

# Otkrivanje unutarnjih pogrešaka otpreska

---

Šiljevinac, Martin

Master's thesis / Diplomski rad

2010

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:849627>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-06-30**

Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet strojarstva i brodogradnje

# **DIPLOMSKI RAD**

Martin Šiljevinac

Zagreb, 2010.

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet strojarstva i brodogradnje

# **DIPLOMSKI RAD**

Voditelj rada:  
Prof. dr. sc. Mladen Šercer

Martin Šiljevinac

Zagreb, 2010.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **MARTIN ŠILJEVINAC**

Mat. br.: 0035155685

Naslov: **OTKRIVANJE UNUTARNJIH POGREŠAKA OTPRESKA**

Opis zadatka:

Injekcijsko prešanje najsavršeniji je postupak praoblikovanja polimera. Time se postupkom preradi više od 37 % ukupnih količina plastike i gume. Usprkos tim činjenicama mnogobrojni su problemi vezani uz puštanje novih kalupa u rad, ali i pogreška tijekom same proizvodnje.

Katedra za preradu polimera razvila je sustav uklanjanja preko šezdeset pojedinačnih pogrešaka koje mogu nastati na otprescima. Neke se od njih odnose na unutarnje (npr. uključine zraka) ili površinske (npr. srh na otpresku).

U radu je potrebno analizirati uobičajene metode uočavanja unutarnjih grešaka na otprescima te eventualno za neke od grešaka predložiti pogodniju metodu.

Zadatak zadan:

11. ožujka 2010.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Mladen Šercer

Rok predaje rada:

Ožujak 2011.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Franjo Čajner



## **SAŽETAK**

Injekcijsko prešanje najsavršeniji je postupak praoblikovanja polimera. Time se postupkom preradi više od 37% ukupnih količina plastike i gume. Usprkos tim činjenicama mnogobrojni su problemi vezani uz upuštanje novih kalupa u rad, ali i pogrešaka tijekom same proizvodnje.

U ovom radu je opisan postupak automatiziranog strojnog zapažanja pogrešaka s pomoću rentgenskog zračenja kao ispomoć kameri ekspertnog sustava koji je razvila Katedra za preradbu polimera i drva.

## **IZJAVA**

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno, uz potrebne konzultacije i navedenu literaturu.

---

## **ZAHVALA**

Ovaj rad izrađen je pod stručnim vodstvom prof. dr. sc. Mladena Šercera kojem se posebno zahvaljujem na susretljivosti i pruženoj pomoći.

Zahvaljujem se tvrtkama Simon Art d.o.o. i Siemens d.d. koje su mi omogućile pristup rentgenskim uređajima i pomogli mi svojom stručnošću i iskustvom pri provedbi eksperimentalnog dijela rada.



# SADRŽAJ

SAŽETAK.....	I
IZJAVA.....	II
ZAHVALA.....	III
SADRŽAJ.....	IV
POPIS SLIKA.....	V
POPIS TABLICA.....	VI
POPIS UPOTREBLJENIH KRATICA I SIMBOLA.....	VII
1. UVOD.....	1
2. INJEKCIJSKO PREŠANJE PLASTOMERNIH TALJEVINA.....	2
2.1. Osnovne definicije.....	2
2.2. Opis postupka preradbe injekcijskim prešanjem plastomernih taljevina.....	3
3. POPIS, SLIKE I OPIS GREŠAKA INJEKCIJSKOG PREŠANJA.....	4
3.1. Srh (plivača kožica).....	5
3.2. Nepotpun otpresak.....	6
3.3. Uleknuća na površini otpreska.....	7
3.4. Usahline ili podtlačni mjehurići u otpresku.....	8
3.5. Mjehuravost (uključen je plin).....	9
3.6. Izbrazdanost stranim česticama.....	10
3.7. Bijeli lom.....	11
3.8. Vidljiv otisak izbacivala.....	12
3.9. Vitoperenje.....	13
3.10. Stezanje otpreska.....	14
4. RADIOGRAFIJA.....	15
4.1. Povijest rentgena.....	16
4.2. Primjena rentgena.....	17
4.2.1. Medicina.....	17
4.2.2. Industrija.....	18
4.3. Radiogram.....	19
4.4. Štetnost rentgenskog zračenja na žive organizme.....	20
4.5. Mjere zaštite od rentgenskog zračenja.....	21
5. UOČAVANJE GREŠAKA NA OTPRESCIMA.....	22
5.1. Srh (plivača kožica).....	22
5.2. Nepotpun otpresak.....	23
5.3. Uleknuća na površini otpreska.....	24
5.4. Usahline ili podtlačni mjehurići u otpresku.....	25
5.5. Mjehuravost (uključen je plin).....	26
5.6. Izbrazdanost stranim česticama.....	27
5.7. Bijeli lom.....	28
5.8. Vidljiv otisak izbacivala.....	29
5.9. Vitoperenje.....	30
5.10. Stezanje otpreska.....	31
6. STROJ ZA ISPITIVANJE OTPRESAKA STROJNIM VIDOM I RENTGENOM.....	32
6.1. Rentgenska cijev.....	34
6.2. Digitalni pretvarač zračenja.....	35
6.3. Industrijska kamera.....	36
6.4. Izvor svjetla.....	37
6.5. Olovni lim.....	38
ZAKLJUČAK.....	39
LITERATURA.....	40
POPIS PRILOGA.....	41

## POPIS SLIKA

Slika 3.1 Otpresak sa srhom .....	5
Slika 3.2 Nepotpuni otpresak .....	6
Slika 3.3 Otpresak sa uleknućima na površini .....	7
Slika 3.4 Otpresak sa podtlačni mjehurićima .....	8
Slika 3.5 Otpresak sa mjehurićima zraka .....	9
Slika 3.6 Otpresak sa uključenim česticama metala .....	10
Slika 3.7 Otpresak sa pukotinom .....	11
Slika 3.8 Otpresak sa vidljivim otiskom izbacivala .....	12
Slika 3.9 Izvitopereni otpresak .....	13
Slika 3.10 Otpresak sa veličinom stezanja iznad dozvoljenog maksimuma .....	14
Slika 4.1 Klasični medicinski rentgen i ortopan [5] .....	17
Slika 4.2 Industrijski rentgen [6] .....	18
Slika 5.1 Otpresak sa srhom .....	22
Slika 5.2 Nepotpuni otpresak .....	23
Slika 5.3 Presjek nepotpunog otpresaka na mjestu tamne mrlje na radiogramu .....	23
Slika 5.4 Otpresak sa uleknućima na površini .....	24
Slika 5.5 Otpresak sa podtlačnim mjehurićima .....	25
Slika 5.6 Otpresak sa mjehurićima zraka .....	26
Slika 5.7 Otpresak sa uključenim česticama metala .....	27
Slika 5.8 Otpresak sa pukotinom .....	28
Slika 5.9 Otpresak sa vidljivim otiskom izbacivala .....	29
Slika 5.10 Izvitopereni otpresak .....	30
Slika 5.11 Otpresak sa veličinom stezanja iznad dozvoljenog maksimuma .....	31
Slika 6.1 Stroj za ispitivanje otpresaka .....	32
Slika 6.2 Stroj za ispitivanje otpresaka (pregled) .....	33
Slika 6.3 Rentgenska cijev [9] .....	34
Slika 6.4 Digitalni pretvarač zračenja [10] .....	35
Slika 6.5 Industrijska kamera [11] .....	36
Slika 6.6 Izvor svijetla [12] .....	37
Slika 6.7 Olovna zaštita od zračenja [13] .....	38

## POPIS TABLICA

Tablica 4.1 Rizik fatalnog tumora [8] .....	20
Tablica 4.2 Ovisnost jakosti zračenja i debljine olovne zaštite [8] .....	21

## **POPIS UPOTREBLJENIH KRATICA I SIMBOLA**

CT	kompjuterska tomografija
DNK	deoksiribonukleinska kiselina
Sv	Sivert
LED	Svjetleća dioda (eng. Light Emitting Diode)

# 1. UVOD

Bez obzira na trud uvijek će postojati proizvodi i otpresci koji ne zadovoljavaju standarde kvalitete. Jedino što je moguće kontrolom kvalitete te proizvode ili poluproizvode otkriti i spriječiti njihov plasman na tržište, a ako je ikako moguće otkriti razlog nastajanja pogrešaka na tim proizvodima i probati podesiti parametre proizvodnje tako da se te pogreške više ne ponavljaju.

