

Utjecaj zahtjeva novog izdanja norme HRN EN ISO 148 mjernu sposobnost Charpyjevih batova za ispitivanje udarnog rada loma

Ormuž, Pavao

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

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:235:115284>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-25**

Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Pavao Ormuž

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2017.



Sveučilište u Zagrebu

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Pavao Ormuž

Utjecaj zahtjeva novog izdanja norme HRN EN ISO 148 na mjernu sposobnost Charpyjevih batova za ispitivanje udarnog rada loma

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Izv.prof.dr.sc. Željko Alar

Zagreb, 2017.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne 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:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Pavao Ormuž** Mat. br.: **0035194430**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Utjecaj zahtjeva novog izdanja norme HRN EN ISO 148 na mjernu sposobnost Charpyjevih batova za ispitivanje udarnog rada loma**
Naslov rada na engleskom jeziku: **The influence of the new edition HRN EN ISO 148 on the measuring capability of the Charpy pendulum impact test**

Opis zadatka:

Ispitivanje udarnog rada loma Charpyjevim batom je metoda za utvrđivanje otpornosti metalnih materijala na udarna opterećenja. Novim izdanjem normi HRN EN ISO 148-1 za ispitivanje udarnog rada loma te norme HRN EN ISO 148-2 za umjeravanje uređaja doneseni su novi kriteriji za ispitivanje udarnog rada loma i umjeravanje Charpyjevih batova.

U radu je potrebno:

1. Opisati metode određivanja udarnog rada loma.
2. Opisati izmjene donošene u novom izdanju norme reda HRN EN ISO 148.
3. Eksperimentalno provesti umjeravanje Charpyjevog bata po starom i novom izdanju norme.
4. Eksperimentalno provesti ispitivanja sukladno starom i novom izdanju norme.
5. Analizirati dobivene rezultate i dati zaključke.

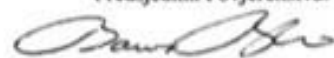
Zadatak zadan:
24. travnja 2017.

Rok predaje rada:
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2017.
3. rok: 22. rujna 2017.

Predviđeni datumi obrane:
2. rok (izvanredni): 30. 06. 2017.
3. rok: 25.9. - 29. 09. 2017.

Zadatak zadao:


Izv. prof. dr. sc. Željko Alar

Predsjednik Povjerenstva:

Izv. prof. dr. sc. Branko Bauer

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

Zahvaljujem prof. dr. sc. Željku Alaru na savjetima, vodstvu te ukazanom povjerenju prihvaćanjem mentorstva za ovaj rad, a također zahvaljujem asistentima Matiji Sakomanu i Dinu Bogdaniću te laborantima Romanu Divjaku i Ivanu Martinku.

Pavao Ormuž

SAŽETAK

Značaj mehaničkih ispitivanja materijala vrlo je velik, posebno za sigurnu upotrebu strojnih dijelova i mehaničkih konstrukcija kao i za unapređenje tehnologije. Za materijale su vrlo važna mehanička svojstva čvrstoće i žilavosti te njihova interakcija u eksploataciji. U ovom radu je opisano ispitivanje udarnog rada loma te je objašnjena metoda ispitivanja udarnog rada loma po Charpyju. Oprema za ispitivanje se mora redovito umjeravati i osiguravati sljedivost do nacionalnih i međunarodnih etalona. U eksperimentalnom dijelu je provedeno umjeravanje Charpyjevog bata sukladno starom i novom izdanju norme. Stare norme HRN ISO 148-1: 2009 i HRN EN ISO 148-2: 2009 su zamijenjene normama HRN EN ISO 148-1: 2016, HRN EN ISO 148-2: 2016. Provedeno je umjeravanje Charpyjevog bata, a nakon toga je provedeno na istom uređaju ispitivanje uzoraka s točnim dimenzijama sukladno normi te uzoraka kod kojih je napravljena pogreška. Na kraju je provedena analiza rezultata te doneseni određeni zaključci.

Ključne riječi: ispitivanje, žilavost, umjeravanje, Charpy bat, norma

ABSTRACT

The importance of mechanical testing is very big, especially for the safe usage of machine parts and mechanical constructions, as well as for improvements in process technology. Mechanical strength and toughness of materials, as well as their interaction in exploitation are very important properties. In this thesis, testing of bending rupture energy according to Charpy are described. The testing equipment must be regularly calibrated and its traceability must follow national and international standards. In the experimental part of this thesis, calibration of Charpy's maul is conducted according to the old and new types of standard. Old standards HRN ISO 148-1: 2009 and HRN EN ISO 148-2: 2009 are replaced by the new standards HRN EN ISO 148-1: 2016 and HRN EN ISO 148-2: 2016. After calibration of Charpy's maul, several other testing were conducted on samples with specific dimensions according to the standard, as well as on the samples with dimensional errors. Finally, a detailed analysis of the testing results was carried out, which led to the adoption of certain conclusions.

Key words: mechanical testing, toughness, calibration, Charpy maul, standard

Sadržaj

1) Uvod.....	1
2) Metode ispitivanja materijala.....	2
2.1) Udarni rad loma	3
2.1.1) Ispitivanje udarnog rada loma Izodovom metodom.....	5
2.1.2) Ispitivanje udarnog rada loma po Pelliniju	6
2.1.3) Ispitivanje udarnog rada loma po Bruggeru	7
2.1.4) Ispitivanje udarnog rada loma po Gardneru	7
2.1.5) Ispitivanje udarnog rada loma Charpyjevim batom	8
3) Umjeravanje Charpyjevog bata.....	11
3.1) Izmjene donesene u novom izdanju norme HRN EN ISO 148: 2016 u odnosu na HRN EN ISO 148: 2009	15
3.1.1) Direktna metoda 148-2.....	15
3.1.2) Indirektna metoda ISO 148-1	15
EKSPERIMENTALNI DIO.....	18
4) Eksperimentni dio	19
4.1) Plan ispitivanja	19
4.2) Umjeravanje Charpy bata	20
4.2.1) Direktno umjeravanje	20
4.2.2) Rezultati mjerenja	32
4.2.3) Indirektno umjeravanje	34
4.3) Ispitivanje udarnog rada loma	36
5) Analiza rezultata	38
5.1) Analiza indirektne provjere Charpy bata.....	38
5.2) Analiza ispitivanja udarnog rada loma	39
6) Zaključak	43

Popis kratica i oznaka

LIMS – laboratorij za ispitivanje mehaničkih svojstava

ISO – International Organization for Standardization

HRN – izvorna hrvatska norma

HRN ISO – norma preuzeta iz normizacijskog sustava ISO-a

HRN EN – norma preuzeta iz normizacijskog sustava CEN/CENELEC-a

ASTM – American Society for Testing and Materials

GUM – Vodič za izračun mjerne nesigurnosti

Popis slika

Slika 2.1. Univerzalna kidalica [2]	2
Slika 2.2. Dijagram udarni rad loma – temperatura [2].....	4
Slika 2.3. Princip ispitivanja udarnog rada loma po Izodu [3]	5
Slika 2.4. Dijagram analize loma po Pelliniju [3]	6
Slika 2.5. Princip ispitivanja udarnog rada loma po Gardneru [3]	7
Slika 2.6. Princip mehanizma Charpyevog bata [4]	8
Slika 2.7. Ispitni uzorak na osloncima [6].....	9
Slika 2.8. Ispitne epruvete: a) V urezom ; b) U urezom [5]	9
Slika 2.9. Konfiguracija ispitnih uzoraka sa podupiračima i osloncima [5].....	10
Slika 3.1 Dijelovi Charpy bata [6].....	12
Slika 3.2.Udarač, podupirači za ispitni uzorak i oslonci [6].....	14
Slika 4.1 Mjerna ura komparator.....	21
Slika 4.2 Komparator sa zakretnim ticalom	22
Slika 4.3 Mjerilo ravnoće i mjerni listići.....	22
Slika 4.4 Posebno obrađena epruveta 9,5 x 10,5 mm.....	22
Slika 4.5 Mjerno pojačalo Slika 4.6 LT Digitizer	23
Slika 4.7 Etalonski dinamometar (lims 127/Z30A-50N i lims 108/U1-500N)	23
Slika 4.8 Oslanjanje klatna na epruvetu	25
Slika 4.9 Mjerenje visine između podloga pomoću linelana i mjernih listića.....	26
Slika 4.10 Mjerenje kuta podupirača digitalnim kutomjerom	26
Slika 4.11 Radijus i širina nožnog bata listićima za mjerenje radijusa	27
Slika 4.12 Nazivna vrijednost mjerne skale je 150/300 J.....	28
Slika 4.13 Razmak između oslonaca mjereno digitalnim pomičnim mjerilom.....	29
Slika 4.14 Klinometar.....	29
Slika 4.15 Duljina klatna mjerena velikim pomičnim mjerilom	
od sredine osovine do središta epruvete	30
Slika 4.16 Kut klatna pomoću mjeren s klinometrom.....	30
Slika 4.17 Kut klatno epruveta određen pomoću indigo papira	31
Slika 4.18 Masa bata sa utezima određena s dinamometrom	31
Slika 5.19 Ispitni uzorak nakon mjerenje	35
Slika 5.1 Grafički prikaz rezultata umjeravanja indirektnom metodom	38
Slika 5.2. Grafički prikaz rezultata dobivenih ispitivanjem udarnog	
rada loma na ispitnom skupu uzoraka I.....	39
Slika 5.3. Grafički prikaz rezultata dobivenih ispitivanjem udarnog	
rada loma na ispitnom skupu uzoraka A	40

Slika 5.4. Grafički prikaz rezultata dobivenih ispitivanjem udarnog rada loma na ispitnom skupu uzoraka B.....	40
Slika 5.5. Grafički prikaz rezultata dobivenih ispitivanjem udarnog rada loma na ispitnom skupu uzoraka C.....	41
Slika 5.6. Grafički prikaz srednje vrijednosti rezultata mjerenja	41
Slika 5.7 Dijagram maksimalnih odstupanja rezultata	42

