bronca**

Bronca se često izbjegava jer nije otporna na koroziju, no neki proizvođači koriste posebne legure koje sporije korodiraju. Iako je korozija loša tim satovima kroz vrijeme daje zastarjeli izgled koji je često poželjan. Gustoća bronce ovisi o njezinom sastavu no najčešće je između 7702 i 8874 kg/m<sup>3</sup>. Kao i zlato, bronca ima značajno nižu tvrdoću nego čelik. Najveći problem pri korištenju bronce je taj što bronca reagira s kožom kod značajnog broja ljudi što treba imati na umu pri kupnji. Najčešća posljedica reakcije je osip. No bronca je također problematična kod ljudi koji se jako znoje, jer znoj zbog svojeg sadržaja soli može ubrzati korodiranje bakrenog kućišta ukoliko nema nikakvu zaštitu.

#### **6.4. Nikal**

Nikal se u satovima ne koristi zasebno već se najčešće upotrebljava kao prevlaka. Kroz povijest su se kućišta često proizvodila od mjedi zbog njegove niske cijene te se taj mjed premazivao niklom kako bi se zaštitio od korozije.

#### **6.5. Silicij**

Silicij korišten u satovima nije niti metal niti nemetal nalazi se negdje između. Ima slična svojstva metalu, no omogućava mehanizmu rad bez prekomjerne količine trenja. Zbog svoje tvrdoće može ga se jednostavno oblikovati sa izrazito velikim tolerancijama. Prilikom korištenja silicija nije potrebno imati rubine niti koristiti dodatno ulje. Njegova otpornost na koroziju i magnetna polja čine veliki korak ispred drugih materijala dotad korištenih. Zbog svojih sličnosti metalu ima i dobru elastičnost što mu omogućava korištenje za izradu opruga. Iako ima izrazito velike prednosti nad korištenjem materijala trebalo je izrazito puno vremena za otkriti njegove pozitivne strane.

#### **6.6. Dijamant**

Dijamant iako najtvrdi materijal gotovo nema uporabu u mehanizmima, njegova funkcija zbog cijene dolazi kao ukras u različitim oblicima na najskupocjenijim modelima satova. Najčešće ga se stavlja kao oznake za sate ili na okvir kućišta kao ukras.

#### **6.7. Ceratanij**

Ceratanij je materijal koji je tvrtka IWC prva upotrijebila, te ga i sada koristi na svojim „pilot“ satovima. To je materijal koji se sastoji od titana i keramike. Zbog svog podrijetla omogućuje veliku otpornost na ogrebotine, te je izrazito lagan. Za razliku od same keramike materijal se može jednostavno obraditi sa CNC strojevima te naknadno grijanjem stvara na površini sloj izrazito velike tvrdoće. Također navedeni materijal se osim zbog svojih dobrih svojstava koristi i zbog svog privlačnog mat crnog izgleda.

## **6.8. Titan**

Titan svoju popularnost dobiva jer ima slična svojstva čeliku, no značajno je lakši. Naime titan ima gustoću  $4540 \text{ kg/m}^3$  što ga čini gotovo dvostruko lakšim od čelika. Ima izrazito visoku tvrdoću. Koristi ga se često na satovima koji su u cjenovnom ranku između čelika i zlata, no nerijetko ga se vidi i u najkompleksnijim modelima.

## **6.9. Mjed**

Mjed je legura bakra i cinka. Kroz povijest satova našao je svoju uporabu u različitim dijelovima kao kućište, nosivi most, zupčanik. Najrasprostranjenija legura se sastoji od 60% bakra i 40% cinka koja je žutog izgleda. Mjed nema izrazito veliku tvrdoću, no izrazito je jeftin u usporedbi s drugim materijalima i jednostavno se oblikuje što je izrazito pogodno pri ručnoj proizvodnji.

## **6.10. Guma**

Različiti oblici gume se koriste u proizvodnji ručnih satova. Danas guma ima najznačajniju ulogu kao materijal za proizvodnju remena. Guma je jednostavna za oblikovanje i dovoljno čvrsta za svakodnevnu uporabu, no najvažnije otporna je na koroziju. Često se viđa na pametnim satovima i satovima za ronioce, no i na onim najjeftinijim kvarcnim satovima koji se fokusiraju na funkcionalnost više nego na cijenu.

## **6.11. Ugljična vlakna**

Ugljična vlakna se koriste u izrazito skupim satovima. Otporna su na koroziju, te izrazito lagana. No njihova kompleksnost izrade im ne omogućava široku primjenu. Najčešće su korištena u kućištima i često kao baza za proizvodnju „kostur“ brojčanika, koji vlasniku omogućuje pogled u unutrašnjost sata.

## **6.12. Rubini**

Rubini imaju izrazito veliku tvrdoću i zbog toga svoju funkciju su našli u ležajevima od satova. Budući da su kvalitetni veliki rubini rijetki, danas ih se gotovo prestalo upotrebljavati, no još uvijek

se mogu pronaći u mnogim starijim modelima. Standardni broj rubina u ručnim satovima je 17 no ovisno o kompleksnosti mehanizma on može biti i značajno veći.

### **6.13. Safir**

Sintetički safir svoju funkciju u satovima nalazi kao nasljednik rubina. Safir ima tvrdoću jednaku rubinu, no budući da ga se može proizvesti u laboratorijima u velikim količinama i u kontroliranim uvjetima omogućava proizvođačima korištenje gotovo istog materijala no sa znatno manje nepravilnosti u strukturi nego rubin.

### **6.14. Keramika**

Keramika svoju upotrebu u proizvodnji satova nalazi u proizvodnji ležajeva koji ne zahtijevaju podmazivanje. Najčešće se koriste za ležajeve na automatskom punjenju za sat jer se taj element treba rotirati dok se sat nosi bez puno trenja. Iako rijetko keramika se zna koristiti spojena sa nekim drugim elementima za proizvodnju kućišta sata (Omega Swatch ili Hublot). Najčešće korištena tehnička keramika je cirkonijev dioksid.

### **6.15. Kvarc**

Kvarc je izrazito tvrd materijal, no svoju upotrebu najčešće nalazi kao glavni element za rad kvarcnog sata. On je mineral koji dobro podnosi toplinu, pritisak i razne kemikalije, te se može pronaći na raznim mjestima u prirodi. Danas se često koriste sintetski proizvedeni kvarcni kristali, jer prirodni imaju veliku količinu nepravilnosti i pukotina u svojoj strukturi zbog čega ih je teško koristiti za masovnu proizvodnju. Njegova specifična svojstva mu omogućavaju da prilikom doticaja sa električitetom počne vibrirati i obratno. Danas se rjeđe koristi prirodni kvarc jer se u laboratorijima proizvode sintetički komadi kvarca koji većinom imaju strukturu s manje nepravilnosti od prirodnog kvarca [16].