Katedra za preradbu polimera i drva razvila je ekspertni sustav za otkrivanje pogrešaka na otprescima injekcijskog prešanja koji koristi industrijsku kameru. U ovom radu će se opisati metoda otkrivanja pogrešaka s pomoću rentgenskih zraka i digitalnog detektora rentgenskog zračenja kao nadopuni, a ne zamjeni industrijske kamere.

## 2. INJEKCIJSKO PREŠANJE PLASTOMERNIH TALJEVINA [1]

### 2.1. Osnovne definicije

Injekcijsko prešanje polimera ciklički je postupak praoblikovanja ubrizgavanjem polimerne tvari potrebne smične viskoznosti iz jedinice za pripremu i ubrizgavanje u temperiranu kalupnu šupljinu. Tvorevina, otpresak, postaje polireakcijom i/ili umrežavanjem, geliranjem i/ili hlađenjem podobna za vađenje iz kalupne šupljine.

Za taj postupak potrebna je preradbena linija koju sačinjavaju:

- sustav za injekcijsko prešanje
- dopunska oprema

Sustav za injekcijsko prešanje je naziv za osnovnu opremu koju sačinjavaju: ubrizgavalica, kalup i uređaj za temperiranje kalupa. Svaki sustav za injekcijsko prešanje mora ispuniti sljedeće funkcije:

- priprema tvari potrebne smične viskoznosti
- ubrizgavanje
- stvaranje praoblaka pri propisanoj temperaturi elementa koji stvara obličje otpreska (kalupna šupljina)

Praoblik je čvrsto tijelo nastalo od bezoblične tvari (materijala) praoblikovanjem (preradbom).

Ulazi i izlazi iz sustava za injekcijsko prešanje su materijalni, energetske i informacijski. Materijalni ulaz je plastomer, a izlaz otpresak. Energetske ulazi su energija preradbe i temperiranja, a izlazi gubici energije u ubrizgavalici i kalupu. Informacijski ulazi su podešavanje uvjeta parametara preradbe (ubrizgavalica), reguliranje uvjeta temperiranja (temperiralo kalupa), te oblik i kompleksna masivnost otpreska (kalup). Informacijski ulazi su regulacijske veličine potrebne za reguliranje zadanog procesa.

Dopunska oprema povisuje djelotvornost procesa, a sastoji se od elemenata rukovanja tvarima, materijalom i otpreskom.

## 2.2. Opis postupka preradbe injekcijskim prešanjem plastomernih taljevina

Injekcijsko prešanje plastomernih taljevina je najvažniji ciklički postupak preradbe polimera. U pravilu se prerađuju čvrste čestice raznih oblika: kockice, valjčići, leće itd. Na razne načine pohranjene čvrste čestice granulata (vreće, spremnici) transportiraju se do ljevka ubrizgavalice.

Ljevak dobavlja materijal kroz okno u cilindar za taljenje. Cilindar za taljenje obavlja dvostruku funkciju: omekšava čvrsti materijal dok se ne postigne potrebno stanje smične viskoznosti (taljevine), a zatim ga ubrizgavalno (pužni vijak ili klip) ubrizgava u temperirani kalup. Uobičajeni pritisci ubrizgavanja su 50 do 100 N/mm<sup>2</sup>, a temperatura taljevine 150 do 425°C. U kalupu ne postoji jedinstvena temperatura kalupa, već temperaturno polje. Stoga se kao reprezentativna temperatura odabire temperatura kalupne šupljine. Temperature kalupne šupljine su u rasponu od -5 do 260°C. U obujamno napunjenom kalupu započinje hlađenje taljevine i njezino stezanje. Stoga je potrebno djelovanjem naknadnog pritiska, koji je u pravilu niži od pritiska ubrizgavanja, dovesti kalupu određenu, dodatnu količinu taljevine. Kad očvrsne, skrutne, najuži presjek koji povezuje ubrizgavalicu i kalupnu šupljinu u koju se ubrizgava taljevina sa ciljem da se hlađenjem izradi tvorevina potrebnog makrogeometrijskog oblika i svojstva, jedinica za ubrizgavanje započinje vraćati ubrizgavalno u početni položaj.

U kalupnu šupljinu plastomerna taljevina dolazi s određenom „proizvodnom prošlošću“. To znači da tijekom procesa injekcijskog prešanja može doći do promjene početne strukture plastomerne tvari (npr. toplinske razgradnje), prestrukturiranje na molekularnoj razini. Istovremeno dolazi u kalupu do prestrukturiranja na nadmolekularnoj i višim razinama (orijentacija, zaostala toplinska naprezanja - napetosti i strukturna kristalnih plastomera). Ovo strukturiranje zbiva se tijekom punjenja kalupne šupljine i hlađenja. Proces hlađenja taljevine u otpresak je izradbena funkcija praoblikovanja materijala u propisanu tvorevinu, otpresak. Otpresak je moguće izvaditi iz kalupne šupljine pod uvjetom da je njegova prosječna temperatura niža od temperature postojanosti oblika.

### **3. POPIS, SLIKE I OPIS GREŠAKA INJEKCIJSKOG PREŠANJA<sup>[2]</sup>**

Greške otpresaka se mogu svrstati u 7 skupina:

1. srh (plivaća kožica)
2. nepotpun otpresak
3. šupljine i udubljenja
4. greške površine
5. greške oblika i izmjera
6. greške strukture
7. odstupanje parametara preradbe



### 3.1. Srh (plivaća kožica)

Greške su vidljive kao ravna izbočenja neujednačene debljine, često nepravilnih rubova, okomito na jednu od ploha otpreska (slika 3.1). Pojavljuju se na liniji spajanja pomičnog i nepomičnog dijela kalupa i zbog svog oblika nazvan je plivaća kožica. Greška se može pojaviti duž cijele sljubnice ili samo mjestimično.



Slika 3.1 Otpresak sa srhom

## 3.2. Nepotpun otpresak

Otpresak na kraju puta tečenja nije potpuno ispunjen (slika 3.2), najčešće uslijed nedovoljnog puta doziranja. Kod kalupa s više kalupnih šupljina otpresci su nejednoliko ispunjeni.



Slika 3.2 Nepotpuni otpresak

### 3.3. Uleknuća na površini otpreska

Uleknuća se obično pojavljuju zbog loše konstrukcije otpreska na mjestima gomilanja masa materijala (slika 3.3). Greška izgleda poput udubina s glatkom površinom.



Slika 3.3 Otpresak sa uleknućima na površini

### 3.4. Usahline ili podtlačni mjehurići u otpresku

Usahline su šupljine u obliku okruglih i rastegnutih mjehura. Vidljive su kod neobojenih i transparentnih materijala (slika 3.4). Kod obojenih materijala ova greška najčešće nije vidljiva na površini otpreska, a može se uočiti tek u presjeku stijenke otpreska kao njegova nepopunjenost. Nadalje, grešku je moguće uočiti odstupanjem mase otpreska i mikroskopskim snimcima.



Slika 3.4 Otpresak sa podtlačni mjehurićima

### 3.5. Mjehuravost (uključen je plin)

Greška najčešće nije vidljiva na površini. Izvana se prepoznaje samo kod transparentnih i tankostjenih otpresaka (slika 3.5). Kod obojenih i netransparentnih otpresaka, npr. kod kristalnih materijala ova greška predstavlja jedva vidljivo slabo mjesto na površini gotovog proizvoda, a može se vidjeti tek na poprečnom presjeku stjenke.