Popis tablica

Tablica 3.1 Tolerancija za određene dimenzije ispitnih uzoraka HRN EN ISO 148-1: 2016	16
Tablica 3.2 Tolerancija za određene dimenzije ispitnih uzoraka HRN EN ISO 148-1: 2009	17
Tablica 4.1 Mjerni uređaji korišteni prilikom umjeravanja [7].....	21
Tablica 4.2. Stanje okvira mjerila (Ormuž, Pavao).....	24
Tablica 5.3 Geometrijske karakteristike (Pavao Ormuž)[6]	27
Tablica 4.4. Provjera potencijalne energije i brzine udara	32
Tablica 4.5. Gubitci uslijed trenja	32
Tablica 4.6 Mjerna skala	33
Tablica 4.10 Kemijski sastav ispitnih uzoraka.....	34
Tablica 4.11 Rezultati mjerenje indirektna metode [8].....	35
Tablica 4.12 Dimenzije uzoraka izrađeni sukladno normi.....	36
Tablica 4.13 Rezultati dobiveni eksperimentalnim mjerenjem [J]	37
Tablica 5.1 Maksimalne dozvoljene vrijednosti za ponovljivost i odstupanje	38

KAZALO POJMOVA

SIMBOL	JEDINICA	ZNAČENJE
α	°	Kut pada
b	J	Ponovljivost
B	mm	Debljina ispitnog uzorka
B_v	J	Potencijal njihala udarnog stroja određen posrednom provjerom
F	N	Sila izvršena od klatna kada ja mjerena od l_2
F_g	N	Sila izvršena njihalom uzrokovana gravitacijom
g	m/s ²	Ubrzanje zbog gravitacije
g	m/s ²	Ubrzanje zemljine sile teže
GUM	-	Vodič za izračun mjerne nesigurnosti
h	m	Visina pada njihala
H_1	m	Visina uspona njihala
h_1	m	Početna visina bata
h_2	m	Visina bata nakon loma
K	J	Upijena energija
K_1 ili β_1	J/°	Početna potencijalna energija / kut podizanja
K_{calc}	J	Proračunata energija
K_N	J	Nazivna početna potencijalna energija
K_S	J	Izmjerena upijena energija
K_T	J	Ukupna upijena energija

SIMBOL	JEDINICA	ZNAČENJE
KV_R	J	Izmjerena vrijednost KV referentnog materijala korištenog u posrednoj provjeri
KV_V	J	Srednja vrijednost KV ispitnih uzoraka ispitanih za posrednu provjeru
l	mm	Udaljenost okomita na ravninu osciliranja njihala
L	mm	Udaljenost između težišta njihala i osi rotacije
L	mm	Duljina ispitnog uzorka
M	Nm	Moment ($f \times l_2$)
m	kg	Masa bata
n_v	-	Broj referentnih uzoraka za indirektnu provjeru bata
p	J	Gubici trenja u pokazivaču
p'	J	Gubici trenja u ležajevima i otpor zraka
P_B	J	Korekcija utrošene energije za gubitke kuta i podizanja
r	J	Rezolucija pokazivača
r	J	Rezolucija skale
RM	-	Referenti materijal
t	s	Period klatna
u	-	Standardna nesigurnost
v	m/s	Brzina bata
W	mm	Širina ispitnog uzorka

TEORETSKI DIO

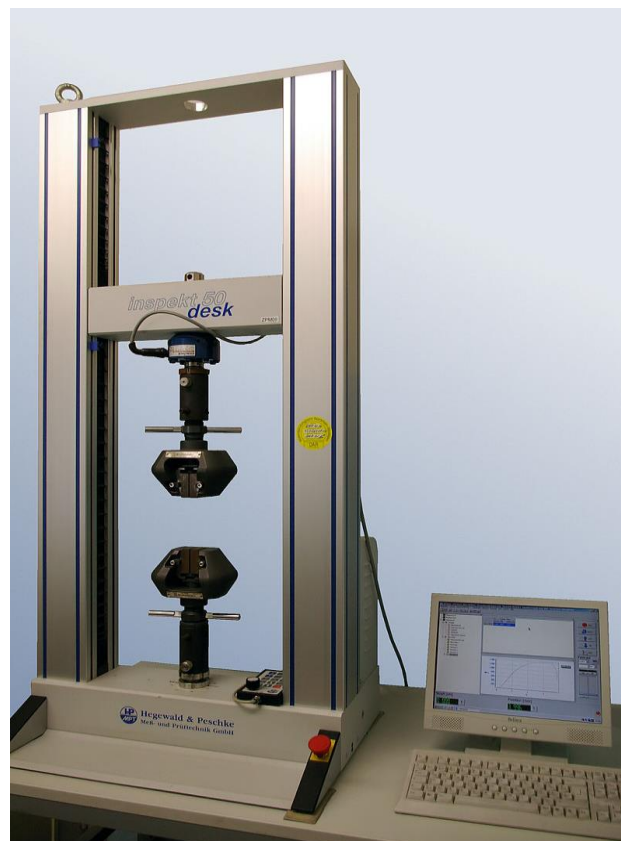
1) Uvod

Ispitivanje mehaničkih svojstava ima zadatak poboljšanja načina upotrebe i poboljšanje svojstava postojećih materijala, također i kako bi se dobili materijali za nove proizvode, odnosno nova područja primjene. Mehanička svojstva su kao i ostala svojstva posljedica strukturnog stanja materijala koje se dobiva obradom određenog sastava određenim tehnološkim postupkom. Moguće je postići točno ciljano strukturno stanje koje daje željena svojstva, ali je nemoguće poznavanjem korelacije "strukturno stanje i mehanička svojstva" točno izračunati svojstva. Zbog toga se svojstva realnih materijala mogu utvrditi samo eksperimentom. Uobičajeno je u praksi da su strojni elementi rijetko opterećeni statički, već su sile dinamične i mijenja im se smjer. Strojni elementi su izloženi velikim promjenama intenziteta naprezanja i njihovih smjerova. Dinamička opterećenja nastaju kada sile rastu velikom brzinom. Kod takvog opterećenja obično dolazi do lomova pa dinamička ispitivanja proučavaju ponašanje kod takvih uvjeta. Svakodnevni tehnološki razvoj prati uvođenje novih i usavršavanje postojećih metoda i postupaka ispitivanja. Za upotrebu, preradu i obradu, kao i za kontrolu stanja nakon nekog vremena eksploatacije, provode se statička i dinamička ispitivanja. Dinamičko ispitivanje može biti ispitivanje udarnog rada loma i ispitivanje umora. Moguće je pri ispitivanju oponašati vanjske uvjete kao što su utjecaji korozivnih medija i visoke i niske temperature. Ispitivanje udarnog rada loma koristi princip mjerenja potrošnje (apsorbiranja) energije za lom epruvete. Udarni rad loma određuje otpornost materijala krhkom lomu i mjera je žilavosti materijala. Udarni rad je energija utrošena za lom ispitnog uzorka kod ispitivanja i mjeri se u Džulima. Metode ispitivanja žilavosti mogu biti po Izodu, Bruggeru, Pelliniju i Charpyju. Tijekom ispitivanja moguća je promjena temperature uzorka. Metoda koju smo proučili i kojom smo se bavili opisana je detaljno u nastavku rada. Opisana je konstrukcija Charpy bata kao i tehnika izvođenja ispitivanja uzorka.

2) Metode ispitivanja materijala

Statičkim vlačnim pokusom se ispituje elastično i plastično ponašanje materijala kod jednoosnog vlačnog naprezanja. Ovim ispitivanjem se dobivaju svojstva kao što su granica razvlačenja i vlačna čvrstoća, a provodi se na kidalicama na kojima se epruvete opterećuju do loma. Prilikom ispitivanja mjere se sila i produljenje epruvete te se crta dijagram „sila-produljenje“. Moguće je provesti ispitivanje na epruveti koja je ugrijana na određenu temperaturu da se utvrdi ponašanje materijala pri različitim temperaturama. Mehanička svojstva materijala pod djelovanjem jednoosnog tlačnog naprezanja se utvrđuju statičkim tlačnim pokusom. Najčešće se provodi na betonu i keramici i u slučajevima kada se metalni i polimerni materijali koriste za klizne ležajeve i brtve. Provodi se na prešama na epruvetama okruglog i četvrtastog presjeka.

Savojno ispitivanje je ispitivanje svojstava krhkih materijala (alatni čelici, sivi lijev i keramika). Provodi se na kidalicama, a oblici i dimenzije epruvete su različite i ovise o materijalu. Epruveta se opterećuje u sredini raspona savojnom silom gdje se javlja maksimalni savojni moment. Dobiva se savojna čvrstoća i savojna granica razvlačenja. Postoje još i ispitivanja puzanja i umor materijala [1].