### **6.16. Plastika**

Plastika se zbog svoje niske cijene i svojstava koristi u proizvodnji nekvalitetnih satova kao što su satovi za djecu. Njezina jednostavnost za oblikovanje omogućuje proizvođačima jednostavnu masovnu proizvodnju satova koji dolaze na tržište sa ciljem uvođenja mlađih generacija u svijet

ručnih satova. Uz navedene stvari plastika je također imala široku uporabu pri proizvodnji stakla za sat. Ukoliko dođe do pucanja stakla, plastično staklo većinu udarca plastično podnese i pukotina ostane u vidu loma duž cijelog elementa.

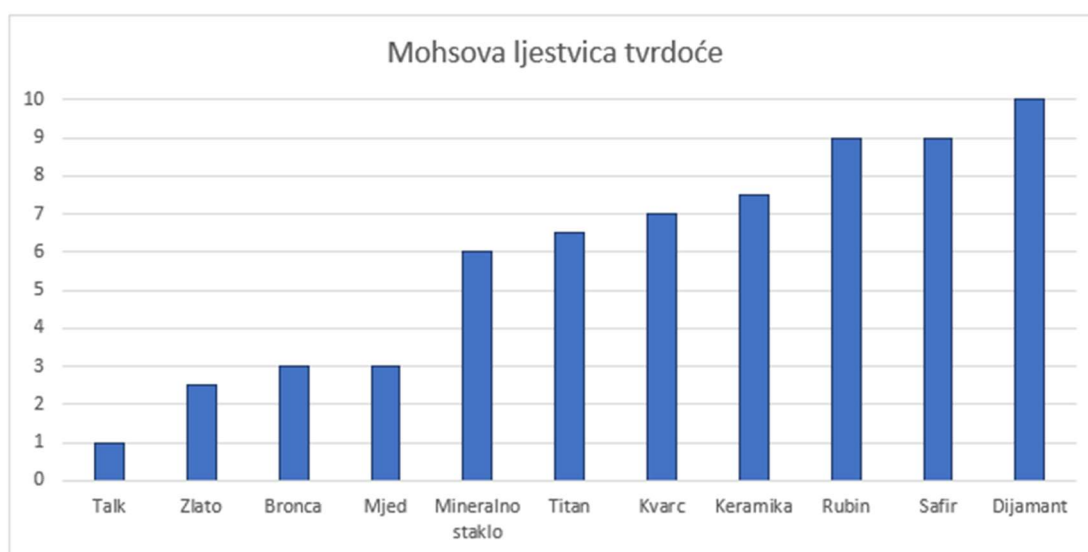
### 6.17. Mineralno staklo

Mineralno staklo se u ručnim satovima koristi pri proizvodnji stakla za sat i pozadinskog stakla. Njegova tvrdoća je znatno veća od plastike no moguće ga je ogrebatu u dodiru s različitim noževima i metalnim elementima. Ukoliko dođe do pucanja mineralno staklo se krhko raspada u veliki broj sitnih komada.

### 6.18. Safirno staklo

Safir se u proizvodnji satova koristi pri proizvodnji prednjeg i stražnjeg stakla. Safir ima izrazito veliku tvrdoću. Nekada se koristio prirodni safir, no sintetički danas omogućava jednaka ponekad i bolja svojstva a može ga se proizvesti u laboratoriju. Popularan je izbor za stakla jer ga je izrazito teško ogrebatu svakodnevnim predmetima, no u slučaju loma razbija se u veliki broj sitnih komada.

Tvrdoće svih navedenih materijala uspoređene su i prikazane na dijagramu 1 po Mohsovoj ljestvici tvrdoće. Mohsova ljestvica uspoređuje tvrdoću materijala u usporedbi s materijalima poput talka koji je na ljestvici broj 1 ili dijamanta na vrhu sa brojem 10.



Dijagram 1- Usporedba tvrdoće navedenih materijala na Mohsovoj ljestvici

## 7. TROŠENJE MATERIJALA I NJIHOVA ZAŠTITA

Niti jedan uređaj ne može konstantno raditi bez da troši. Kako bi se uređajima produljio vijek trajanja i omogućio čim dulji rad u traženim uvjetima prvo se mora otkriti koji su problemi koje je potrebno otkloniti, te se naknadno smišljaju novi načini rješavanja istih. Iako ima niz standardnih rješenja za već poznate probleme mnoge firme u svojim modelima pokušavaju biti inovativni. U ručnim satovima najčešći problemi dolaze zbog trenja, nepažnje vlasnika i vremenskih uvjeta.

### 7.1. Trenje materijala

Trenje se pojavljuje između dvaju elemenata koji su u dodiru. Ono je sila koja se javlja u vidu otpora prilikom klizanja između dva materijala. Bitno je predvidjeti kakve posljedice trenje ima na rad mehanizma, jer kada bi se zanemarilo imali bi značajne vremenske gubitke na dnevnoj razini. U ručnim satovima to trenje se javlja na mnogo mjesta jer je sam mehanički sat napravljen od velikog broja dijelova, nekih pomičnih nekih nepomičnih. Problem s trenjem se u dosta slučajeva rješava podmazivanjem dijelova različitim uljima ili mastima različitih gustoća najčešće marke Moebius.

#### 7.1.1. Trenje na ležajevima

Trenje na ležajevima je najznačajnije u radu sata jer se svaki zupčanik mora rotirati kontinuirano bez velikih problema. Kada bi trenje između ležaja i osovine zupčanika bilo preveliko on bi svaki dan gubio i po nekoliko minuta vremena. Nekada su ležajevi bili od istog materijala kao i osovine zupčanika, no brzo je postalo jasno da to nije optimalan način rada. Kako bi se smanjilo trenje počelo se koristiti ulje za podmazivanje u izrazito malim količinama, prikazano na slici 32. Kada ni samo ulje nije dozvoljavalo dovoljno dobar rad za izradu zupčanika se odlučilo koristiti puno tvrdi materijal. U toj situaciji bio je najpopularniji rubin, jer on ima jednu od najvećih tvrdoća od svih poznatih materijala. Rubini bi se oblikovali u oblik cilindra s rupom u sredini dovoljnom da stane osovina zupčanika. Kako bi se osiguralo da ulje uvijek ispunjava prostor između rubina i osovine u rubine su se počele urezivati rupe u obliku zdjele u koje se stavi ulje i one mu zbog površinskog trenja ne dozvoljavaju da nestane s pozicije gdje je stavljen. S vremenom se tehnologija razvila i omogućila proizvodnju novih sintetičkih materijala. Kada je postalo moguće napraviti materijal poput sintetičkog safira koji ima jednaku tvrdoću kao prirodni rubin, a može ga se proizvoditi u laboratorijima. Bilo je jednostavno pretpostaviti da će svi proizvođači preći na tu

opciju. Naime rubini iako se gotovo savršeni kristali i dalje u određenim slučajevima imaju nepravilnosti u strukturi što im smanjuje kvalitetu prilikom rada. Upravo ta prisutnost nepravilnosti je ono što čini sintetski safir povoljnijim za upotrebu. Sintetski safir se može proizvesti tako da ima gotovo zanemarivu količinu linijskih, točkastih, plošnih i prostornih nesavršenosti. Upotrebom svih navedenih materijala danas se dolazi najbliže kontinuiranom i „glatkom“ radu mehanizma. Iako navedene metode čine poveznicu između ležaja i zupčanika gotovo savršenom i dalje nastavlja potraga za nekom boljom alternativom.