Mjehuravost treba razlikovati od usahline jer je u praznini zrak ili neki plin, a ne vakuum. Mjehurići su u presjeku bitno manji i učestaliji.



**Slika 3.5 Otpresak sa mjehurićima zraka**

### 3.6. Izbrazdanost stranim česticama

Na otpresku se vide mrlje druge boje (slika 3.6).



Slika 3.6 Otpresak sa uključenim česticama metala

### 3.7. Bijeli lom

Ova je greška vidljiva na površini u obliku raširenih vlaknastih brazda koje presjecaju površinu otpreska (slika 3.7). Zbog loma svjetlucaju unutar pukotine i na graničnoj površini između raširene i neraširene faze, pukotine izgledaju kao bijelo obojeni materijal, pa se govori i o bijelom lomu. Poveća li se udarno opterećenje tad iz mikropukotina nastaju pukotine. Greške nastaju uslijed unutarnjeg naprezanja i često se pojavljuju naknadno.



Slika 3.7 Otpresak sa pukotinom

### **3.8. Vidljiv otisak izbacivala**

Na površini otpreska utisnut oblik izbacivala (slika 3.8). Uzrok vidljivosti otiska izbacivala je u tome što se otpresak nedovoljno skrtnut izbacuje iz kalupne šupljine.



**Slika 3.8 Otpresak sa vidljivim otiskom izbacivala**



### 3.9. Vitoperenje

Vitoperenje se javlja nakon vađenja iz kalupne šupljine, kad otpresak više ne zadržava željeni oblik, već se uvija (slika 3.9). Rubovi se uvijaju prema unutra i van, a ravni dijelovi postaju valoviti te nastaje kutno zavlačenje koje nazivamo vitoperenje. Vitoperenje uzrokuje dimenzijsku nestabilnost, a može dovesti i do pucanja otpreska.



**Slika 3.9 Izvitopereni otpresak**

### 3.10. Stezanje otpreska

Ispravno stezanje se postiže samo u ispravno temperiranom kalupu, naglo ohlađeni otpresci imaju veliko stezanje (slika 3.10). Stezanje i naknadno stezanje mijenjaju se uslijed razlika npr. vlažnosti, tvrdoći plastomernog materijala (tvrđi plastomerni materijal daje bolju točnost) itd.

Stezanje je obično ovisno o pritisku ubrizgavanja.



**Slika 3.10 Otpresak sa veličinom stezanja iznad dozvoljenog maksimuma**

## 4. RADIOGRAFIJA [3]

Rentgenske ili rendgenske zrake, poznate i kao X-zrake, područje su elektromagnetskog zračenja s valnim duljinama između 10 i 0,01 nm, što približno odgovara području između ultraljubičastog i gama zračenja. Najpoznatija njihova primjena je u dijagnostičkoj radiografiji i kristalografiji. Zbog svoje energije ubrajaju se u ionizirajuće zračenje.

Rendgensko zračenje nastaje kada elektroni velikom brzinom udaraju u metal, pri čemu dolazi do njihovog naglog usporavanja i izbijanja elektrona iz unutarnjih ljuski atoma metala. Usporavanjem se stvara kontinuirani spektar zakočnog zračenja (nj. bremsstrahlung), a popunjavanjem mjesta s kojih su izbijeni elektroni nastaju spektralne linije.

Uobičajeni način dobivanja je u rendgenskoj cijevi. To je vakuumska cijev u kojoj se s jedne strane nalazi anoda, a s druge katoda uz koju se nalazi žarna nit. Katoda je na visokom naponu u odnosu na anodu. Kada žarnom niti teče električna struja ona se užari pa katoda izbacuje elektrone koji se ubrzavaju u električnom polju između katode i anode. Elektroni udaraju u anodu koja je načinjena od materijala koji su otporni na visoku temperaturu, poput molibdena i volframa, a ujedno se i vrti kako bi imala što bolje hlađenje. Pri tome se 99% energije elektrona pretvara u toplinu, a samo 1% odlazi u obliku ionizirajućeg zračenja koje pod pravim kutem izlazi kroz mali otvor na rendgenskoj cijevi.

## 4.1. Povijest rentgena [4]

Devetnaesto stoljeće je značajno po mnogobrojnim otkrićima koja su ljudima olakšale i poboljšale život. Jedno od takvih otkrića je i otkriće rentgenskih ili X- zraka. Iako je pojava X- zraka zabilježena i u istraživanjima drugih znanstvenika (Nikola Tesla i dr.), formalno otkriće pripisuje se Wilhelm Conrad Röntgenu jer ih je 1895. godine opisao. Naime, te godine objavljuje da je u modificiranoj Crookesovoj cijevi otkrio nevidljive zrake koje izazivaju fluorescenciju, prolaze kroz materiju, te se ne otklanjaju u magnetskom polju. Röntgen je te zrake nazvao X-zrake zbog njihove nepoznate prirode. Zbog svojih jedinstvenih svojstva, rendgenske zrake su ubrzo našle i svoju primjenu. Već u veljači 1896. godine, zrake su doživjele prvu primjenu u medicinske svrhe. Konstruiran je prvi rendgen na Dartmouthskom sveučilištu te se koristio za pregled pacijenata.

U dvadesetom stoljeću, X- zrake su dobile svoju mnogobrojnu primjenu. Osim u medicini, prisutne su u fizici, kemijskoj i farmaceutskoj industriji (1950. nastao je prvi mikroskop s X-zrakama), astronomiji itd. Također se koriste za pregled prtljage u zračnim lukama, kolodvorima i sl.

Ipak, običnom čovjeku je primjena X-zraka najpoznatija u okviru radiologije, nove grane medicine koje se bavi primjenom zračenja u cilju dijagnosticiranja i otklanjanja bolesti.

## 4.2. Primjena rentgena

Prva komercijalna primjena rentgenskog uređaja je bila u dućanu s cipelama. Moglo se vidjeti da li cipela negdje stišće nogu. Tek nekoliko godina kasnije je otkrivena štetnost zračenja.

### 4.2.1. Medicina

Prva upotreba rentgenskog zračenja u medicini bila je patologija kostiju (prijelomi kosti), a kasnije se počelo koristiti za dijagnostiku bolesti mekog tkiva (upala pluća, rak pluća, bubrežni kamenci...).

Danas su razvijeni različiti radiološki uređaji za različite preglede (CT, mamograf, zubni rentgen, mobilni rentgen...).



Slika 4.1 Klasični medicinski rentgen i ortopan [5]

## 4.2.2. Industrija

U industriji se rentgensko zračenje koristi za nerazorne metode ispitivanja (najčešće ispitivanje zavara).

Zbog povećanja sigurnosti zračnog prometa uveden je rentgenski pregled cjelokupne prtljage u zračnim lukama.



Slika 4.2 Industrijski rentgen [6]

### 4.3. Radiogram [7]

Snop rentgenskih zraka koje se projiciraju na objekt ovisno o gustoći i sastavu različitih područja objekta se djelomično apsorbira. Zrakama koje prođu kroz objekt se detektira intenzitet. Slika koja nastaje u detektoru zračenja naziva se radiogram.

Postoje dvije vrste radiograma:

1. **Fotografski film**- fotografski film se stavlja u kazetu sa pretvaračem rentgenskog zračenja u svjetlo
2. **Digitalni radiogram**- rentgenska zraka se pomoću senzora pretvara u piksel, matrica piksela tvori digitalnu sliku

#### 4.4. Štetnost rentgenskog zračenja na žive organizme [8]

Zračenje uzrokuje ionizaciju molekula u stanicama živih bića. Ionizacija izaziva uklanjanje elektrona iz atoma te tako nastaju ioni ili atomi s nabojem. Ioni mogu utjecati na druge atome u stanici te uzrokovati oštećenje. Primjer takva međudjelovanja jest prolaz gama zračenja stanicom: molekule vode koje su u blizini DNK mogu biti ionizirane, a ioni mogu djelovati na DNK i izazvati lomove.