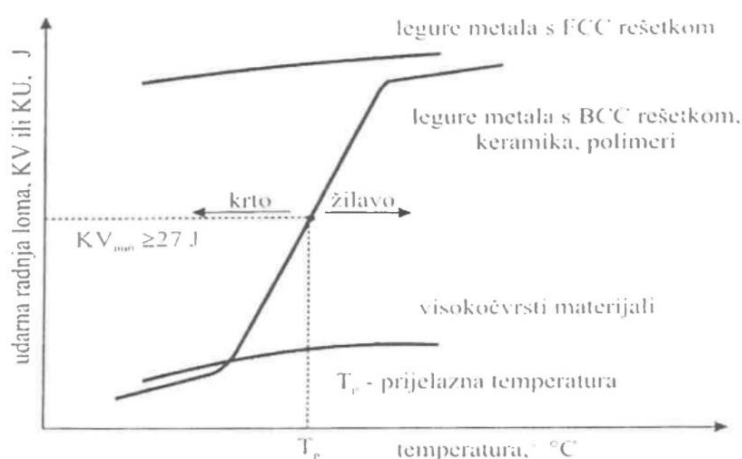


Slika 2.1. Univerzalna kidalica [2]

2.1) Udarni rad loma

Udarni rad loma je otpornost materijala prema udarnom opterećenju. Definira se kao energija utrošena da bi se izazvalo razaranje strukture (lom). Žilavi materijali pokazuju plastičnu deformaciju prije loma. Suprotnost žilavosti je lomljivost gdje lom nastupa bez vidljive deformacije. Lomovi nastaju kada nije moguće razgraditi naprezanje plastičnom deformacijom. O tom apsorbiranju (razgradnji) energije govori žilavost materijala. Ona predstavlja količinu energije koja se utroši za lom i deformaciju. Razmatra se postojanje žilavog i krhkog loma. Žilavi lom nastaje pri malim brzinama širenja pukotine, a krhki lom ne pokazuje plastičnu deformaciju nego samo elastičnu i pukotina se brzo širi. Postoje više karakteristika žilavosti temeljene na ispitivanjima sa zarezanim uzorcima. Prijelazna temperatura žilavosti je u uskoj vezi s udarnim radom i označava visinu temperature na prijelazu s visokih prema niskim vrijednostima. Iznad te temperature se može očekivati žilavo, a ispod nje krhko ponašanje materijala. Također postoje i granična temperatura žilavosti i temperatura duktilnosti koje se ispituju na uzorku s utorom i padajućim utegom. Na žilavost utječu temperatura, sastav materijala, udio nečistoća, mikrostruktura, a kod mjerenja žilavosti na rezultate će znatno utjecati oblik i dimenzije ispitnih uzoraka, njihova orijentacija na uređaju koji posjeduje karakteristike koje također utječu na rezultate. Ponajveći utjecaj pridonosi temperatura eksploatacije i ispitivanja. Snižanim temperaturama karakterističan je pad žilavosti, posebice kod metalnih materijala (nehrđajući čelici i legure aluminija ne pokazuju takav pad). Na višim temperaturama javlja se žilaviji lom (vlaknasti presjek) i žilavost raste. Kod žilavih materijala s FCC rešetkom kao što su aluminij, bakar i nikal udarni rad loma se neznatno snižava sa promjenom temperature i deformabilini su u širokom temperaturnom intervalu. Krhki materijali kao što su visokočvrsti čelici i keramika imaju nisku žilavost neovisno o temperaturi. Metali s BCC rešetkom imaju karakterističnu krivulju s izraženom prijelaznom temperaturom. To je temperatura na kojoj materijal prijelazi iz žilavog u krhko stanje. Pojam žilavosti je povezan s rastezljivošću, ali se u pravilu rastezljivost odnosi na statičko vlačno ispitivanje dok je žilavost udarno opterećenje [1].

U području ispitivanja žilavosti razlikujemo udarni rad loma i lom na žilavost. Udarni rad loma je princip utrošene energije za lom epruvete i potpuno je usporedna veličina koja se ne može koristiti za proračun konstrukcija. Mjeri se razlika početne potencijalne energije i energije bata nakon udara. To predstavlja energiju utrošenu za lom epruvete. Krhki i žilavi materijali kao što su sivi lijev, alatni čelici i duromeri ispituju se glatkim epruvetama bez utora, a veličine koje se još mogu dobiti glatkim epruvetama su probojni udarni rad i kut uvijanja. Svaka epruveta za ispitivanje primjenjivijih čelika posjeduje početni zarez u obliku slova "V" ili slova "U" koji je konzentator naprezanja.



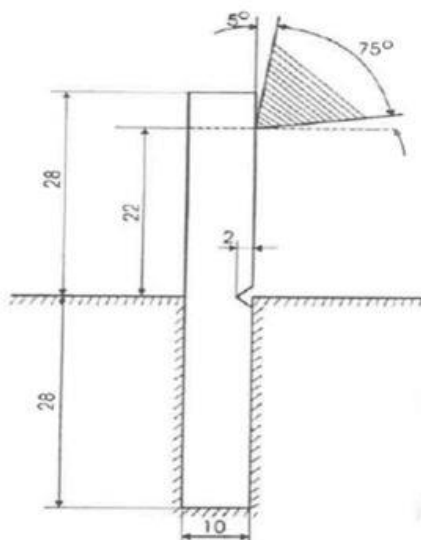
Slika 2.2. Dijagram udarni rad loma – temperatura [2]

Tablica 2.1. Utjecaj kemijskih elemenata na udarni rad loma

Ugljik	Povećanjem sadržaja ugljika smanjuje se udarni rad loma i deformabilnost i zavarljivost, a povećava se vlačna čvrstoća i granica razvlačenja.
Mangan	Povećanjem mangana smanjuje se udarni rad loma, a povećava se vlačna čvrstoća i tvrdoća. Također zavarivanje je otežano s povećanje i povećava se sklonost zakaljivanju. Udarni rad loma se povećava kada je sadržaj manji od 0,5%.
Molidben	Do sadržaja 2,25% molidben povećava udarni rad loma, a iznad smanjuje. Bolja su mehanička svojstva na povišenim temperaturama, povećava žilavost i poboljšava korozivnu postojanost. Iznad 0,2% povećava se granica razvlačenja
Aluminij	Iznad 0,06% sadržaja aluminija u smanjuje udarni rad loma i plastičnost, povećava se sklonost pukotinama i vlačnoj čvrstoći.

2.1.1) Ispitivanje udarnog rada loma Izodovom metodom

Izodova metoda je udarni test ponajprije za ispitivanje karakteristika metalnih reznih alata. Prilikom korištenja uzorak je postavljen konzolno, utor se nalazi sa strane udara bata i osigurava koncentraciju naprezanja, onemogućuje plastičnu deformaciju i dovodi do loma na tom mjestu. Za osnovnu potencijalnu energiju se uzima 150 J. Udarni rad je mjerilo otpora prema opterećenju bata i mjeri se utrošenom energijom za lom. Dobivena veličina nema mehaničko svojstvo već samo svojstvo usporedbe za druge materijale. Početna energija bata je u području od 2,7 do 22 Džula i udara uzorak veličine 63,5 x 12,7 x 12,7 mm s utorom 2,5 mm. Utrošeni rad se dijeli s površinom poprečnog presjeka uzorka i iskazuje se u Džulima po metru kvadratnom. Za polimerne materijale uzorak je debljine 3,2 mm, za drvo je uzorak 10 x 10 x 280

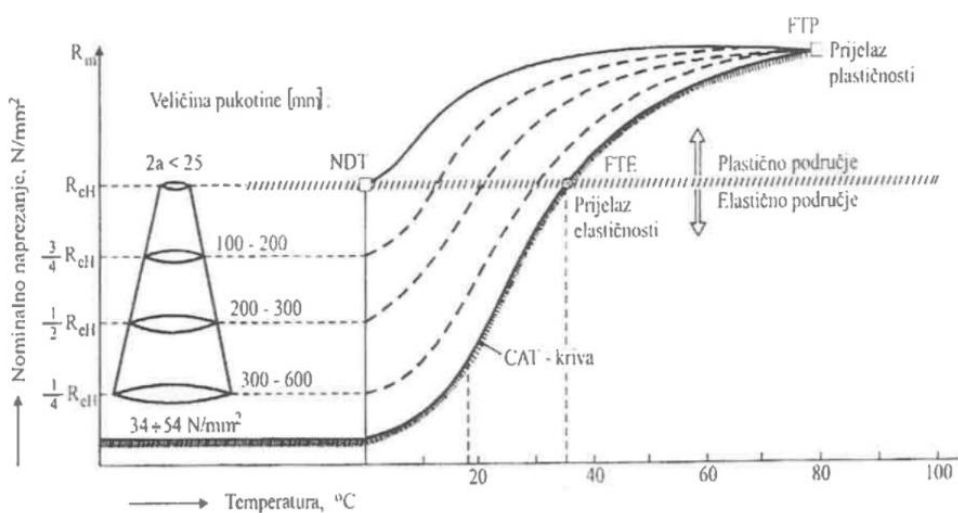


mm. Nedostatak je u tome što je metoda osjetljiva na promjenu parametara[3].

Slika 2.3. Princip ispitivanja udarnog rada loma po Izodu [3]

2.1.2) Ispitivanje udarnog rada loma po Pelliniju

Metoda se provodi s padajućim utegom na uzorcima s navarom u kojima je utor. Najčešće se primjenjuje kod ispitivanja temperature nulte duktilnosti. To je mjera žilavosti i najveća temperatura pri kojoj počinje rasti mikro pukotina i prodire kroz presjek uzorka (gube se svojstva plastičnosti). Ispod te temperature se očekuje krhko ponašanje iako je naprežanje niže od granice tečenja, a iznad nje žilavo ponašanje materijala. Definirana je 1950. godine kao temperatura pri kojoj ploča ostaje ravna nakon loma eksplozijom, odnosno širenje pukotine nastaje samo u prisutnosti elastičnih naprežanja. Kod ovog ispitivanja uzorak se oslanja na oslonac, a navar na sebi ima urez iz kojeg se inicira pukotina pri slobodnom padu utega [3].



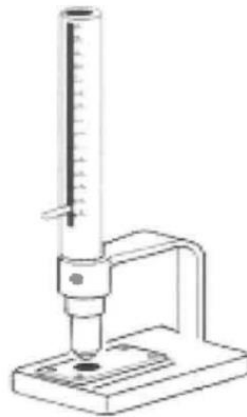
Slika 2.4. Dijagram analize loma po Pelliniju [3]

2.1.3) Ispitivanje udarnog rada loma po Bruggeru

Ovo ispitivanje se provodi za čelike koji služe za izradu zupčanika za mjenjače. Uzorci su valjkastog oblika promjera 25 mm i duljine 60 mm koji imaju zube veličine 7x20 mm. Bat ima potencijalnu energiju 150 J pod kutom 30 stupnjeva. Bruggerov uzorak se učvršćuje na takav način da bat udara cijelu površinu. Sila pri kojoj uzorak puca je parametar koji se vrednuje kao udarna otpornost materijala [3].