*Slika 32- Stavljanje ulja na ležaj sata [47]*

#### 7.1.2. Trenje zupčanika u kontaktu

U većini mehaničkih satova svi zupčanici su proizvedeni od istog materijala s izuzetkom zupčanika na kućištu glavne opruge koji zna biti drugačiji. Korištenje dvaju istih materijala u kontaktu (vidi sliku 33) rezultira postepenim trošenjem oba elementa podjednako što dugoročno omogućava manje trošenje. Kombinacija dvaju različitih materijala bi bila pozitivna u nekim situacijama no kada bi se koristio mekši materijal za zupce moglo bi doći do njihovog loma što bi moglo rezultirati negativnim posljedicama. Zupčanici sami po sebi nisu prekriveni sredstvom za podmazivanje, već imaju predviđen rok trajanja i mijenjaju se po potrebi.



*Slika 33- Zupčanici u kontaktu kod satnog mehanizma [48]*

### 7.1.3. Trenje između balansne opruge i čekića

Budući da balansna opruga svakim svojim pokretom mijenja položaj čekića na kontaktnoj površini se stvara nepoželjna količina trenja. Stražnji kraj čekića je napravljen u obliku viljuške i kako bi se smanjilo trošenje cilindrični dio balansne opruge se proizvodi od sintetičkog safira, te se mali sloj ulja stavlja na kontaktnu površinu.

### 7.1.4. Trenje na čekiću i kotaču za bijeg

Prilikom svakog okreta balansne opruge jedna strana čekića dozvoljava kretanje kotaču za bijeg, dok druga strana brzo to gibanje zaustavlja kao što je prikazano na slici 34. Prilikom svake promjene smjera balansne opruge dolazi do klizanja između čekića i kotača za bijeg, te se tamo stvara trenje. Kako bi se osigurala dugotrajnost čekića vrhovi koji dolaze u kontakt sa kotačem za bijeg su napravljeni od sintetičkog safira. Kako bi se navedeni elementi dodatno zaštitili od trenja stavlja se mala količina ulja ili masti na površinu čekića koja dolazi u kontakt sa kotačem za bijeg, te se mehanizam pokrene za jednu rotaciju kotača za bijeg kako bi se ulje ili mast raspodijelili po čitavom kotaču za bijeg. U ovoj situaciji se nekada koristi mast zbog toga što ovaj sklop nema nikakve elemente koji bi zadržali ulje na dodirnim površinama kao kod ležaja [17].

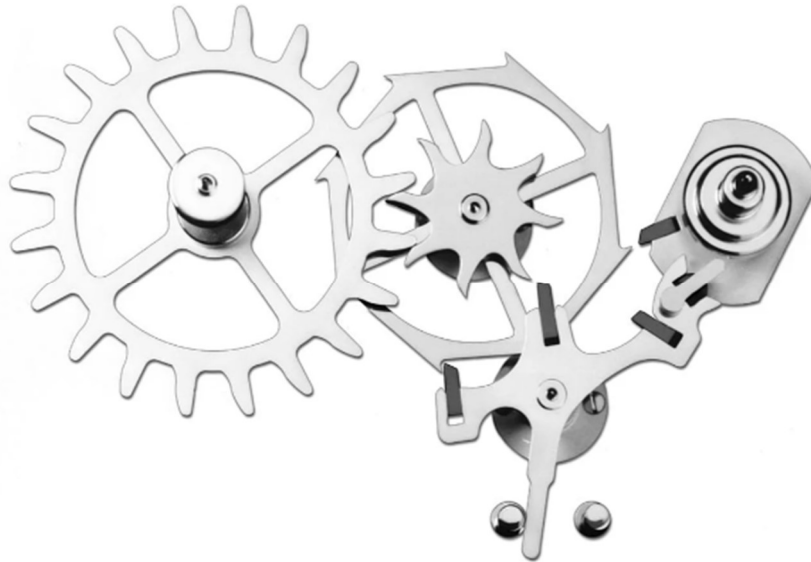


Slika 34- Sustav za bijeg (eng. Lever Escapement) [49]

Naravno osim stavljanja ulja, mehanizme se može poboljšati i mehaničkom preradom. George Daniels (proizvođač mehaničkih satova) je nakon kvarcne krize htio dokazati kako mehanički satovi mogu nadjačati kvarcne. Svoju ideju vidio je u preradi sustava za bijeg (vidi sliku 35). Klasični spoj između čekića i kotača za bijeg imao je previše trenja i smatrao je da ga se može napraviti puno bolje. Nakon godina rada uspio je napraviti sistem koji se sastoji od kotača za bijeg sa dva seta zubaca i čekića koji umjesto dva kristala ima tri, te se jedan dodatan kristal nalazi



direktno na balansnoj opruzi. Svakim prolazom balansne opruge čekić otpušta zub kotača za bijeg, on udara malom silom u jedan od kristala na čekiću, sklizne s njega i ponovno udari u drugi kristal ublaženom silom i tamo se zaustavlja sve dok balansna opruga ne pokrene cijeli sustav u drugom smjeru. Ovaj stil ublaživanja udaraca vidjela je kompanija Omega i odlučila se udružiti sa Danielsom, te taj mehanizam koriste i danas u gotovo svim svojim skupocjenim satovima. Ovaj mehanizam omogućava značajno dulji vijek trajanja sata bez da ga se servisira i potrebno je korištenje manje ili gotovo ništa ulja na tom elementu.



*Slika 35- Koaksijalni sustav za bijeg (eng. Co-Axial Escapement) [49]*

## **7.2. Trošenje zbog nepažnje**

Prilikom korištenja ručnih satova javljaju se mnogi problemi koji mogu proizaći zbog korištenja satova na mjestima za koja oni nisu opremljeni ili se čak slučajno mogu oštetiti. Kako bi se osigurali protiv nepoželjnih grešaka važno je prije nabavljanja ručnog sata znati neke od mogućih grešaka pri korištenju satova.

### **7.2.1. Ogrobotine**

Ogrobotine mogu nastati na svim elementima sata, te ih se često viđa na metalnim remenima, kućištu i staklima. Iako su ti elementi napravljeni da čuvaju mehanizam od vanjskih utjecaja neke ogrobotine je jednostavnije maknuti nego druge. Ogrobotine na metalnom remenu najčešće nastaju zbog trenja između svih pojedinih dijelova od kojeg se remen sastoji i često su jako male te ih se čišćenjem brušenjem i poliranjem većinom jako lako dobije izgubljeni izgled.