Kod niskih doza kakve pridjeljuju radionuklidi iz okoliša oporavak stanica je vrlo brz. Kod viših doza (do 1 Sv) stanica se možda neće moći oporaviti od oštećenja te nastaju trajne promjene u stanici ili nastupa smrt stanice. Smrt većeg broja stanica ne mora imati znatne posljedice jer ih organizam jednostavno nadomjesti. Stanice koje su trajno promijenjene mogu dalje diobom proizvoditi abnormalne stanice. U određenim okolnostima te stanice mogu postati kancerogene. To je zapravo izvor povećanog rizika pojave tumora kao posljedica izlaganja zračenju.

Kod još viših doza stanica se neće moći dovoljno brzo nadomjestiti i tkivo će teško održati svoju funkciju. Primjer takve situacije jest tzv. „radijacijska bolest“. To je stanje koje nastaje poslije ozračivanja cijelog tijela visokim dozama ( $> 1$  Sv) gdje je unutarnja stjenka probavnog sustava tako povrijeđena da ne može obavljati svoju funkciju prijenosa vode i hranjivih tvari, odnosno zaštita organizma od infekcije. To uzrokuje povraćanje, proljev i opću slabost. S još višim dozama za cijelo tijelo ( $>3$  Sv) imunološki sustav tijela tako je ugrožen da ne može oduprijeti infekciji i bolestima. Kod doza cijelog tijela od oko 4 Sv bez odgovarajuće medicinske skrbi oko 50% ljudi umrijeti će u roku 60 dana od primitka doze, uglavnom zbog infekcije.

Ako netko primi dozu cijelog tijela iznad 10 Sv pretrpjet će oštećenja vitalnih dijelova vaskularnog sustava koji opskrbljuje živčani sustav, npr. mozak. Vrlo je vjerojatno da će od tako visokih doza 100% izloženih ljudi umrijeti, zbog svih vrsti uzroka koji su kombinacija posljedica opisanih za izlaganje niskim dozama i oštećenja vaskularnog sustava.

Velika je razlika u ozračenju ako je dozu primilo cijelo tijelo ili su zračenju bili izloženi samo pojedini dijelovi tijela.

Važno je zapamtiti da će od svih ljudi tek nekoliko rijetkih pojedinaca možda jednom primiti dozu veću od 2 Sv. S današnjim stupnjem primjene mjera zaštite ne očekuje se da bi itko trebao primiti više od 5 Sv u jednoj godini. Zbog toga se radijacijski rizik procjenjuje na temelju povećanih stopa za pojavu tumora, a ne na temelju smrti izravno uzrokovane ozračenjem.

Usporedba rizika fatalnog tumora uzrokovanih pušenjem i dozama zračenja dana je u tablici 4.1.

Tablica 4.1 Rizik fatalnog tumora [8]

Postupak	Efektivna doza ( $\mu$ Sv)	Rizik fatalnog tumora	Ekvivalent broju popušanih cigareta
Snimanje pluća	320	$1,3 \times 10^{-6}$	9
Snimanje lubanje	1500	$6 \times 10^{-6}$	44
CT glave	44000	$1,8 \times 10^{-4}$	1300



## 4.5. Mjere zaštite od rentgenskog zračenja [8]

Olovo je najčešći štit protiv rentgenskih zraka zbog svoje visoke gustoće ( $11340 \text{ kg/m}^3$ ), zaustavne moći iona, jednostavnosti instalacije i niske cijene. Maksimalni domet visoke energije fotona kao što su rentgenske zrake u materiji je beskonačan. Na svakom mjestu u tvari kroz koju prolazi fotonski snop, postoji vjerojatnost interakcije. Stoga postoji vrlo mala vjerojatnost da nema interakcije na vrlo velike udaljenosti. Zaštita od fotonskog snopa eksponencijalno raste s debljinom oklopa. Udvostručenje debljine oklopa će povećati efekt oklapanja za kvadrat.

Sljedeća tablica (tablica 4.2) prikazuje preporučene debljine olova u funkciji zaštite od rentgenskih zraka.

**Tablica 4.2 Ovisnost jakosti zračenja i debljine olovne zaštite [8]**

<b>Napon generiranja X-zraka</b>	<b>Minimalna debljina olova</b>
75 kV	1,0 mm
100 kV	1,5 mm
125 kV	2,0 mm
150 kV	2,5 mm
175 kV	3,0 mm
200 kV	4,0 mm
225 kV	5,0 mm
300 kV	9,0 mm
400 kV	15,0 mm
500 kV	22,0 mm
600 kV	34,0 mm
900 kV	51,0 mm

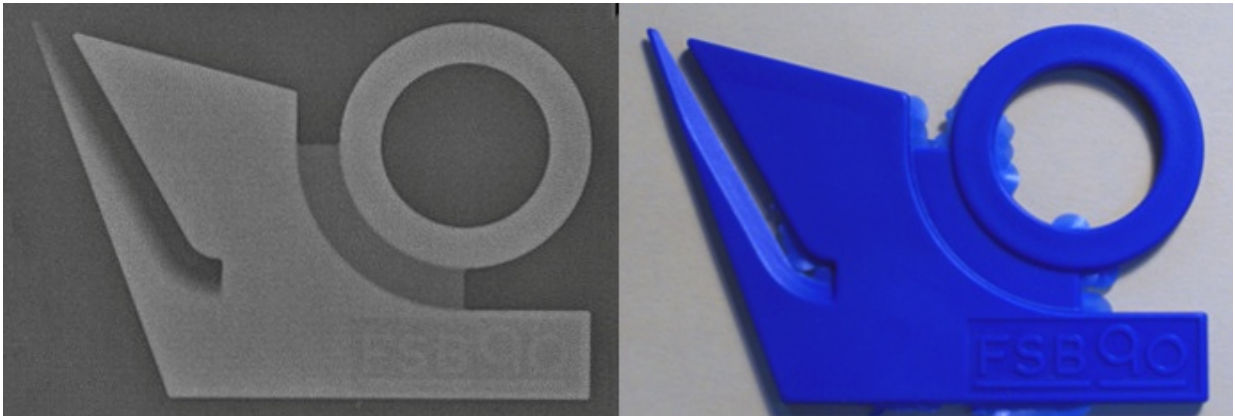
## 5. UOČAVANJE GREŠAKA NA OTPRESCIMA

Uz uobičajene načine uočavanja grešaka (vizualno, presijecanjem, vaganjem, mjerenjem...) u ovom poglavlju biti će opisan način manifestiranja tih grešaka na radiogramu (rentgenskom snimku)

### 5.1. Srh (plivaća kožica)

Srh se može primijetiti već vizualnom inspekcijom i sve danje radnje nisu potrebne.

Na ovom rentgenskom snimku (slika 5.1) ne vide se jasni obrisi srha. Vjerojatno bi se mogli vidjeti smanjivanjem visokog napona rentgenske cijevi što ovaj uređaj nije dopuštao.