2.1.4) Ispitivanje udarnog rada loma po Gardneru

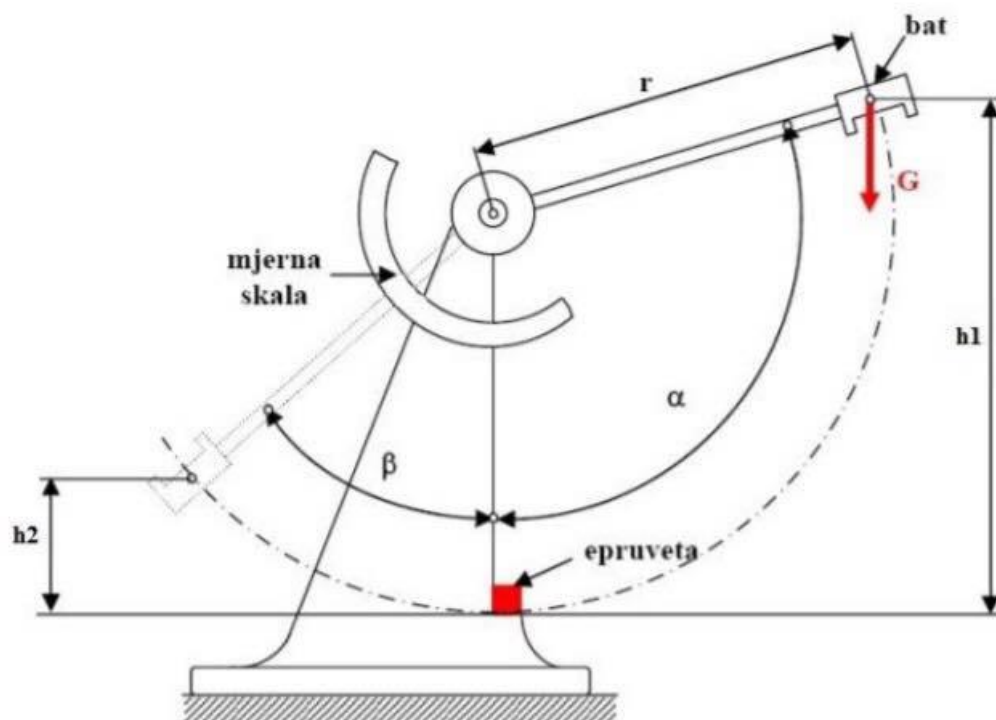
Uređaj sadrži cijev u kojoj se nalazi klizač sa određenom masom. Klizač se spušta da padne i mijenja se visina početnog položaja dok god se ne desi lom uzorka. Izračunava se prosječna visina kod koje se 50% uzoraka slomi. Koristi se kod lijevanih proizvoda bez određenog smjera loma, koji se javlja na najslabijem mjestu iako je dovoljno da se samo dovodi deformacija ili pojava pukotine. Potreban je veliki broj uzoraka i mora se precizno podešavati visina pada osim kod automatskih uređaja[3].



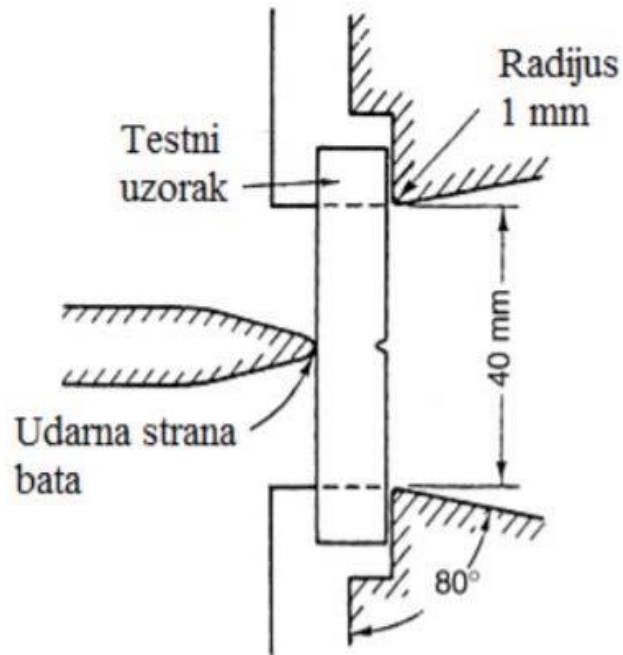
Slika 2.5. Princip ispitivanja udarnog rada loma po Gardneru [3]

2.1.5) Ispitivanje udarnog rada loma Charpyjevim batom

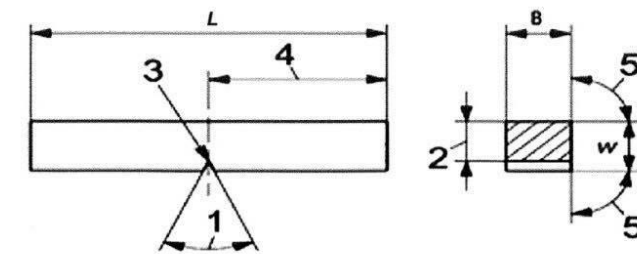
Ovu metodu je razvio francuski znanstvenik Georges Charpy 1905. godine. Charpy je najzastupljeniji uređaj za ispitivanje žilavosti. Mjeri se utrošak energije za lom epruvete. Koriste se uzorci sa urezom koji su oslonjeni na dva oslonca i udarcem bata po sredini budu slomljeni na suprotnoj strani od ureza. Bat pri određenoj visini h posjeduje potencijalnu energiju. Puštanjem bata ta potencijalna energija prelazi u kinetičku i u trenutku kada je potencijalna energija nula, bat ima brzinu oko 5,5 metara u sekundi te udara u postavljeni ispitni uzorak. Nakon udara bat se penje na određenu visinu te se iščitava energija na analognom pokazivaču. Potencijalna energija bata je otprilike 300 džula. Dio te energije se troši na trenje u ležajevima tako da kada nema ispitnog uzorka analogni pokazivač neće pokazati nula džula. Uzorak je oslonjen na dva kraja i slomljen je jednim udarcem bata koji udara po sredini, ali na suprotnoj strani od zarez. Standardni uzorak je dužine 55 mm te visine i širine 10 mm. Na epruveti zarez može biti u obliku slova "V" i u obliku slova "U". Temperatura laboratorija trebala bi biti 24 Celzijeva stupnja jer u slučaju zagrijavanja ili hlađenja se mogu dobiti različiti rezultati [3].



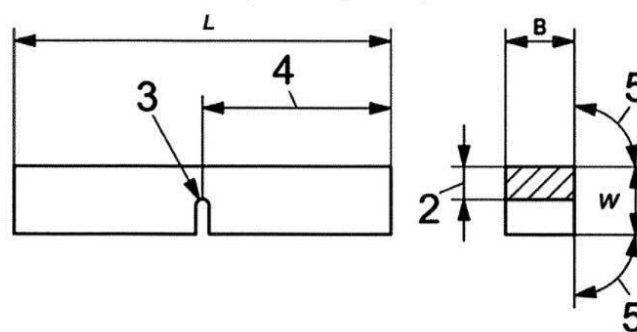
Slika 2.6. Princip mehanizma Charpyevog bata [4]



Slika 2.7. Ispitni uzorak na osloncima [6]

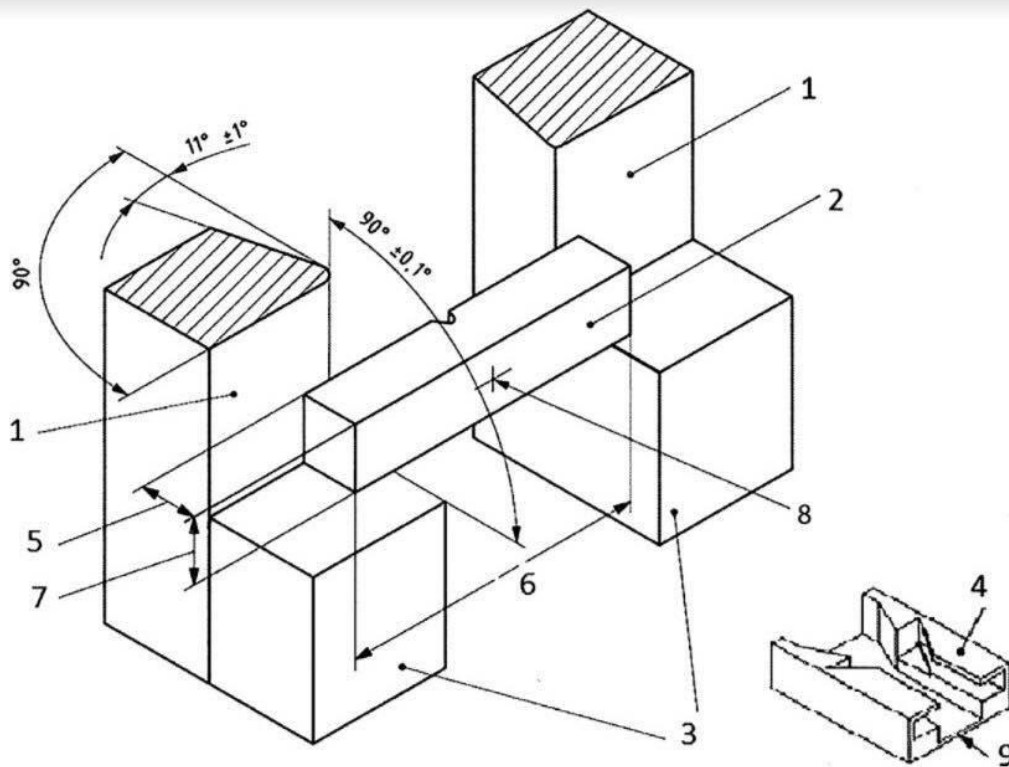


a) V-notch geometry



b) U-notch geometry

Slika 2.8. Ispitne epruvete: a) V urezom ; b) U urezom [5]



1	Vertikalni oslonac
2	Ispitni uzorak
3	Horizontalni oslonac
4	Zaštita
5	Visina ispitnog uzorka
6	Duljina ispitnog uzorka
7	Širina ispitnog uzorka
8	Centar udara