Ogrebotine na kućištu se najčešće nalaze na prednjoj strani kućišta i često u prostoru oko krune sata zbog stalnog mijenjanja položaja krune. Najčešće su to male ogrebotine no satovi znaju ponekad doći u kontakt s okolinom i biti udareni čime se znaju pojaviti nešto dublje ogrebotine. Može ih se većinski ukloniti čišćenjem, brušenjem i poliranjem, no zbog nekih velikih ogrebotina treba biti pažljiv kako se ne bi skinuo prevelik sloj sa površine, jer bi to moglo smanjiti strukturu cijelog sata. Ogrebotine na kućištu se često znaju ostaviti kakve jesu osim ako su izrazito velike, jer velika količina ljudi voli takav izgled i ogrebotine povezuju sa nekim događanjima u svome životu. Većina ogrebotina na kućištu ne smanjuje značajno strukturu sata.

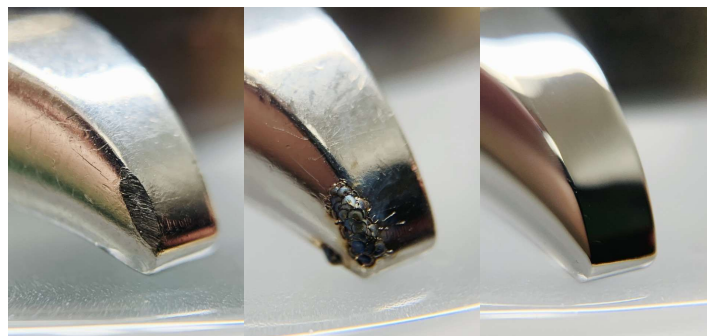
Ogrebotine stakla spadaju u najčešći tip ogrebotina (vidi sliku 36). Staklo je na rubu naše ruke i često podnosi razne udarce ili klizanja. Ogrebotine na staklu ovise i o vrsti stakla koje se koristi. Ako se na satu nalazi plastično staklo često ga je moguće ogrebat i samim prolazom nokta. To znači da će se plastično staklo brzo nakupiti puno ogrebotina i teško će biti očitati vrijeme. Iako se nađe veliki broj ogrebotina plastika je dobra jer se ogrebotine s nje mogu otkloniti u kući većinom, a i ako je količina ogrebotina previše zamjensko staklo nije skupo. Mineralna stakla s druge strane su značajno tvrđa no ukoliko dođu u kontakt s nekim metalom ili kamenom počinju se pojavljivati ogrebotine, no značajno ih je teže dobiti nego na plastičnom staklu. Većinom ogrebotine na mineralnom staklu ne predstavljaju problem što se tiče očitavanja vremena no pametno ga je polirati ili zamijeniti zbog toga što je mineralno staklo krhko i pukotine se mogu proširiti te može doći do pucanja stakla i upadanja komadića stakla u mehanizam. Proizvođači proizvode različite vrste mineralnog stakla trudeći se poboljšati im tvrdoću, no i dalje treba biti osobito pažljiv. Treća vrsta stakla je safirno staklo. Safir ima najveću tvrdoću od sva tri navedena elementa i iznimno ga je teško ogrebat, no i dalje postoje izuzetci. Kada se safirno staklo ogrebe često se ili ostavlja tako ili mijenja kako se ne bi smrskalo. Popravak safirnog stakla rijetko dolazi u obzir jer za samo brušenje i poliranje potrebno je koristiti dijamantne alate jer su oni jedini dovoljno tvrdi za obradu safira.



*Slika 36- Oštećeno staklo i okvir sata.[50]*

### 7.2.2. Udarci

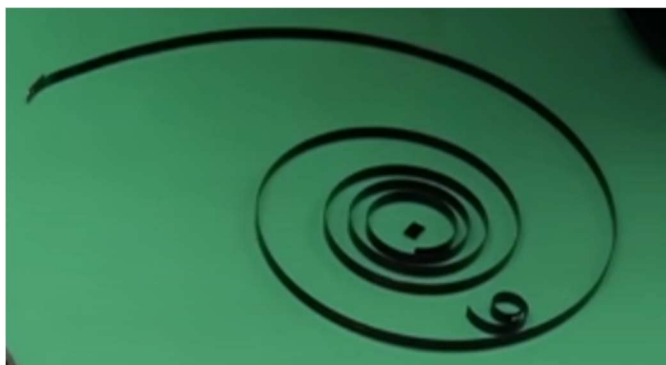
Udarci rukom u stvari oko nas se kod nekih ljudi događaju svakodnevno. Kada je sat na ruci on prima veliku količinu tih udaraca ili jednostavno znaju pasti na pod. Prilikom svakog udarca sata može doći do pojave pukotina. Ako se pukotina pojavi na kućištu ili remenu moguće ju je popraviti, no ukoliko je na staklu potrebno je rastaviti sat i servisirati ga kako bi se osiguralo da u mehanizam ne uđu nikakvi stini komadi stakla. Kada dođe do loma na remenu ako se radi o metalnom remenu dijelovi se mogu odvojiti i stavi se novi par koji izgleda isto kao i prijašnji, no ako je lom na kožnom ili NATO remenu najčešće je potrebno kupiti novi što rijetko predstavlja problem jer su ti tipovi remena znatno jeftiniji od metalnog remena. Ukoliko se pukotina pojavi na kućištu nju je ovisno o kvaliteti sata moguće popraviti. Ako je sat niske cijene često je jednostavnije uzeti novi sat ili novo kućište. Pukotine na kućištu se popravljaju tako što se zavarivanjem nadodaje dio materijala koji je otkinut te se potom taj dio brusi i polira kako bi sat izgledao kao nov kao što je prikazano na slici 37.



*Slika 37- Reparacija kućišta [51]*

### 7.2.3. Starenje materijala

Starenje materijala može biti vidljivo na svim elementima sata. Najveći problem s prolaskom vremena u satovima je zamor materijala jer kao i u mnogim drugim industrijama elemente povremeno treba mijenjati jer njihova svojstva s vremenom oslabe. Zamor materijala je najvidljiviji na spiralnoj opruzi sata budući da je ona kroz povijest najčešće trebala biti zamijenjena. Spiralna opruga se na većini ručnih satova mora naviti jednom i nakon toga ima energiju za pokretati sat 2 puna dana, te kroz dugi niz godina upotrebe zbog stalne promjene njezinog oblika i sila u njoj, dolazi do gubitaka njezinih svojstava kao što su elastičnost, te zna doći do loma, kao na slici 38, zbog kojeg sam sat automatski gubi svoju funkcionalnost. Naravno sami lomovi spiralne opruge su se često javljali zbog pretjeranog zatezanja, no to je moguće napraviti samo na mehaničkim satovima jer kod automatskih satova pojavom prevelike sile na opruzi ona proklizi do trenutka kada ima dozvoljeno opterećenje.



Slika 38- Lom spiralne opruge [50]

Vrijeme također ostavlja svoj trag i na ulju koje se stavlja kao zaštita na određene elemente. Prolaskom vremena ulje također gubi svoja svojstva i u njemu se nakupe razne nečistoće i sitni metalni elementi, te ulje postane sličnije ljepilu, te zbog toga počne otežavati rad sata, zbog toga ga se mijenja svakih nekoliko godina ovisno o proizvođaču sata, i tipu mehanizma/ulja koje se koristi u mehanizmu. Ulja koja se koriste dolaze u različitim viskoznostima i zbog toga se primjenjuju za različite dijelove. Neka od ulja koja se koriste su Moebius 9010 kao na slici 39. ili 9104, 9501, 8200 i mnoga druga sredstva.