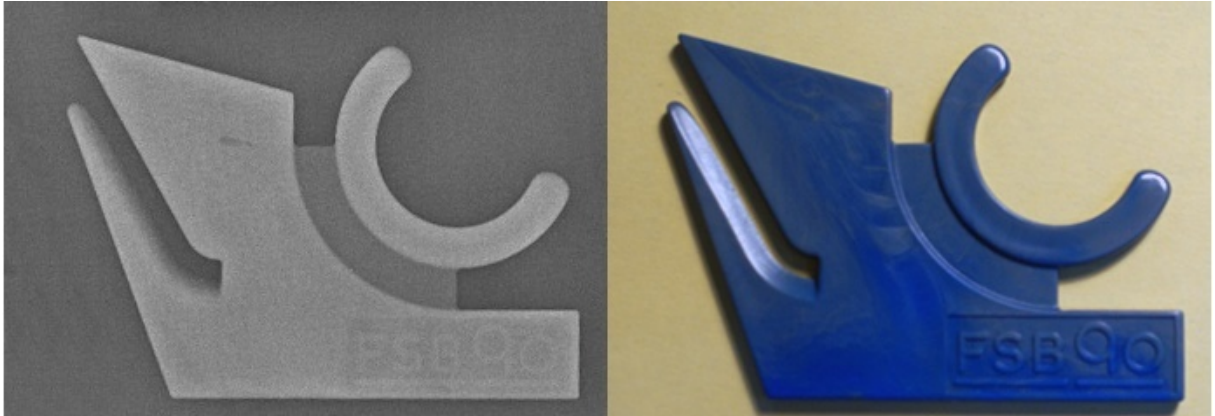


Slika 5.1 Otpresak sa srhom

## 5.2. Nepotpun otpresak

Nepotpunost se može primijetiti već vizualnom inspekcijom ako je velika greška. Kod manjih grešaka potrebno je mjeriti ili vagati otpresak bez srha.

Na ovom rentgenskom snimku (slika 5.2) jasno se vidi odsutstvo materijala, ali za razliku od ostalih metoda vidi se mjehurić zraka (tamna mrlja) i uleknuća na površini (tamnija je unutrašnjost od ruba otpreska).



Slika 5.2 Nepotpuni otpresak

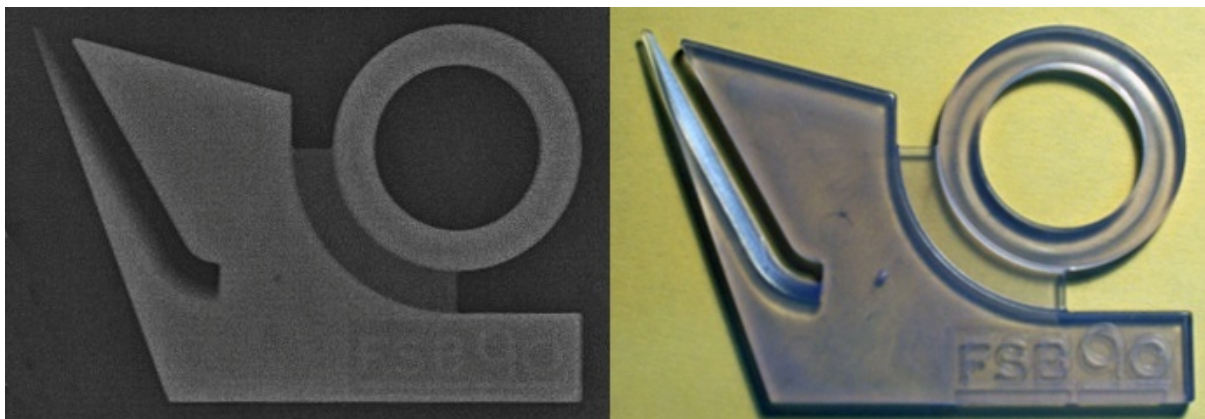


Slika 5.3 Presjek nepotpunog otpresaka na mjestu tamne mrlje na radiogramu

### 5.3. Uleknuća na površini otpreska

Uleknuća na površini otpreska se mogu primijetiti već vizualnom inspekcijom, ali je potrebno otpresak gledati pod raznim kutovima.

Na ovom rentgenskom snimku (slika 5.4) mogu se primijetiti nijanse sive boje, svjetlije uz rub otpreska (što je nešto svjetlije na radiogramu to je ono deblje ili gušće) prema tamnijim nijansama u središtu otpreska što upućuje (premda je materijal isti) da je središnji dio otpreska tanji što bi se čak moglo i mjeriti komparativnom metodom. Također se primjećuje tamnija mrlja što upućuje da je zarobljen zrak ili vakuum u otpresku.

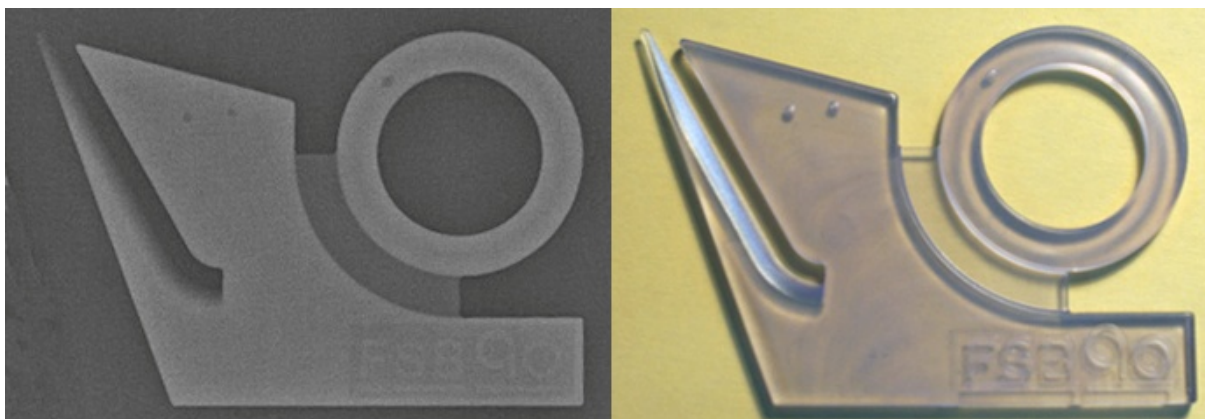


Slika 5.4 Otpresak sa uleknućima na površini

#### 5.4. Usahline ili podtlačni mjehurići u otpresku

Podtlačni mjehurići se mogu primijetiti vizualnom inspekcijom kod transparentnih i tankostjenih otpresaka. Kod neprozirnih otpresaka greška se može uočiti preciznim vaganjem otpreska bez srha ili presijecanjem.

Na ovom rentgenskom snimku (slika 5.5) primjećuju se tri tamne mrlje što znači da na tim mjestima se nalazi nešto znatno manje gustoće, najvjerojatnije zrak ili vakuum.

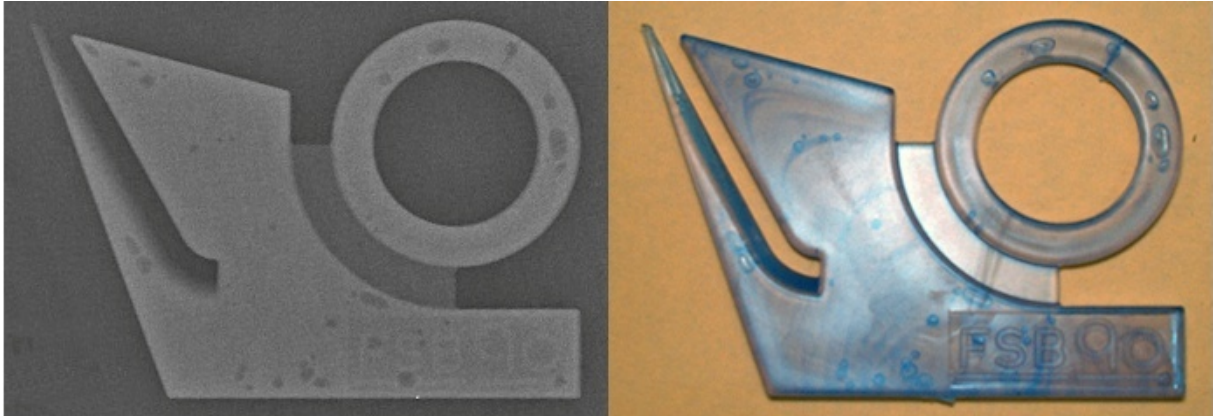


Slika 5.5 Otpresak sa podtlačnim mjehurićima

## 5.5. Mjehuravost (uključen je plin)

Mjehurići se mogu primijetiti vizualnom inspekcijom kod transparentnih i tankostjenih otpresaka. Kod neprozirnih otpresaka greška se može uočiti preciznim vaganjem otpreska bez srha ili presijecanjem.