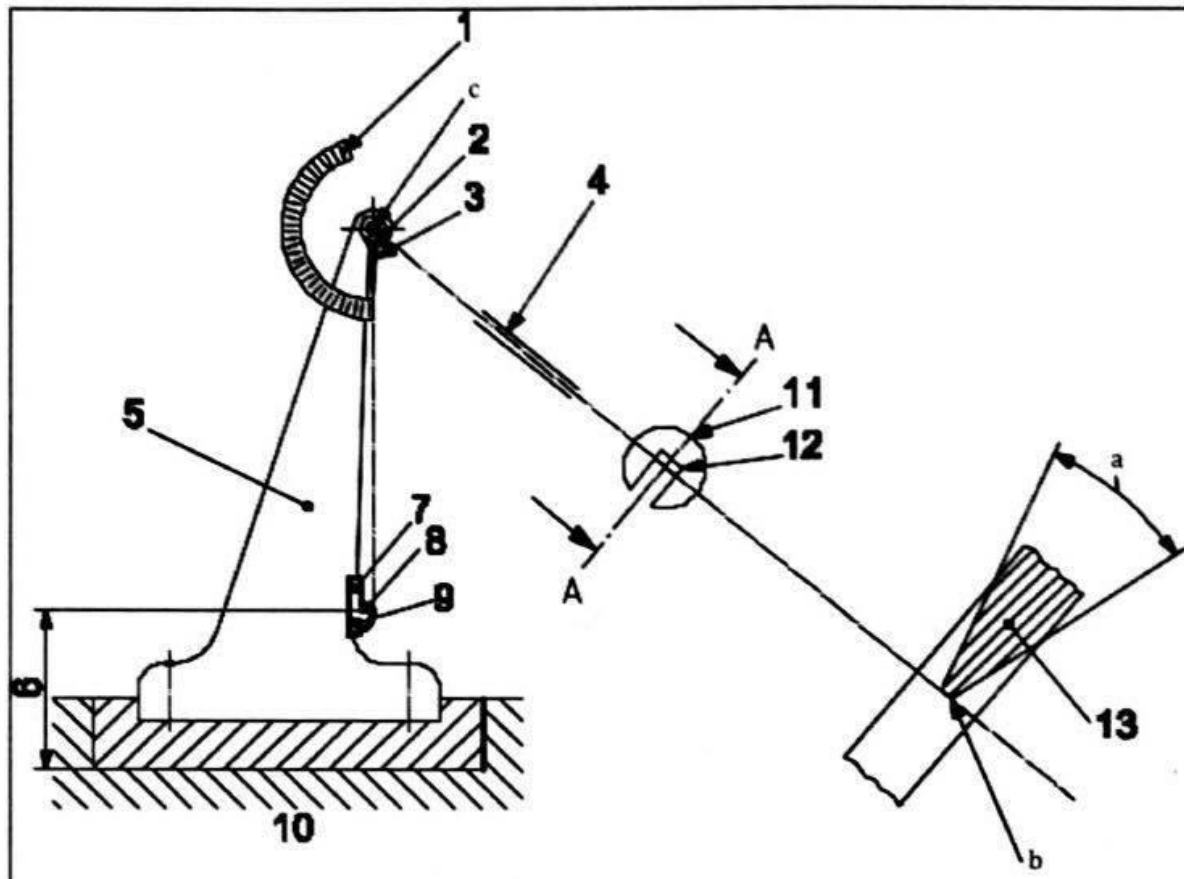
Slika 2.9. Konfiguracija ispitnih uzoraka sa podupiračima i osloncima [5]

3) Umjeravanje Charpyjevog bata

Za usporedbu izmjerenih svojstava i rezultata razvile su se normirane metode ispitivanja, kao što su ASTM (American Society for Testing and Materials) i ISO međunarodna organizacija za standardizaciju koja postavlja zahtjeve za ispitivanje opisano u ovom radu (International Organization for Standardization).

Postupak umjeravanja se primjenjuje za proračun i procjenu mjerne nesigurnosti udarnog rada loma. Norma ISO 148 opisuje dvije metode provjere. Direktna metoda uključuje mjerenje dijelova uređaja, a indirektna metoda je dinamična i koristi referentne uzorke za provjeru na mjernoj skali za utrošenu energiju. Procjenjuje se ukupna utrošena energija koja se sastoji od energije za lom epruvete i unutarnji gubici (otpor zraka, trenje u ležajevima, vibracije okvira i klatna te vibracije temelja). Postupak je napravljen da prati radnje tijekom umjeravanja Charpyjevog bata tijekom analize rezultata i proračuna vrijednosti sukladno normi HRN EN ISO 148:2016. Umjeravanje i ispitivanje provode mjeritelji laboratorija za ispitivanje mehaničkih svojstava. Voditelj laboratorija mora pregledati i odobriti postupak, tehnički voditelj je odgovoran za izradu i održavanje dokumenata povezanih s postupkom i praćenje norme. Mjeritelj evidentira sve podatke u radnim podlogama. Prije provedbe umjeravanja evidentiraju se podaci o mjerilu, okolišnim uvjetima, opremi kojom se provodi umjeravanje, mjeritelju i navode se razne napomene. Za Charpyjev bat potrebni su podaci kao što su naziv, proizvođač, porijeklo, vrsta, serijski broj, godina, mjerna područja, a za okolišne uvjete potrebni su temperatura i specifičnost prostora. Temperatura na kojoj se provodi umjeravanje treba biti između 18 i 28 Celzijevih stupnjeva. Mjeri se termometrom koji je sastavni dio laboratorija. Prostor za umjeravanje ne smije biti izložen vibracijama, vlazi, temperaturnim promjenama i prašini.

Na početku umjeravanja provodi se opći pregled bata, a on sadrži pregled temelja bata, provjera okvira, klatno, oslonci i podupirači te analogni pokazivač za očitavanje. (Preporučano prema: Postupak za umjeravanje mjerila za ispitivanje udarnog rada loma Charpyjevim batom 2016: 11-14). Vizualnim pregledom se provjerava da je uređaj u ispravnom stanju (da nema defekata na ležajevima bata) i da na uređaj ne djeluju štetni okolišni uvjeti, a mase se mogu ispravno identificirati. Temelji za koje je uređaj pričvršćen moraju biti 40 puta veće mase od mase bata. Kod provjere uređaja potrebno je kontrolirati moment stezanja vijaka koja se provodi odgovarajućim viličastim ključevima. Provjera okvira uređaja se sastoji od određivanja slobodnog položaja bata, položaja u odnosu na oslonce, poprečni i radijalni hod ležaja i odstojanje između čekića i kućišta. Vizualno se provode provjere slobodnog otpuštanja bata i otpuštanja kočnice za nenamjerno otpuštanje prije rukovanja [6].

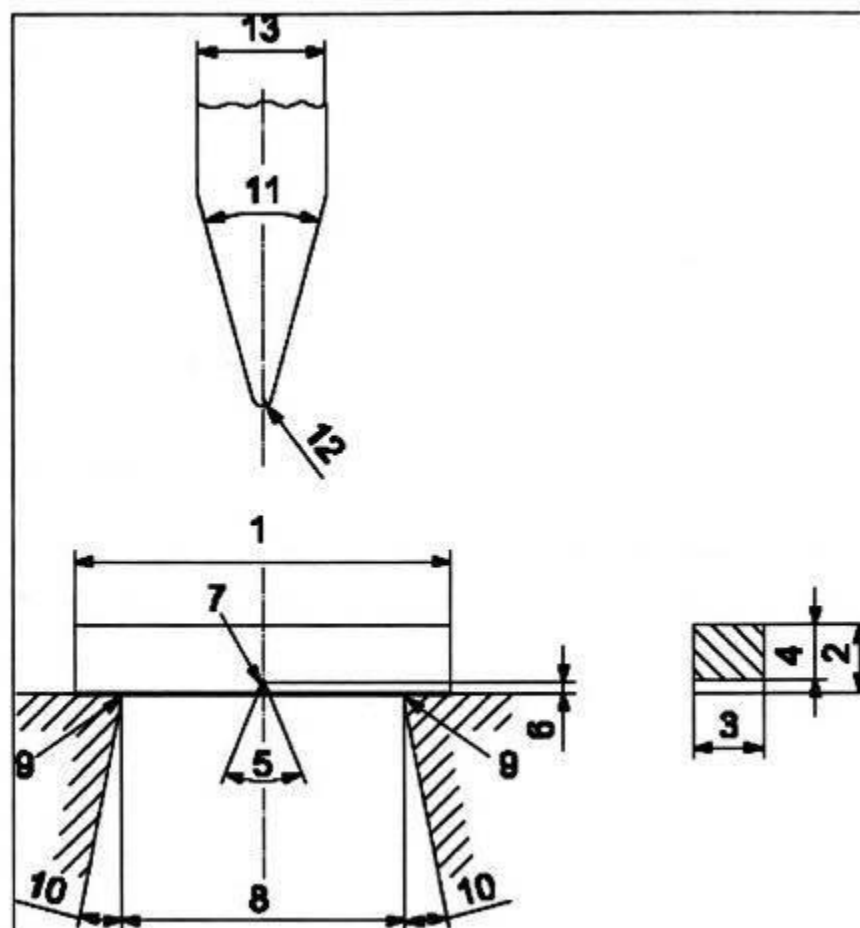


1 - Mjerna skala	9 - Oslonci za epruvetu
2 - Ležajevi bata	10 - Temelj
3 - Pokazivač trenja	11 - C tip udarač
4 - Klatno	12 - Rub udarača
5 - Okvir uređaja	13 - Udarac
6 - Baza uređaja	a) Kut udarača
7 - Nakovanj	b) Radijus ruba udarača
8 - Ispitni uzorak (epruveta)	c) Os rotacije

Slika 3.1 Dijelovi Charpy bata [6]