Slika 39- Ulje za podmazivanje Moebius 9010. [52]

Iako se starenje često smatra negativnim i ima negativne posljedice određeni dijelovi sata starenjem dobije sasvim novi izgled koji zna biti privlačan mnogim ljudima. Najprivlačniji tip starenja se javlja na licu sata jer ono zbog oksidacije često promjeni svoju boju kroz godine, jedan od primjera toga je Rolex Submariner, slika 40. Sama lica satova se gotovo nikada ne isplati čistiti jer im to dugoročno može smanjiti kvalitetu.



Slika 40- Starenje brojčanika kod satova [53]

### 7.3. Korozija

Korozija je nepoželjno ili nenamjerno trošenje materijala prilikom doticaja materijala s okolinom. U ručnim satovima pojavljuju se unutar mehanizma i na kućištu koje štiti mehanizam. Neki materijali su prirodno otporniji na koroziju od drugih te je zbog toga bitno pri proizvodnji birati pažljivo materijale i po potrebi ih štiti preventivnim mjerama poput lakiranja. Najčešći razlog pojave korozija na satovima je zbog nepažnje. Svi satovi imaju svoju otpornost vodi, neki se ne smiju nositi za kupanje, dok su drugi napravljeni čak i za ronjenje. Krivom uporabom može doći do prodora vode u mehanizam nakon čega se sat mora odmah nositi na popravak kako bi se smanjile posljedice.

#### 7.3.1. Korozija mehanizma

Korozija sata prikazana na slici 41 se u mehanizmu rijetko viđa budući da je cijeli mehanizam zaštićen od okolnih uvjeta kućištem i staklom. Najčešće se javlja na satovima koji nisu napravljeni za velike pritiske, kada ih se nosi plivati ili vlaga uđe u njih prilikom svakodnevnog života. Takve satove se treba spremati u kutije i izrazito paziti u blizini vode. Jedan čest način dotoka vode u mehanizam je putem krune, ukoliko ona nije skroz umetnuta u mehanizam postoji mogućnost da morska voda ili vlaga uđu kroz njezin prolaz. Najčešće vidljiva korozija je na starijim modelima satova jer se danas koristi sve više materijala otpornih na koroziju. Uz poboljšane materijale proizvođači također stavljaju gumene brtve na prostor krune i stražnji poklopac sata kako bi minimizirali dotok vlage ili vode u mehanizam.



Slika 41- Prikaz korozije na satnom mehanizmu [50]

### 7.3.2. Korozija kućišta

Korozija kućišta prikazana na slici 42 je danas dosta rijetka pojava budući da se proizvođači trude koristiti materijale koji su otporni na koroziju jer je kućište zaštita ostatka sata i mora ostati u najboljem mogućem stanju. Iako je danas rijetko stariji satovi i neki novi od bronce i dalje mogu korodirati i to se najčešće događa osobama koje se više znoje. Iz tog razloga poželjno je pažljivo birati sat koji osoba planira nositi jer korozija može reagirati u kontaktu s ljudskom kožom. Stariji satovi koji su napravljeni od korozivnih materijala bi imali premaz nekog drugog materijala poput nikla kako ne bi korodirali. Danas kada kućišta korodiraju to se najčešće stvara na spoju između stražnjeg poklopca kućišta i samog kućišta.



*Slika 42- Prikaz korozije na poleđini kućišta [54]*

Iako se danas velika količina pažnje daje kvaliteti, te proizvođači pokušavaju osmisliti nove načine zaštite satova, vlasnik je osoba koja mora najviše paziti kako bi njegov sat mogao raditi gotovo zauvijek. Izrazito je bitno u slučaju kvara javiti se uraru i servisirati sat kada je to preporučeno od proizvođača.

## 7.4. Zaštita pojedinih dijelova

### 7.4.1. Zaštita mehanizma

Funkcionalnost dijelova mehanizma se osigurava tako što se sat servisira svakih nekoliko godina, ovisno o proizvođaču i tipu mehanizma. Za određene satove se govori kako ih se nosi dok prestanu raditi jer im je kvaliteta toliko niska, te su oni toliko jeftini da je u tim situacijama jednostavnije i financijski isplativije kupiti novi, isti takav sat. Taj pristup se najčešće primjenjuje kod nekih

popularnih kineskih modela. Za razliku od tih satova proizvođači popularnih kvalitetnih satova i mehanizama kao Omega nekada navode kako je servisiranje poželjno napraviti svakih 10ak godina iako nije nužno jer će sat i bez toga moći raditi, no za osigurati da mehanizam ostane gotovo savršen više generacija općenito je dobro pratiti upute proizvođača. Neki standard za većinu mehaničkih satova je servisiranje svakih dvije do pet godina što uključuje rastavljanje mehanizma čišćenje elemenata, podmazivanje i potencijalne druge stvari ovisne o tipu sata. Osim servisiranja na satove se treba paziti prilikom svakodnevne upotrebe, jer nisu svi satovi napravljeni za istu svrhu, te ih se treba koristiti za ono što su oni namijenjeni, neki satovi su za ronjenje, za svečanosti, za svakodnevnu upotrebu i njihovi mehanizmu različito reagiraju na udarce, pritisak i druge vrste opterećenja. Na slici 43 se mogu vidjeti različiti tipovi satova koji se koriste za različite prigode i napravljeni su od različitih materijala.



*Slika 43- Različiti modeli satova [55]*

#### 7.4.2. Zaštita ostalih dijelova

Ostatak sata kao npr. remen, kućište, staklo se ne moraju nužno servisirati, no kako bi se produžio njihov vijek trajanja i njihov izgled na vlasniku sata je da ga pažljivo koristi, te povremeno počisti ukoliko je to potrebno, jer se često zna nakupiti prljavština kao na slici 44, iz takvih razloga najrobusniji remen bi bio NATO jer je izrazito čvrst i može se koristiti na različitim lokacijama, no naravno i drugi dolaze u obzir ovisno o potrebi, metalni je jako popularan zbog svog osjećaja i čvrstoće, a kožni najviše zbog svog izgleda i mekoće.



*Slika 44- Remen onečišćen kožom kroz godine [56]*

Kristali na satu se mogu polirati po potrebi ako se slučajno ogrebu no stakla na satovima su sve kvalitetnija, te ih je u slučaju korištenja safirnog stakla izrazito teško ogrebat, no u svakodnevnoj upotrebi naravno može doći do različitih izuzetaka prilikom pada ili različitih drugih udaraca. Kod safirnog stakla je najčešći događaj lom samog stakla prilikom pada koji ima izrazito neugodan izgled prikazan na slici 45.