Na ovom rentgenskom snimku (slika 5.6) primjećuju se mnoge tamne mrlje što znači da na tim mjestima se nalazi nešto znatno manje gustoće, najvjerojatnije zrak ili vakuum. Također se može primijetiti tamna ravna linija na otpresku što upućuje na pukotinu.

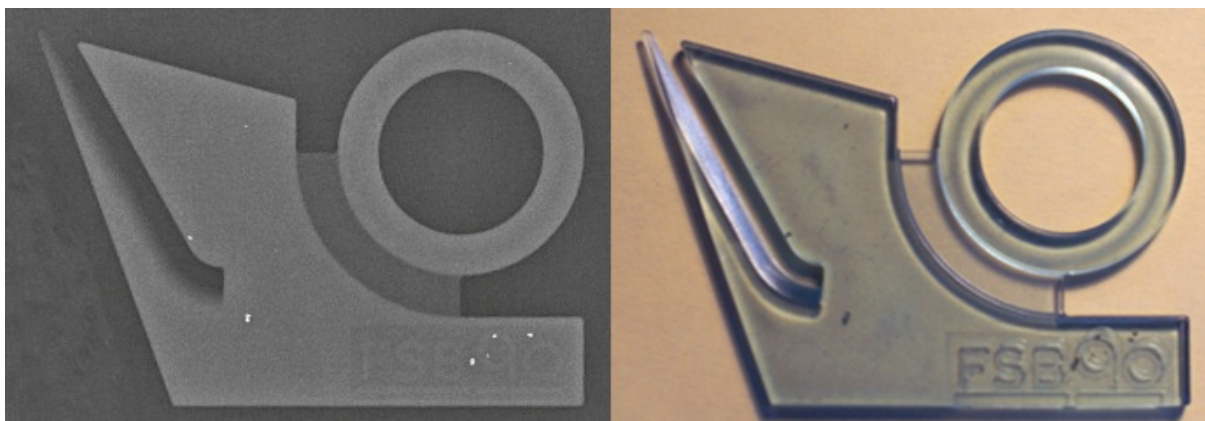


Slika 5.6 Otpresak sa mjehurićima zraka

## 5.6. Izbrazdanost stranim česticama

Čestice drugog materijala se mogu primijetiti vizualnom inspekcijom kod transparentnih i tankostjenih otpresaka. Kod neprozirnih otpresaka greška se može uočiti preciznim vaganjem otpreska bez srha i presijecanjem.

Na ovom rentgenskom snimku (slika 5.7) primjećuju se sedam bijele mrlje što znači da se na tim mjestima nalazi nešto znatno veće gustoće, najvjerojatnije metal.

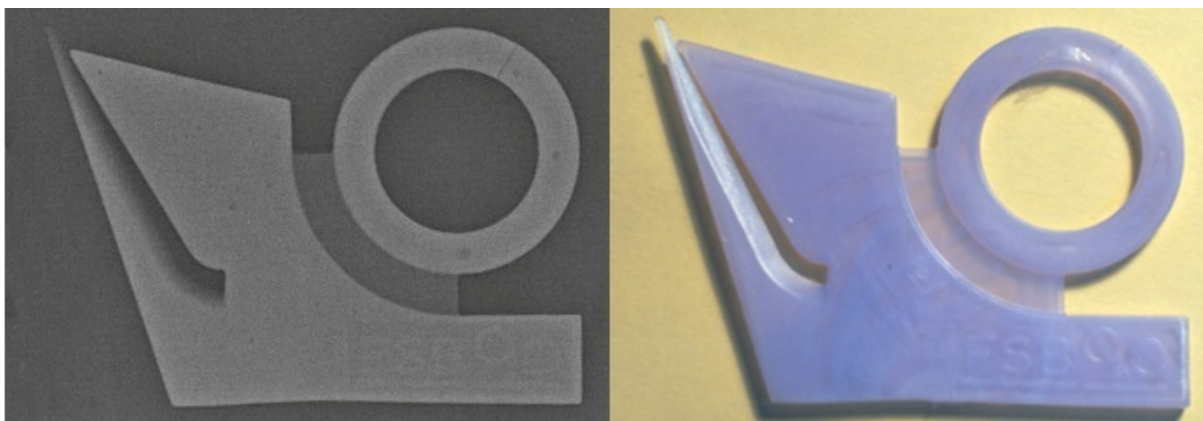


Slika 5.7 Otpresak sa uključenim česticama metala

## 5.7. Bijeli lom

Bijeli lom se može uočiti vizualnom inspekcijom, za razliku od napuklina koje se kod netransparentnih otpresaka ne vide.

Na ovom rentgenskom snimku (slika 5.8) može se primijetiti tamna ravna linija na otpresku što upućuje na pukotinu. Također se mogu primijetiti mjehurići zraka.



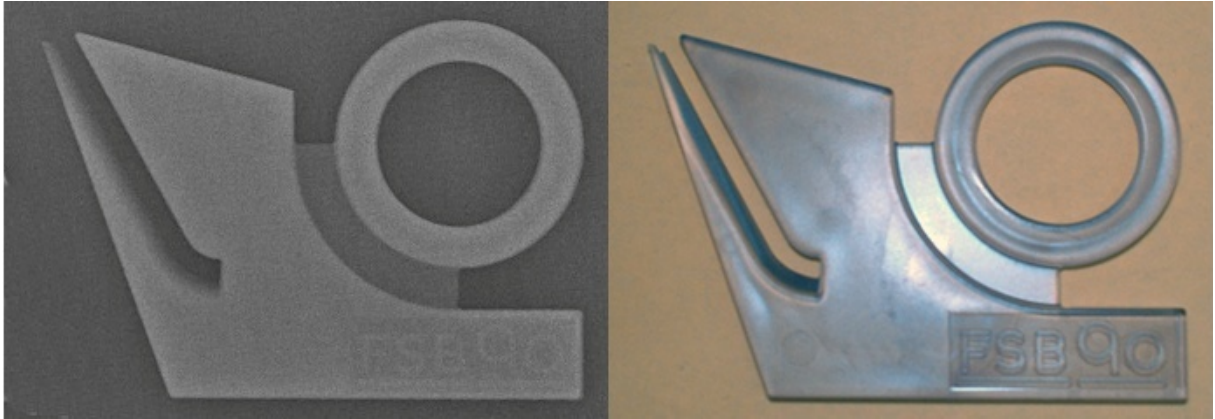
Slika 5.8 Otpresak sa pukotinom



## 5.8. Vidljiv otisak izbacivala

Otisak izbacivala se može primijetiti već vizualnom inspekcijom i sve daljnje radnje nisu potrebne.

Na ovom rentgenskom snimku (slika 5.9) ne vide otisci izbacivala, ali isto kao i kod srha vjerojatno bi se mogli vidjeti smanjivanjem visokog napona rentgenske cijevi što ovaj uređaj nije dopuštao.