Os rotacije bata treba biti paralelna s referentnom površinom do unutar dvije tisućinke. U radnu podlogu se to opisuje vidljivom provjerom, a kada visi slobodno klatno treba visjeti tako da je rub udarača unutar 2,5 mm od pozicije gdje je epruveta. Provjera se provodi s uzorkom 9,5 x 10,5 mm. Ravnina njihanja klatna mora biti 90 stupnjeva u toleranciji 0,1 stupanj u odnosu na

os rotacije. Ta provjera se provodi klinometrom pa se geometrijski izračunavaju odstupanja. Provjera ostvaruje li udarač kontakt preko pune površine se radi tako da se postavlja epruveta zamotana u ljepljivu traku. Rub udarača se omota indigo papirom te se prislanja na epruvetu dok je ne dodirne. Bat se podigne za nekoliko stupnjeva i otpušta, te ne smije dotaknuti epruvetu po drugi put. Trebao bi ostati trag na uzorku preko cijele površine od papira. Bat mora biti namješten tako da središte udarača i centar podupirača podudara s točnošću 0,5 mm. To se mjeri pomičnim mjerilom. Provjera klatna uključuje provjeru potencijalne energije, pogreške očitavanja utrošene energije, brzine klatna u trenutku udara, energije utrošene zbog trenja, položaj centra udaranja, radijus ruba udarača i kut između kontakta udarača i horizontalne osi uzorka. Potencijalna energija se mora razlikovati od nazivne energije za maksimalno 1%. Brzina udara mora biti između 5 i 5,5 m/s. Gubitci otpora zraka, trenje ležajeva i trenje pokazivača se određuju formulama uz poznati kut uspona i poznatu energiju. Trenje u ležajevima se radi na način da se otpusti klatno i dopusti se deset polu zamaha, a nakon jedanaestog pomakne se mehanizam za 5% skale i zabilježi se ili kut uspona ili energija te se koristi formula. Udaljenost od centra udara na os rotacije se mjeri tako da se klatno njiše pod kutom od pet stupnjeva i mjeri se vrijeme te se koristi formula. Postoje dvije vrste udarača: 2 mm i 8 mm. Širina se mjeri pomičnim mjerilom. Provjera podupirača i oslonaca se sastoji od njihove konfiguracije, udaljenosti između podupirača, mjerenje konusa i radijusa podupirača te razmaka za izlaz slomljene epruvete. Površine nosača moraju biti paralelne, unutar 0,1 mm. Dvije površine oslonaca i podupirača moraju biti pod 90 stupnjeva uz toleranciju unutar 0,1 stupanj. Kut se mjeri pomoću digitalnog kutomjera [6].



Slika 3.2. Udarac, podupirači za ispitni uzorak i oslonci [6]

Mora se osigurati dovoljna zračnost da slomljeni uzorak može izaći iz uređaja bez smetnji. Provjera opreme za očitavanje se sastoji od pregleda podjele skale i pregleda kazaljke pokazivača. Skala je u jedinicama kuta ili energije. Rezolucija se dobiva iz omjera širine kazaljke i udaljenosti dvije oznake podjele. Moguća je i provjera indirektnim postupkom korištenjem referentnih ispitnih uzoraka. Referentni uzorak mora biti što bliže gornjoj ili donjoj granici raspona upotrebe. Uzorci moraju biti dobiveni od referentnog materijala. Direktna provjera se obavlja u vrijeme instalacije i nakon pomicanja uređaja, a indirektna se obavlja unutar dvanaest mjeseci. Indirektna metoda umjeravanja se koristi provjerom referentnim epruvetama. Sastoji se od provjere točaka na mjernoj skali pomoću ispitnih uzoraka. „Koriste se referentni uzorci za usporedbu rezultata dobivenih sa uređajem koji se razmatra ili set referentnih uređaja sa SI slijedivošću K vrijednosti dobivene u skladu s normom. Također se koriste referentni uzorci za praćenje tijekom određenog razdoblja bez obzira na drugi uređaj.

Indirektna provjera se radi na dvije razine apsorbirane energije u rasponu u kojem se uređaj koristi. Za svaku razinu apsorbirane energije koristi se set od pet referentnih epruveta.

Uzorci moraju biti što bliže gornjoj i donjoj granici raspona uporabe. Uzorci moraju biti dobiveni od referentnog materijala, a uzimaju se u obzir i uzorci koji se ne prelome. Postoji i direktna provjera koja prati indirektnu, a obavlja se u vrijeme instalacije. Indirektna provjera se obavlja u razdoblju od dvanaest mjeseci i kada su zamijenjeni podupirači i udarač. Također se provodi direktno umjeravanje ako su rezultati indirektnog umjeravanja nezadovoljavajući.

3.1) Izmjene donesene u novom izdanju norme HRN EN ISO 148: 2016 u odnosu na HRN EN ISO 148: 2009

3.1.1) Direktna metoda 148-2

U novijem izdanju norme, koja se odnosi na direktno umjeravanje, postoje razlike u dijelu gdje je opisan okvir uređaja. Kada klatno visi slobodno rub udarača treba biti unutar 2,5 milimetra od pozicije gdje bi prilikom testa trebao dotaknuti ispitni uzorak, a u starijem izdanju norme (2009.) udarač mora biti unutar 0,5 milimetra.

3.1.2) Indirektna metoda ISO 148-1

U novom izdanju norme HRN EN ISO 148-1;2016 u odnosu na staru donesene su promjene u zahtjevima površinske obrade kod epruvete s U utorom. Kod obrade su definirana odstupanja za nominalnu dimenziju epruvete i donesen je zahtjev za površinskom hrapavosti koja mora biti manja od 5 μm za ispitne uzorke s V i U utorom. U nastavku su priložene tablice, 2.1 koja prikazuje tolerancije i dimenzije za normu HRN EN ISO 148-1;2016 i tablica 2.2 koja pokazuje dimenzije i tolerancija za ispitne uzorke u staroj normi HRN EN ISO 148-1; 2009, te se mogu primijetiti njihove razlike.

Tablica 3.1 Tolerancija za određene dimenzije ispitnih uzoraka HRN EN ISO 148-1: 2016

oznaka	simbol	Ispitni uzorak s V utorom			Ispitni uzorak s U utorom		
		Nominalna dimenzija	tolerancija		Nominalna dimenzija	tolerancija	
Duljina	L	55mm	$\pm 0,60\text{mm}$	js15	55mm	$\pm 0,60\text{mm}$	Js15
Širina	W	10mm	$\pm 0,075\text{mm}$	Js12	10mm	$\pm 0,11\text{mm}$	Js13
Debljina	B	10mm	$\pm 0,11\text{mm}$	Js13	10mm	$\pm 0,11\text{mm}$	Js13
Standardni uzorak Smanjeni uzorak		10mm	$\pm 0,11\text{mm}$	Js13	10mm	$\pm 0,11\text{mm}$	Js13
		7,5mm	$\pm 0,11\text{mm}$	Js13	7,5mm	$\pm 0,11\text{mm}$	-
		5mm	$\pm 0,06\text{mm}$	Js12	5mm	$\pm 0,06\text{mm}$	-
		2,5mm	$\pm 0,05\text{mm}$	Js12	-	-	-
Kut usjeka	1	45°	$\pm 2^\circ$	-	-	-	-
Dubina usjeka	2	8mm	$\pm 0,075\text{mm}$	Js12	5mm	$\pm 0,09\text{mm}$	Js13
Radijus usjeka	3	0,25mm	$\pm 0,025\text{mm}$	-	1mm	$\pm 0,07\text{mm}$	Js12
Centriranje usjeka (pozicioniranje)	4	27,5mm	$\pm 0,42\text{mm}$	Js15	27,5mm	$\pm 0,42\text{mm}$	Js15
Kut između simetrije usjeka i longitudinalne osi uzorka		90°	$\pm 2^\circ$	-	90°	$\pm 2^\circ$	-
Kut između pozicioniranje stranica ispitnog uzorka	5	90°	$\pm 2^\circ$	-	90°	$\pm 2^\circ$	-
Površinska hrapavost	NA	$\leq 5\mu\text{m}$			$\leq 5\mu\text{m}$		

Tablica 3.2 Tolerancija za određene dimenzije ispitnih uzoraka HRN EN ISO 148-1: 2009

oznaka	simbol	Ispitni uzorak s V utorom			Ispitni uzorak s U utorom		
		Nominalna dimenzija	tolerancija		Nominalna dimenzija	tolerancija	
Duljina	L	55mm	$\pm 0,60\text{mm}$	js15	55mm	$\pm 0,60\text{mm}$	Js15
Širina	W	10mm	$\pm 0,075\text{mm}$	Js12	10mm	$\pm 0,11\text{mm}$	Js13
Debljina	B	10mm	$\pm 0,11\text{mm}$	Js13	10mm	$\pm 0,11\text{mm}$	Js13
Standardni uzorak Smanjeni uzorak		10mm	$\pm 0,11\text{mm}$	Js13	10mm	-	Js13
		7,5mm	$\pm 0,11\text{mm}$	Js13	7,5mm	-	-
		5mm	$\pm 0,06\text{mm}$	Js12	5mm	-	-
		2,5mm	$\pm 0,05\text{mm}$	Js12	-	-	-
Kut usjeka	1	45°	$\pm 2^\circ$	-	-	-	-
Dubina usjeka	2	8mm	$\pm 0,075\text{mm}$	Js12	5mm	$\pm 0,09\text{mm}$	Js13
Radijus usjeka	3	0,25mm	$\pm 0,025\text{mm}$	-	1mm	$\pm 0,07\text{mm}$	Js12
Centriranje usjeka (pozicioniranje)	4	27,5mm	$\pm 0,42\text{mm}$	Js15	27,5mm	$\pm 0,42\text{mm}$	Js15
Kut između simetrije usjeka i longitudinalne osi uzorka		90°	$\pm 2^\circ$	-	90°	$\pm 2^\circ$	-
Kut između pozicioniranje stranica ispitnog uzorka	5	90°	$\pm 2^\circ$	-	90°	$\pm 2^\circ$	-

EKSPERIMENTALNI DIO

4) Eksperimentalni dio

4.1) Plan ispitivanja

U eksperimentalnom dijelu rada provedeno je umjeravanje Charpyjevog bata sukladno normi HRN EN ISO 148-2:2016 kako bi se utvrdila njegova odstupanja od referentnih vrijednosti. Ta odstupanja se kasnije odražavaju i na ispitivanje udarnog rada loma na ispitnim uzorcima. Pored toga iz literaturnih podataka je poznato da odstupanja od normiranih dimenzija na uzorcima također uzrokuju velika odstupanja vrijednosti rezultata. Stoga je u radu na umjerenom Charpyjevom batu provedeno ispitivanje ispitnih uzoraka na kojima su napravljene određene izmjene u pojedinim dimenzijama kako bi se utvrdilo u kojoj mjeri te izmjene dimenzija utječu na rezultate mjerenja udarnog rada loma. Eksperimentalni dio se provodio prema sljedećem planu:

1. Umjeravanje Charpyjevog bata sukladno normi HRN EN ISO 148-2:2016:
 - a. Direktna metoda
 - b. Indirektna metoda
2. Obrada rezultata umjeravanja
3. Izrada ispitnih epruveta s korektnim dimenzijama (1 set) te epruveta s izmijenjenim dimenzijama (3 seta)
4. Provedba ispitivanja
5. Obrada i analiza rezultata ispitivanja

4.2) Umjeravanje Charpy bata

4.2.1) *Direktno umjeravanje*

Prilikom umjeravanja potrebno je ispuniti navedenu analizu zahtjeva. Zahtjeva ima nekoliko: Umjerni laboratorij može ispuniti zahtjev naručitelja koji je osigurao odgovarajuće uvjete za provedbu umjeravanja i osigurao potrebnu opremu za provedbu umjeravanja. Odgovarajuća dokumentacija za umjeravanje nije dostavljena, te ne postoje neprikladni zahtjevi naručitelja. Datum umjeravanja je 12. svibnja 2017.