*Slika 45- Lom stakla [57]*



## 8. ALATI ZA RAD NA SATOVIMA

Urarski zanat ima izrazito veliku količinu alata koji često mogu biti jako skupi, te se iz tih razloga rijetko isplati nabavljati alate za potrebe prosječnog čovjeka, te je značajno pristupačnije samo odnijeti sat na popravak kod urara koji svakodnevno radi na mehanizmima. Iako ne nužno ipak dobro je znati koji su sve elementi potrebni za rad na satovima u slučaju da se osoba odluči baviti i tim stvarima.

### 8.1. Povećalo i mikroskopi

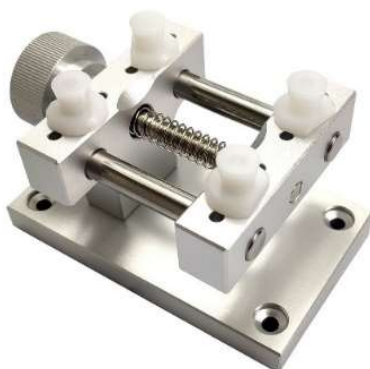
Svi dijelovi sata imaju izrazito male dimenzije te je neke poput vida gotovo nemoguće vidjeti. Iz tog razloga najčešće se koriste povećala u obliku leća, prikazana na slici 46 koja se stave na glavu i uvećavaju sliku do 5, 10 ili 20 puta. U nekim slučajevima urari se također odlučuju za električne mikroskope koji im sliku prikazuju na monitoru kako bi imali sve preglednije i ne trebali se saginjati iznad sata.



Slika 46-Fizičko povećalo i pogled na ležaj pod mikroskopom [58]

### 8.2. Stega

Stega, prikazana na slici 47 je uređaj koji se koristi za pričvršćivanje elemenata. Pri popravku sata može se primarno koristiti za stezanje kućišta ili remena kako bi elementi na kojima se vrši popravak bili stabilni. Stege za satove se često rade od mekih materijala kako bi se osiguralo da se ne ošteti element na kojemu se radi.



Slika 47- Stega [59]

### 8.3. Uređaju za otvaranje kućišta

Prilikom otvaranja kućišta često se koriste relativno jeftine metode. U većini slučajeva dovoljna je gumena loptica za odvrnuti poklopac ili ga se može otklopiti plastičnom polugom.

### 8.4. Uređaj za montiranje stakla

Staklo se na satove u većini slučajeva montira tako što ga se stavi u uređaj koji stegne staklo i time ga lagano zaobli, kućište se stavi oko stakla i kada je na točnoj poziciji sprava otpušta staklo te se ono raširi i čvrsto uhvati stjenke kućišta. Neki tipovi stakla se montiraju čistim pritiskom, no to se tako radi u rjeđim slučajevima. Prilikom montiranja stakla izrazito je bitno paziti na snagu pritezanja jer može doći do loma stakla. Preša za montiranje stakla prikazana je na slici 48.



Slika 48- Montiranje stakla [50]

### 8.5. Uređaji za čišćenje dijelova.

Za čišćenje dijelova postoje razne alternative no neke od najpopularnijih opcija su korištenje ultrazvučnog čistača i centrifugalne perilice za dijelove, prikazane na slici 49. Centrifugalne perilice se ne proizvode toliko jer ne postoji velika potražnja za njih no sastoje se od nekoliko posuda sa različitim tekućinama. Košarica sa dijelovima se uroni u jednu tekućinu i naizmjenično rotira u tekućini nekoliko minuta, kada prelazi iz jedne tekućine u drugu dok nismo dobili željeni rezultat čišćenja.



Slika 49- Centrifugalni čistač dijelova [50]

## 8.6. Dodatni alati

Pod dodatne alate spadaju različiti odvijači za pojedine vide u satu, kliješta za skidanje kazaljki sata, rukavice za prste, drvene pincete koje se koriste za držanje osjetljivih dijelova, metalne pincete, posudice za odvajanje dijelova, smjese za poliranje, raspršivači nauljivači i mnogi drugi elementi koji se u načelu biraju subjektivno po potrebi. Na slici 50 prikazani su neki od alata koji mogu biti jako korisni prilikom rada na satovima.



Slika 50- Alati za rad na satovima [60]

Svi navedeni uređaji su izrazito korisni za rad na satovima i čine rad jednostavnim, no dosta njih nije nužno, te mnoge firme proizvode setove za početnike za osobe koje se žele okušati, a još nisu spremni investirati u skupe alate.

## 9. ZAKLJUČAK

Ručni satovi, kao sofisticirani mehanizmi, ključni su ne samo za precizno mjerenje vremena, već i kao simboli tehnološkog napretka i osobnog stila. Međutim, suočavamo se s ozbiljnim izazovima kada je riječ o očuvanju njihove dugovječnosti i funkcionalnosti. Kao što smo istražili, trošenje materijala u satovima ima niz uzroka, uključujući trenje, utjecaj vanjskih čimbenika kao što je vlaga i nepažnju korisnika. Problemi koji najviše zabrinjavaju nastaju kao posljedica kontinuiranog rada mehaničkih elemenata koji su podložni trošenju. Budući da satovi, bez obzira na vrstu, imaju svoje specifične izazove, održavanje njihove funkcionalnosti zahtijeva stalno istraživanje i korištenje novih materijala i tehnologija. To uključuje upotrebu otpornijih materijala kao što su safirno staklo, keramika i titan, kao i inovativne metode podmazivanja koje smanjuju trenje i produljuju vijek trajanja komponenti. Dodatno, poboljšanja u dizajnu i tehnologiji mogu značajno smanjiti utjecaj vanjskih čimbenika i produžiti vijek trajanja satova. Ove inovacije ne samo da povećavaju trajnost, već i poboljšavaju preciznost i estetiku, ispunjavajući sve veće zahtjeve korisnika. Za dugoročno očuvanje ključno je ulaganje u istraživanje i razvoj te korištenje najnovijih tehnologija u proizvodnji satova.