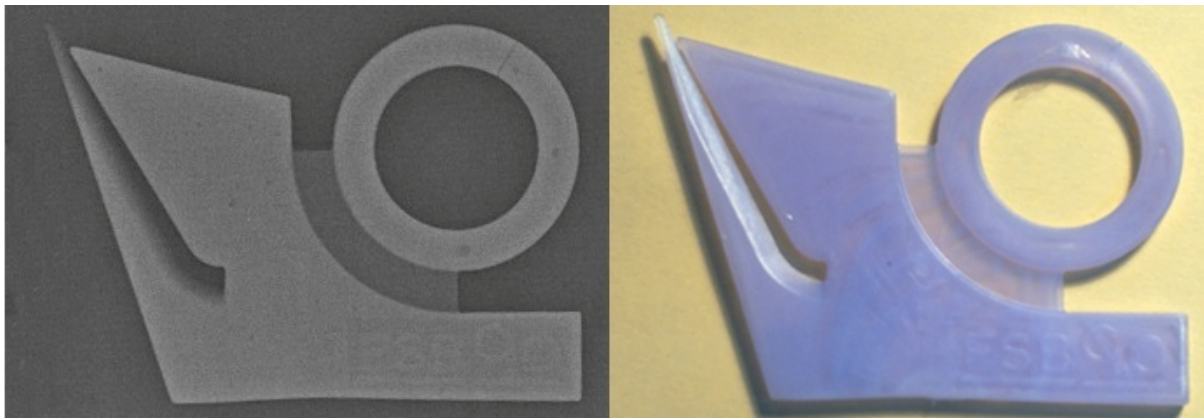


Slika 5.9 Otpresak sa vidljivim otiskom izbacivala

## 5.9. Vitoperenje

Vitoperenje se može uočiti već vizualnom inspekcijom ako je izraženo. Ukoliko nije izraženo, treba mjerenjem dimenzija i/ili Kutjeva provjeriti prisutstvo vitoperenja.

Na ovom rentgenskom snimku (slika 5.10) može se vidjeti zakrivljenost donjeg brida otpreska i pomaknuti nož u desno s obzirom na ostatak otpreska.

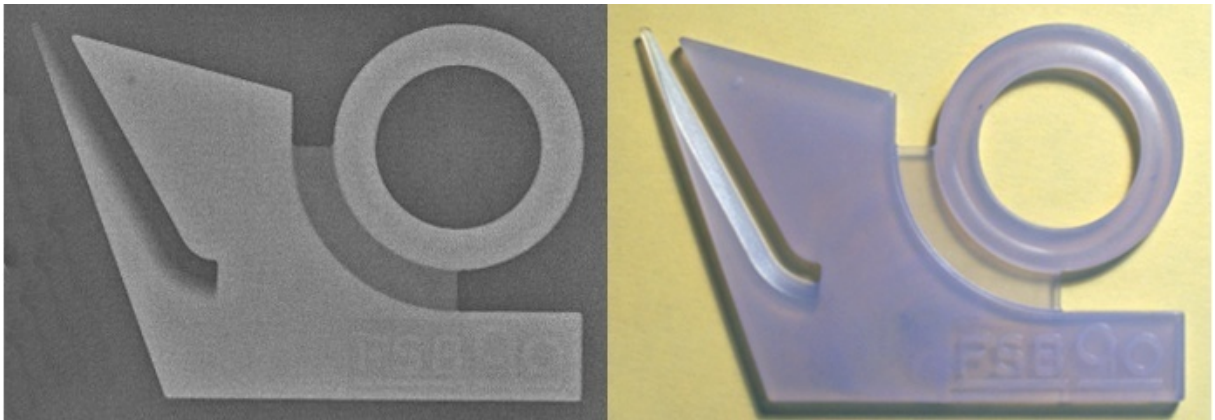


**Slika 5.10 Izvitopereni otpresak**

## 5.10. Stezanje otpreska

Stezanje otpreska se može uočiti već vizualnom inspekcijom ako je izraženo. Ukoliko nije izraženo, potrebno je mjerenjem provjeriti točnost dimenzija.

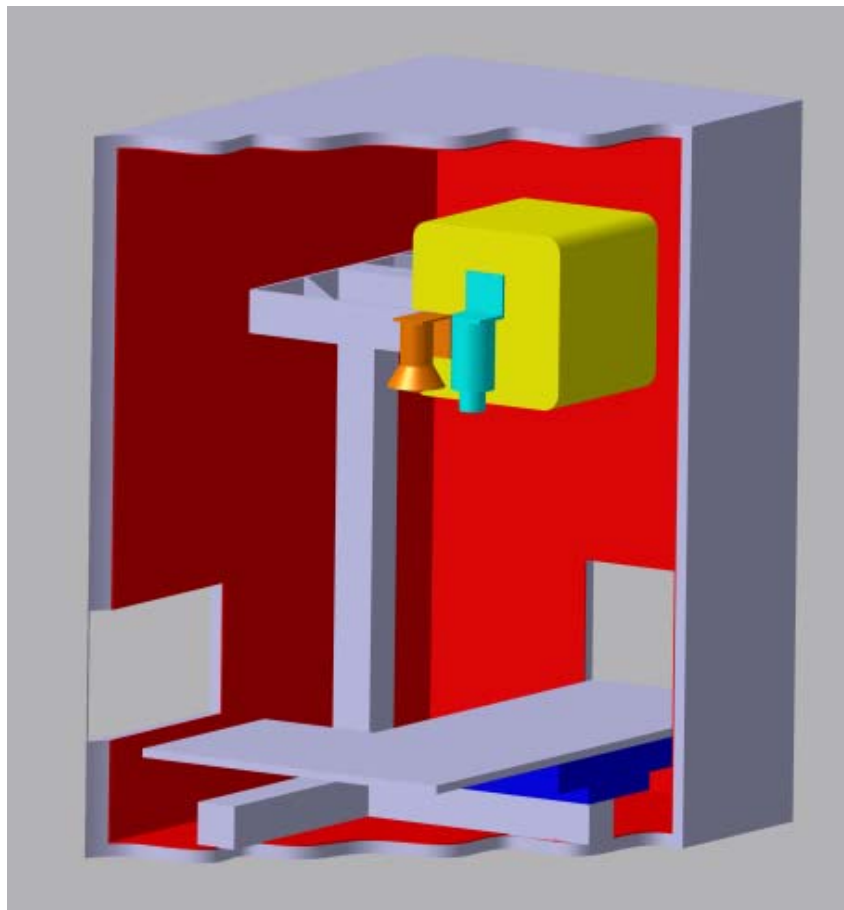
Na rentgenskom snimku (slika 5.11) isto kao i kod strojnog vida može se provesti mjerenje dimenzija uz prethodnu kalibraciju. Jedina razlika je što digitalni detektor rentgenskih zraka je poznatih dimenzija (ravna ploha) i matrice piksela, zato možemo uzeti konstantno mjerilo (piksel/milimetar). Također ako zajedno sa otpreskom u kadar stavimo etalon u obliku klina i znamo od kojeg je materijala otpresak izrađen, možemo u 14 (16384) ili 16 (65536) bitnoj rezoluciji izračunati debljinu otpreska.