Oprema koja je bila potrebna za umjeravanje sadrži pojačala: lims 101/ MGC, lims 122/LT- Digitizer. Također su potrebni dinamometri: lims Z30A-50 N, Z30- 100 N, Z30A-200 N te U1-500 N. Potrebna su i ostala mjerila poput B3-107 metra, pomično mjerilo, pupitasta mjerka mjerni list, kutomjer, klinometar, lineal 100, moment ključ, radijusi, mjerna ura komparator te digitalna štoperica. Od dodatne opreme potrebno je prijenosno računalo i produžni kabel. Kako bi se odobrio početak umjeravanja, potrebna je i dokumentacija. Za početak potrebna je norma, certifikati opreme LIMS-a, fascikl LIMS Z-5.9/1, anketni upitnik, primopredajni list, dokument Stara Potvrda o umjeravanju te putni nalozi. Gotovo sve od dokumenata je pribavljeno te je početak rada mogao započeti. Predmet umjeravanja je uređaj za ispitivanje žilavosti po Charpyju naziva Amsler Wolpert Werke. Serijski broj je 1641, a godina proizvodnje 1976. Nazivna vrijednost je 150/300 J što je vidljivo iz slike 4.5. Mjesto mjerenja je laboratorij. Inventarski broj je 300, a oznaka je 3102. Kod analize stanja mjerila nisu uočeni nedostaci radnog stanja mjerila. Klatna je tipa C, a uređaj se očitava uz pomoć analogne skale. Na slici 4.7 vidljivo je da je duljina klatna je 0,79971 metara, a na slici 4.4 se prikazuju radijus i širina nožnog bata koji iznose 2-2,25 mm. Razmak između oslonaca je 40,12 mm, slika 5.6, a oslonci za uzorke š x v su 10x10. Kut noža bata iznosi 30. Pričvršćenost na temelj je u skladu s normom. Što se tiče vibracija iz okoline, one nisu uočene tijekom umjeravanja.

Tablica 4.1 Mjerni uređaji korišteni prilikom umjeravanja [7]

Umjerni uređaj	Napomena	Slika
Mjerno pojačalo	Pojačanje vrlo slabih istosmjernih ili izmjeničnih (mjernih) signala	Slika 5.5
Etalonski dinamometar	lims 127/Z30A-50N 1	Slika 5.6
Etalonski dinamometar	lims 108/U1-500N	Slika 5.6
Mjerilo kuta nagiba		
Pomično mjerilo digitalno	1000mm	
Pomično mjerilo	150mm	
Digitalni kutomjer		Slika 5.8
Komparator sa zakretnim ticalom		Slika 5.2
Mjerno ura Komparator		Slika 5.1
Mjerni listići		Slika 5.3
Klinometar		Slika 5.18
Mjerilo ravnoće		Slika 5.3
Listići za mjerenje radijusa		Slika 5.11
Moment ključ	Za stezanje vijaka prema normi	



Slika 4.1 Mjerna ura komparator



Slika 4.2 Komparator sa zakretnim ticalom



Slika 4.3 Mjerilo ravnoće i mjerni listići



Slika 4.4 Posebno obrađena epruveta 9,5 x 10,5 mm



Slika 4.5 Mjerno pojačalo



Slika 4.6 LT Digitizer



Slika 4.7 Etalonski dinamometar (lims 127/Z30A-50N i lims 108/U1-500N)

Tablica 4.2. Stanje okvira mjerila (Ormuž, Pavao)

Okvir mjerila	Zadovoljava / ne zadovoljava normu	Izmjereno	Napomena
Referenta površina	ne zadovoljava	-	Nema referentnu površinu
Os referentne površine	ne zadovoljava	-	
Os rotacije	ne zadovoljava	2,3/1000 0,12 stupnjeva	Treba biti paralelan s referentnom površinom unutar 2/100
Ravnotežni položaj	ne zadovoljava	Ne dodiruje 10,5 mm epruvetu	NE DODIRUJE Kada visi slobodno, klatno treba visjeti tako da je rub udarača unutar 2,5mm
Os/ ravnina njihanja Slika 5.2.8	zadovoljava	89,96	Postavljanje klinometra na referentnu površinu
Oslanjanje klatna/epruveta Slika 5.2.17	zadovoljava	10 mm	55x10x10 Indigo papir Udar je po punom presjeku
Kut klatno/epruveta Slika 5.2.8	zadovoljava	90,10	Indigo papir, mjeri se kutomjerom kut udara
Klatno/središnjica	zadovoljava	0,37 mm	Pomičnim mjerilo
Aksijalni zazor	zadovoljava	0,02 mm	Osigurava se djelovanje odgovarajuće sile s maksimalnim odstupanjem do 1 % gore predviđene vrijednosti.
Radijalni zazor	zadovoljava	0,09 mm	Dinamometar s 150 N Mjeri se pupitastim mjerilom
Masa baze okvira	zadovoljava	486 kg	a x b x h x 7800 kg/m ³
Godina izrade	1976.		Prije 1998.

Prilikom vizualnog pregleda uočeno je da nije izraženo trošenje kao niti defekti na ležajevima na kojima se njiše bat. Vibracije, utjecaj korozije ili promjena temperature također nisu uočeni. No, uočena je prisutnost čestica prašine. Masa temelja ne odgovara zadanoj normi, temelji su pričvršćeni na pod i zategnuti ključem 24 sa 45 Nm.



Slika 4.8 Oslanjanje klatna na epruvetu

Nazivni radijus ruba udarača je 2 milimetra, kut između linije kontakta udarača i horizontalne osi ispitnog uzorka je 30,17 stupnjeva, širina je 16 milimetara, a radijus 2,25 milimetra. Ove mjere zadovoljavaju normu. Provjera podupirača i oslonaca se sastoji od utvrđivanja konfiguracije oslonaca i podupirača, udaljenosti između podupirača kao i njihovih konusa i radijusa. Kut oslonca lijevog podupirača je 0,08 stupnjeva, a desnog 0,02 pokazano na slici 4.3, a na slici 4.2 vidimo da je razmak između oslonaca je 40, 12 milimetara. Radijus lijevog podupirača, kao i desnog, iznosi 1 milimetar, a kut lijevog i desnog podupirača je 11,11 stupnjeva. Visina je 29,8 milimetara, a kut oslonca i podupirača je 90,06. Svi navedeni podaci su zadovoljili zadanu normu. Provjera opreme za očitavanje se sastoji od pregleda podjele skale i pregleda kazaljke pokazivača. Analogna skala se sastoji od 0-150 J 1/0,2 J i 0-300 J 2/0,5 J.



Slika 4.9 Mjerenje visine između podloga pomoću linelana i mjernih listića



Slika 4.10 Mjerenje kuta podupirača digitalnim kutomjerom



Slika 4.11 Radijus i širina nožnog bata listićima za mjerenje radijusa

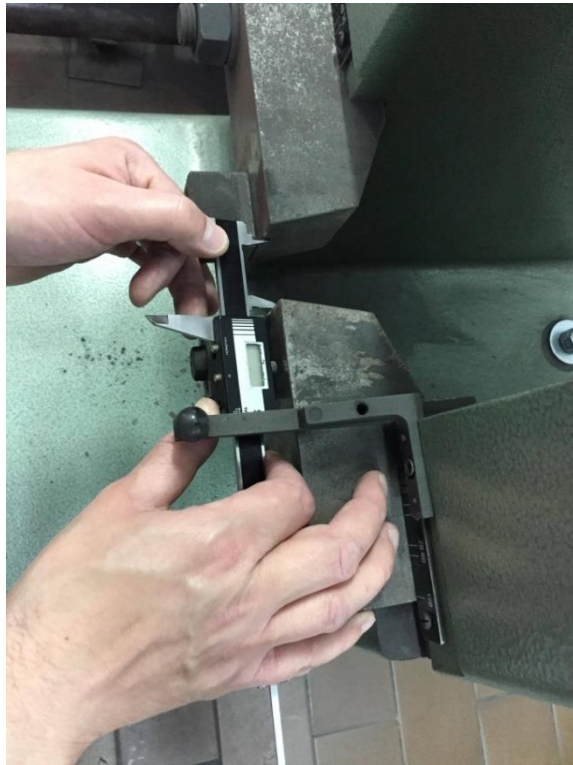
Tablica 5.3 Geometrijske karakteristike (Pavao Ormuž)[6]

Oznaka	Dimenzija
Dimenzije između nakovnja	40,00 +- 0,20 mm
Radijus nakovnja	1,00 +- 0,50 mm
Kut konusa nakovnja	11 +- 1 stupanj
Kut udarača	30+- 1 stupanj
Radijus udarnog ruba	-
2 mm udarač	2,00 + 0,50mm
8 mm udarač	0,25 +0,50 – 0,05
Širina ruba 8 mm udarača	4,00 +- 0,05mm
Širina udarača	10 mm – 18 mm