## 10. LITERATURA

- [1] Andrewes, W.: „A Vhronicle Of Timekeeping“, s interneta, <https://www.scientificamerican.com/article/a-chronicle-of-timekeeping-2006-02/> 1.veljače 2006.
- [2] Seiko muzej Ginza.: „First-ever mechanical clock“, s interneta, <https://museum.seiko.co.jp/en/knowledge/MechanicalTimepieces01/> 3.travanj 2013.
- [3] Your watch hub.: „The oldest watch in the world“, s interneta, <https://www.yourwatchhub.com/watches/oldest-watch-in-the-world/> 23.listopad 2016.
- [4] Info Watchmaster.: „The quartz crisis and its significance for the watch industry“, s interneta, <https://www.watchmaster.com/en/journal/stories-en/quartz-crisis-significance-for-watch-industry>
- [5] Ciechanowski, B.: „Mechanical Watch“, s interneta, <https://ciechanow.ski/mechanical-watch/> 4.svibnja 2022.
- [6] Potter, S.: „A guide to quartz watch movements“, s interneta, <https://www.watches-of-switzerland.co.uk/calibre/inspiration/a-guide-to-quartz-watch-movements>
- [7] Engineering World.: „How luxury watches are made“, s interneta, [https://www.youtube.com/watch?v=7\\_mUI5d\\_rqw&ab\\_channel=EngineeringWorld](https://www.youtube.com/watch?v=7_mUI5d_rqw&ab_channel=EngineeringWorld) 18.lipnja 2021.
- [8] Xavier, M.: „How exactly are watch parts manufactured“, s interneta, <https://monochrome-watches.com/inside-vaucher-manufacture-fleurier-how-exactly-watch-parts-are-manufactured/> 9.srpnj 2018.
- [9] Robertson, H.: „Watch dials – how are they made, and why do they look so different?“, s interneta, <https://thewatchcollectorsclub.com/blog/watch-dials-how-are-they-made-and-why-do-they-look-so-different/> 23.travanj 2021.
- [10] Watches tv.: „Traditional Enamel Dial Manufacturing“, s interneta, <https://youtu.be/-bDtCwNo-oo> 5.travanj 2016.
- [11] Effekt Agency.: „How are Guilloche Dials Made“, s interneta, [https://www.youtube.com/watch?v=06nED\\_a9GS0&ab\\_channel=EffektAgency](https://www.youtube.com/watch?v=06nED_a9GS0&ab_channel=EffektAgency) 5.svibnja 2021.
- [12] Howkins, E.: „What are watch crystals made of“, s interneta, <https://thewatchcollectorsclub.com/blog/what-are-watch-crystals-made-of/> 22.siječanj 2021.
- [13] Gotop Watches.: „How to make stainless steel watch straps“, s interneta, [https://www.youtube.com/watch?v=\\_FwJN7tpklc&ab\\_channel=GotopWatches](https://www.youtube.com/watch?v=_FwJN7tpklc&ab_channel=GotopWatches) 8.prosinac 2020.
- [14] Hartov, O.: „This is How a Custom Leather Watch Strap is Made“, s interneta, <https://www.gearpatrol.com/watches/a35482858/how-a-custom-watch-strap-is-made/> 25.ožujka 2022.
- [15] Hodinkee.: „A visit to the Tudor Strap-Making factory“, s interneta, [https://www.youtube.com/watch?v=mAXOszUzFjM&ab\\_channel=Hodinkee](https://www.youtube.com/watch?v=mAXOszUzFjM&ab_channel=Hodinkee) 30.siječnja 2018.
- [16] Nikkei Asia.: „How to make pure, Synthetic quartz“, s interneta, <https://youtu.be/lzHqhNoyx2o> 14.ožujka 2018.

- [17] Monochrome Watches.: „Everything you need to know about the Omega Co-Axial Escapement“, s interneta, [https://www.youtube.com/watch?v=wC9gBMk7\\_ss&t=500s&ab\\_channel=MonochromeWatches](https://www.youtube.com/watch?v=wC9gBMk7_ss&t=500s&ab_channel=MonochromeWatches) 3.ožujka 2021.
- Daniels, G.: „Watchmaking“, Philip Wilson Publishers, London UK, 2021.
- Bazemore, C.: „A Guide to Common Watchmaking Materijals“, s interneta, <https://www.gearpatrol.com/watches/a546814/guide-to-watchmaking-materials/> 29.veljače 2020.
- Amir.: „The diffeterent materials use din watchmaking“, s interneta, <https://inside.code41watches.com/the-different-materials-used-in-watchmaking> 30.ožujka 2020.
- Brian Law's Woodenclocks.: „Clock 16 – Verge and Foliot“, s interneta, [https://www.youtube.com/watch?v=0P5hQpLrm-I&ab\\_channel=BrianLaw%27sWoodenclocks](https://www.youtube.com/watch?v=0P5hQpLrm-I&ab_channel=BrianLaw%27sWoodenclocks) 26.lipnja 2013.
- Ken Kuo.: „Verge Escapement“, s interneta, [https://www.youtube.com/watch?v=UhFPb-ZZTyI&ab\\_channel=KenKuo](https://www.youtube.com/watch?v=UhFPb-ZZTyI&ab_channel=KenKuo) 25.prosinca 2013.
- [18] <https://maxpolyakov.com/brief-history-of-the-origins-of-navigation/>
- [19] <https://orangeseal.us/blogs/general-blog/ancient-hydraulics>
- [20] <https://www.spindlerantiques.com/decorations/large-antique-english-bobbin-one-hour-hourglass>
- [21] <https://www.quora.com/Which-is-the-first-watch-in-the-world>
- [22] <https://www.vostok-watches24.com/catalog/teile-f-r-schiffsuhren-vostok-5chm/575/>
- [23] <https://timeandtidewatches.com/jlcs-master-compressor-chronograph-ceramic-is-the-definition-of-tacticool/>
- [24] <https://www.jauch.com/blog/en/tuning-fork-crystal-frequency-32768-khz/>
- [25] <https://www.alange-soehne.com/eu-en/timepieces/zeitwerk/zeitwerk-minute-repeater>
- [26] <https://pocketwatchdatabase.com/reference/mainspring-barrels-going-barrel-safety-barrel-motor-barrel>
- [27] <https://blog.pocketwatchdatabase.com/2021/02/11/video-elgins-patented-recoiling-click-in-action/>
- [28] Daniels, G.: „Watchmaking“, Philip Wilson Publishers, London UK, 2021.
- [29] <https://www.buzzufy.com/blog/2019/06/21/compensating-bi-metallic-balance-screw-balance/>
- [30] [https://evergreenparts.de/Pallet-fork\\_10](https://evergreenparts.de/Pallet-fork_10)
- [31] <https://www.breguet.com/en/history/inventions/escape-wheel-and-lever-silicon>
- [32] <https://itsfourclock.wordpress.com/2018/09/14/automatic-watch-balance/>
- [33] <https://unsplash.com/photos/gold-and-silver-studded-accessory-RZSrQJhkeg>