**Slika 5.11 Otpresak sa veličinom stezanja iznad dozvoljenog maksimuma**

## 6. STROJ ZA ISPITIVANJE OTPRESAKA STROJNIM VIDOM I RENTGENOM

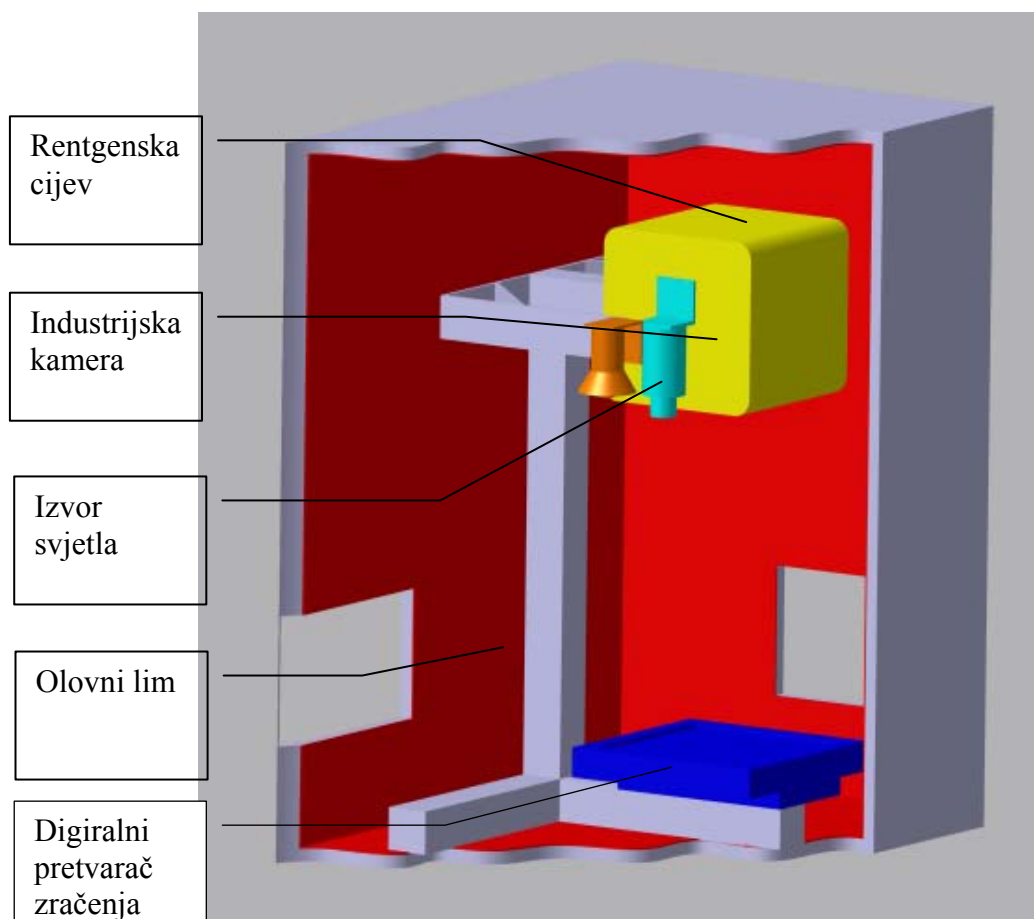
Model (slika 6.1 i 6.2) prikazuje skicu idejnog rješenja stroja koji bi potpuno automatizirano ispitivao otpreske.



Slika 6.1 Stroj za ispitivanje otpresaka

Model stroja je znatno pojednostavljen, sastoji se od 5 važnijih segmenata:

- Rentgenske cijevi
- Digitalnog pretvarača zračenja
- Industrijske kamere
- Izvora svjetla
- Olovnog lima



**Slika 6.2 Stroj za ispitivanje otpresaka (pregled)**

## 6.1. Rentgenska cijev

Rentgenska cijev (slika 6.3) proizvodi zračenje tako što visoki napon (20-300 kV) izbija elektrone iz grijane katode koji ubrzavaju kroz vakuum, a zatim udaraju u anodu (koja često rotira zbog hlađenja) i usporavaju. Taj gubitak kinetičke energije pretvara se većim dijelom u toplinsku energiju, a samo 1 do 2% se pretvara u rentgensko zračenje.



Slika 6.3 Rentgenska cijev [9]

## 6.2. Digitalni pretvarač zračenja

Pretvarač zračenja (slika 6.4) pretvara rentgensko zračenje u električni signal koji obrađuje računalo i sprema taj signal kao matricu piksela sive skale u preko 16000 nijansi (14 bita).



**Slika 6.4 Digitalni pretvarač zračenja [10]**

### 6.3. Industrijska kamera

Industrijska kamera (slika 6.5) snima otpreske, računalo obrađuje sliku i zaključuje da li otpresak ima grešaka. Najveći problem strojnog vida je osvetljenje, ali ovaj stroj je hermetički zatvoren zbog rentgenskog zračenja i zbog toga se može osigurati konstantni uvjeti osvetljenja.



Slika 6.5 Industrijska kamera [11]



## 6.4. Izvor svjetla

Izvor svjetla može (slika 6.6) biti nekoliko različitih rasvjetnih tijela (infracrveni, LED, halogeni, neonske lampe...), kako bi se osiguralo dobro osvjetljavanje optresaka bez odsjaja koji zasljepljuje kameru.



**Slika 6.6 Izvor svjetla [12]**

## 6.5. Olovni lim

Sva oplata stroja je obložena milimetarskim olovnim limom kako bi apsorbiralo veći dio zračenja i zaštitilo ljude u blizini stroja. Olovni lim (slika 6.7) je dimenzioniran sa faktorom sigurnosti 5 (1 mm olova štiti od rentgenskog zračenja snake 75 kV) kako bi se štetni učinak na ljude i okolinu sveo na minimum.



Slika 6.7 Olovna zaštita od zračenja [13]

## ZAKLJUČAK

Ovaj rad proučava prednosti nerazornih ispitivanja plastomernih otpresaka rentgenskim zračenjem. Zbog ograničenih resursa nisu ispitane sve prednosti rentgena, ali otkrivanje nepravilnosti unutar neprozirnih otpresaka budi znatiželju i nadu da rentgen u preradbi plasomera možda jednog dana nađe primjenu.

Ispitivanje rentgenom ne može otkriti pogreške koje industrijska kamera bez problema otkriva i obratno. Predloženo rješenje je upotreba kamere i rentgena na istom otpresku. To omogućava da se iskoriste prednosti kamere i rentgena, a potisne većina mana istih.

Zbog niske cijene upotrebe industrijska kamera može slikati svaki otpresak koji izradi sustav za injekcijsko prešanje, a rentgen može slikati statistički uzorak i kameri sumljive otpreske. Ovaj način kontrole otpresaka bi povećao kvalitetu otpresaka koji se plasiraju na tržište, a isti stroj bi mogao služiti kao davač ulaznih podataka ekspertnog sustava za otklanjanje pogrešaka injekcijskog prešanja.

## LITERATURA

- [1] Nola M.: "Diplomski rad- Uklanjanje grešaka na injekcijski prešanim otprescima", FSB, 2000., Zagreb
- [2] Slavica M.: "Magistarski rad- Ekspertni sustav za vođenje procesa injekcijskog prešanja plastomera", FSB, 1996., Zagreb
- [3] [http://hr.wikipedia.org/wiki/Rendgenske\\_zrake](http://hr.wikipedia.org/wiki/Rendgenske_zrake), 2010.
- [4] [http://en.wikipedia.org/wiki/Radiogram\\_%28medicine%29](http://en.wikipedia.org/wiki/Radiogram_%28medicine%29), 2010.
- [5] [http://www.fmh.org/images/X-ray\\_machine.jpg](http://www.fmh.org/images/X-ray_machine.jpg)
- [6] [http://www.electron-x.co.uk/images/rental/vmx\\_main.jpg](http://www.electron-x.co.uk/images/rental/vmx_main.jpg)
- [7] <http://en.wikipedia.org/wiki/X-ray>, 2010.
- [8] Novaković M.: "Zaštita od ionizirajućih zračenja: Propisi u Republici Hrvatskoj s komentarima", Ekoteh-dozimetrija, 2001., Zagreb
- [9] <http://www.varian.com/media/xray/products/images/prd007e.jpg>
- [10] <http://www.varian.com/media/xray/products/pdf/ps2020.pdf>
- [11] [http://www.toshiba.ch/ikm/lib/ik-hr1d\\_larger\\_image.jpg](http://www.toshiba.ch/ikm/lib/ik-hr1d_larger_image.jpg)
- [12] <https://svn-create.freedesktop.org/public/create/docs/logo/images/light-bulb-glowing-filament-light-blue-uncropped-3-AHD.jpg>
- [13] [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2b/Lead\\_shielding.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2b/Lead_shielding.jpg)

## **POPIS PRILOGA**

- [1] patient CD (mamograf Siemens)
- [2] patient CD (mamograf Vila)