- [34] <https://donghopoljot.com/kham-pha-xem-dong-ho-nga-co-bao-nhieu-chan-kinh/>
- [35] <https://monochrome-watches.com/spotlight-on-young-talents-theo-auffret-tourbillon-in-paris-subscription-watch-review-price/>
- [36] <https://www.alange-soehne.com/eu-en/timepieces/lange-1/lange-1-perpetual-calendar>
- [37] <https://rubberb.com/blog/what-is-a-tourbillon-watch-and-how-do-they-work/>
- [38] <https://www.fratellowatches.com/introducing-the-vpc-type-37hw/>
- [39] [https://youtu.be/7\\_mUI5d\\_rqw?si=QRzorMOp9WTDAAPJ](https://youtu.be/7_mUI5d_rqw?si=QRzorMOp9WTDAAPJ)
- [40] <https://www.youtube.com/watch?v=QjPMzxJB46M>
- [41] <https://www.timewornwatches.co.uk/pocket-watch/antique-watch-jewels/>
- [42] <https://www.flickr.com/photos/martinwilmsen/3452418944>
- [43] <https://www.thewatchcollectorsclub.com/watch-dials-how-are-they-made-and-why-do-they-look-so-different/>
- [44] <https://www.youtube.com/watch?v=vG3F2iW-W-8&t=325s>
- [45] <http://www.ivoras.net/divlje-20te/vrste-metalnih-narukvica-remena-za-satove>
- [46] <https://fashionsbeaut.com/how-to-size-a-rolex-watch-bracelet/>
- [47] <https://blog.esslinger.com/how-to-oil-a-watch/>
- [48] <https://superlativetimeblog.wordpress.com/2012/10/04/the-art-of-restoration/>
- [49] <https://www.watchfinder.com/articles/technical-co-axial-escapement>
- [50] <https://www.youtube.com/@WristwatchRevival>
- [51] <https://www.portalsatova.com/2021/12/02/servis-mehanickih-satova-kucista-narukvice/>
- [52] <https://angola.desertcart.com/products/67610094>
- [53] <https://www.bobswatches.com/rolex-blog/resources/aged-perfection-rolex-tropical-dials.html?>
- [54] <https://www.watchuseek.com/threads/advice-on-restoring-corroded-case.988420/>
- [55] <https://grandemode.com/blogs/news/different-types-of-watches-brief-history-of-watches>
- [56] [https://willem.com/blog/2020-08-23\\_cleaning-a-vintage-watch/](https://willem.com/blog/2020-08-23_cleaning-a-vintage-watch/)
- [57] <https://www.seikomods.com/what-to-know-about-dealing-with-a-broken-watch-glass/>
- [58] <https://hs-ny.org/products/watchmakers-loupe>
- [59] <https://www.aliexpress.com/item/1005004943338179.html>
- [60] <https://watchmakingtools.com/tools/essential-watchmakers-tools/>

## 11. POPIS SLIKA

Slika 1- Sunčani sat.[18] .....	2
Slika 2- Egipatski vodeni sat. [19] .....	3
Slika 3- Pješčani sat [20].....	4
Slika 4- Prvi prijenosni mehanički sat. [21].....	5
Slika 5- Balansna opruga koja regulira gibanje mehanizma. [22] .....	5
Slika 6- Prvi ručni kvarcni sat od Seika I njegov mehanizam.[23].....	6
Slika 7- Kvarcna viljuška [24] .....	8
Slika 8- Usporedba mehaničkog, kvarcnog i mehanizma pametnog sata.[25] .....	8
Slika 9- Spiralna opruga u kućištu. [26].....	9
Slika 10- Zub za kočenje spiralne opruge. [27] .....	9
Slika 11- Kruna I njezini zupčanici. [28] .....	10
Slika 12- Balansni kotač. [29].....	10
Slika 13- Čekić. [30] .....	11
Slika 14- Kotač za bijeg. [31].....	11
Slika 15-Sustav za bijeg. [32] .....	12
Slika 16-Zupčanici [33].....	12
Slika 17- Vrste ležajeva. [34] .....	13
Slika 18- Most. [35] .....	13
Slika 19- Automatski sklop. [36].....	14
Slika 20- Tourbillon. [37].....	14
Slika 21- Početni crteži [38].....	15
Slika 22- Maketa [39].....	15
Slika 23-Tokarilica. [40].....	16
Slika 24- Podmazivanje ležajeva. [41] .....	17
Slika 25-Proizvodnja kućišta [42] .....	18
Slika 26- Usporedba brojčanika [43] .....	19
Slika 27-Plastično staklo [44] .....	20
Slika 28-Mineralno staklo. [44] .....	21
Slika 29- Safirno staklo [44] .....	21
Slika 30- Dijelovi metalnog remena [45].....	22
Slika 31- Različiti modeli metalnih, kožnih i NATO remena [46].....	23
Slika 32- Stavljanje ulja na ležaj sata [47] .....	30
Slika 33- Zupčanici u kontaktu.[48].....	30
Slika 34- Sustav za bijeg (Lever Escapement). [49] .....	31
Slika 35- Koaksijalni sustav za bijeg (Co-Axial Escapement). [49].....	32
Slika 36- Oštećeno staklo i okvir sata.[50] .....	33
Slika 37- Reparacija kućišta. [51] .....	34
Slika 38- Lom spiralne opruge. [50] .....	35
Slika 39- Ulje za podmazivanje Moebius 9010. [52].....	35
Slika 40- Starenje brojčanika. [53].....	35
Slika 41- Prikaz korozije na satnom mehanizmu. [50] .....	36
Slika 42- Prikaz korozije na poledini kućišta.[54] .....	37
Slika 43- Različiti modeli satova. [55].....	38
Slika 44- Remen onečišćen kožom kroz godine. [56].....	39
Slika 45- Lom stakla. [57].....	39



Slika 46-Fizičko povećalo i pogled na ležaj pod mikroskopom. [58].....	40
Slika 47- Stega [59].....	40
Slika 48- Montiranje stakla. [50].....	41
Slika 49- Centrifugalni čistač dijelova. [50] .....	41
Slika 50- Alati za rad na satovima. [60] .....	42

## 12. SAŽETAK

Ovaj rad se bavi analizom trošenja materijala u ručnim satovima, kod različitih vrste satova, poput kvarcnih, pametnih te poseban naglasak na mehaničku vrstu sata. U uvodnom dijelu raspravlja se o povijesnom značaju satova i njihovom utjecaju na percepciju vremena, kao i o tome kako su se razvijali u skladu s tehnološkim napretkom i promjenama u potrebama korisnika. Rad dalje istražuje osnovne dijelove mehanizma samog sata, poput kućišta, stakla, remena, zupčanika, i opruga, također istražuje proizvodnju satova te analizira čimbenike koji utječu na njihovo trošenje, kao što su trenje, kvaliteta izrade, učestalost korištenja, korozija i trošenje zbog nepažnje. Posebna pažnja posvećena je zaštitnim mjerama koje se primjenjuju kako bi se smanjilo trošenje materijala i produžio vijek trajanja satova. Na kraju, rad također navodi različite alate za rad na satovima, bilo da je otvaranje, montiranje ili čišćenje dijelova sata.

Ključne riječi: trenje, sat, korozija, zupčanik, trošenje, mehanizam, remen, kućište, staklo, opruga, čekić.

### **13. SUMMARY**

This paper deals with the analysis of wear and tear of materials in wristwatches, with different types of watches, including quartz and smart watches, with special emphasis on the mechanical type of watch. The introductory part discusses the historical significance of watches and their influence on the perception of time, as well as how they developed in accordance with technological progress and changes in the needs of users. The work further investigates the basic parts of the watch mechanism itself, such as the case, glass, belt, gears, and springs, it also investigates the manufacture of watches and analyzes the factors that affect their wear, such as friction, quality of workmanship, frequency of use, corrosion and wear due to carelessness. Special attention is paid to the protective measures that are applied to reduce the wear of materials and extend the life of the watches. Finally, the paper also lists various tools for working on watches, whether opening, mounting or cleaning watch parts.

Keywords: friction, watch, corrosion, gear, wear, mechanism, belt, case, glass, spring, hammer.