Slika 4.12 Nazivna vrijednost mjerne skale je 150/300 J

Prilikom vizualnog pregleda nisu uočena nikakva oštećenja i manje na okviru. Bat nema referentnu površinu, glatku i ravnu površinu bez oštećenja koja je najravniji dio na uređaju na koju se stavlja klinometar. Os rotacije bata zadovoljava paralelnost s najravnijom površinom na uređaju i iznosi $2,3/1000$. 1 stupanje je 17,8 tisućitih. Ravnotežni položaj ne zadovoljava normu jer kada klatno visi slobodno rub udarača ne dodiruje posebno obrađenu epruvetu $9,5 \times 10,5$ ni na jednoj strani. Ravnina njihanja mora biti 90 stupnjeva u toleranciji od 1% u odnosu na os rotacije i ona iznosi 89,96 stupnjeva, a mjeri se postavljanjem klinometra na klatno u smjeru rotacije. Norma zahtjeva da kut pod kojim udarač udara epruvetu iznosi 90 stupnjeva i mora udariti po punom presjeku. Stavlja se indigo papir na rub udarača, a epruveta se obloži papirom. Nakon ostavljanja otiska na epruveti, papir se skida i precrtava na veliki papir te se pomoću digitalnog kutomjera određuje kut udara. Mjeri se odstupanje udara klatna od središta između podupirača. Bat je smješten da odstupa od središta za 0,37 mm što zadovoljava normu. Linealom (mjerilom ravnoče) i mjernim listićima se mjeri visina između podloga tako da se lineal podloži na oba oslonca te se guraju mjerni listići ispod njega i određuje se razmak. Radijus ruba i noža bata se mjeri pomoću listića za mjerenje radijusa (špijuna), a širina pomičnim mjerilom. Duljina klatna se mjeri da bi se pomoći izračuna odredio moment. Određujemo udaljenost od sredine osovine do udara bata tako da postavimo uzorak od 10 mm te mjerimo od gornje strane osovine do donje strane uzorka i odbijamo razlike.



Slika 4.13 Razmak između oslonaca mjereno digitalnim pomičnim mjerilom



Slika 4.14 Klinometar



Slika 4.15 Duljina klatna mjerena velikim pomičnim mjerilom od sredine osovine do središta epruvete



Slika 4.16 Kut klatna pomoću mjeren s klinometrom



Slika 4.17 Kut klatno epruveta određen pomoću indigo papira



Slika 4.18 Masa bata sa utezima određena s dinamometrom

4.2.2) Rezultati mjerenja

Mjerna područja: 0-150J

Temperatura: 24,2 Celzijeva stupnja

Potencijalna energija K_P se ne razlikuje za više od 1 % od nazivne energije K_N . Moment klatna određuje se podupiranjem klatna na odabranoj udaljenosti, $l/2$, od osi rotacije pomoću ruba noža u ravnoteži ili dinamometru na takav način, da je linija kroz osi rotacije koja spaja centar gravitacije klatna bude horizontalna unutar 15/1000. Kut pada, α , mora se izmjeriti s točnošću od $\pm 0,2^\circ$; ovaj kut može biti veći od 90° . Potencijalna energija, K_P , se izračuna pomoću formule:

$$K_P = M(1 - \cos \alpha) \quad (1)$$

Tablica 4.4. Provjera potencijalne energije i brzine udara

K_N , [J]	F_1 , [N]	l_2 , [m]	α , [°]	K_P , [J]	v , [m/s]	l , [m]	ΔK [%]	U_c [J]
150	97,01	0,79971	160,36	150,65	5,52	0,79971	0,43	0,69

Tablica 4.5. Gubitci uslijed trenja

Trenje kazaljke p [J]	Otpor zraka, ležaj p' [J]	Ukupno trenje p+p' [J / %]	Izmjereno težište klatna [m]
0,2	0	3,6 / -0,01	0,79166

Diobene oznake na skali odgovaraju približno vrijednostima utrošene energije 0%, 10%, 20%, 30%, 50% i 80% od nazivne energije koje treba provjeriti. Za svaki od tih podjeljaka, bat će biti poduprt tako da oznaku pokazuje pokazivač, i kut uspona, β , izmjeren do $\pm 0,2^\circ$. Ispod klatna postavlja se teleskopski podupirač tako da se osigura kuta za sljedeća očitavanja 10%, 20%, 30%, 50% i 80% od nazivne energije. Pri svakom kutu odnosno određene energije se mjeri klinometrom stvarni kut. Izračuna je dan formulom:

$$\left| \frac{K_{calc} - K_s}{K_s} \right| \times 100 \quad (2)$$

$$V = \sqrt{2gl(1 - \cos \alpha)} \quad (3)$$

Tablica 4.6 Mjerna skala

K_s , [J]	B [°]	K_{CALC} , [J]	$(K_{CALC} - K_s)/$ $K_{S,N}$ [%]	$U_{(K_{calc})}$, [J]
0	160,40	-0,02	0,01	0,30
15	137,94	15,47	0,16	0,47
30	123,10	30,70	0,23	0,57
45	110,65	45,71	0,24	0,63
75	87,8	76,04	0,35	0,69
120	52,6	120,19	0,06	0,63

Kao i u prethodnom postupku, mjerenja su provedena i za područje od 0-300 J:

Mjerno područje 0-300J:

Temperatura: 25° C

Tablica 4.7 provjera potencijalne energije i brzine udara

K_N [J]	F_J [N]	l_2 [m]	α , [°]	K_P , [J]	v , [m/s]	l , [m]	ΔK , [%]	U_C , [J]
300	193,34	0,79971	160,36	300,24	5,52	0,79971	0,08	0,69

Tablica 4.8 Gubici uslijed trenja

Trenje kazaljke p [J]	Otpor zraka p' [J]	Ukupno trenje p+p' [J/%]	Izmjereno težište klatna [m]
0,5	0	4/0,30	0,79107

Tablica 4.9 Mjerna skala

$K_s,$ [J]	β° [°]	$K_{CALC},$ [J]	$(K_{CALC} - K_s)/$ $K_{S,N}$ [%]	$U_{(K_{CALC})},$ [J]
0	160,40	-0,04	0,01	0,30
30	137,94	30,83	0,28	0,47
60	123,10	61,19	0,40	0,57
90	110,65	91,10	0,37	0,63
150	87,85	151,43	0,48	0,69
240	52,60	239,54	0,15	0,63

4.2.3) Indirektno umjeravanje

Test se sastoji od razbijanja epruveta s kojima se provjeravaju točke na mjernoj skali. Koriste se referentni uzorci za usporedbu rezultata dobiveni sa uređajem koji se razmatra i za praćenje izvedbe uređaja tijekom vremenskog razdoblja.

Indirektnu provjeru smo obavili na dvije razine apsorbirane energije u rasponu u kojem se uređaj koristi. Set za svaku razinu se sastojao od 5 referentnih epruveta. Uzorci su bili u rasponu od 225 J do 240 J, iako je potrebno koristiti uzorke što je bliže moguće gorenje i donjem граничном rasponu uporabe uređaja. Referentni uzorci su dobiveni od referentnog materijala, proizvođač jer izradio uzorke kao što je navedeno u HRN EN ISO 148-3. Uzeli su se i uzorci koji se nisu prelomili. Žilavost izmjerena Vickersovom metodom je 223 HV, a izračunava se omjerom sile i površine oplošja utisnuća što ga ostavlja piramida.

Tablica 4.10 Kemijski sastav ispitnih uzoraka

Vrsta čelika	Sadržaj kemijskih elemenata (%)			
	C	Mn	P	S
R St 37-2	0,17	0,05	0,05	0,007
$R_m = 370-450 \text{ Mpa}, R_e = 240 \text{ Mpa},$				



Slika 5.19 Ispitni uzorak nakon mjerenje

Tablica 4.11 Rezultati mjerenje indirektne metode [8]

Mjerno područje: upisano iz umjernice				Izmjerene vrijednosti				
KV_r [J]	v_{RM} [-]	U_{RM} [J]	u_{RM} [-]	R.br.	KV_v [J]	KV_{vsr} [J]	s_v [J]	B [J]
240	30	3,4	1,7	1	232	242,8	8,7	2,8
				2	240			
				3	244			
				4	242			
				5	256			

4.3) Ispitivanje udarnog rada loma

Standardni testni uzorak mora biti 55 mm dugačak, kvadratnog presjeka sa stranicama 10 mm. U sredini uzorka na najdužoj stranici se nalazi utor U ili V oblika. V utor uključuje kut od 45, dubinu 2 mm i završni radiju u korijenu 0,25 mm. U utor ima dubinu 5 mm i radijus korijena 1 mm. Uzorci imaju točno određene tolerancije koje su prikazane u tablici 2.1. Test se provodi na sobnoj temperaturi da bi se izbjegli pogrešni rezultati pod utjecajem visokih i niskih temperatura. Svaki uzorak smo označili na dvije strane, ali oznaka ne smije dodirivati podupirače. Uzorak se postavi tako da utor gleda na suprotnu stranu od udara bata.

Tablica 4.12 Dimenzije uzoraka izrađeni sukladno normi

Oznaka	Simbol	Uzorak I	Uzorak A	Uzorak B	Uzorak C
duljina	L	55,05 mm	55,05 mm	55,05 mm	55,05 mm
Širina	W	10,02 mm	10,02 mm	10,20 mm	10,20 mm
Debljina	B	10,02 mm	10,10 mm	10,10 mm	10,10 mm
Kut utora	1	45° 05'	45° 50'	47°	47°
Ligament	2	8,001 mm	8,07 mm	8,07 mm	8,07 mm
Radijus utora	3	0,251 mm	0,251 mm	0,251 mm	0,270 mm
Pozicija utora (centrirana)	4	27,51 mm	27,51 mm	27,5 mm	27,5 mm
Kut između ravnina simetrije utora i uzdužne osi ispitnog uzorka		90° 50'	90° 50'	90°	90°

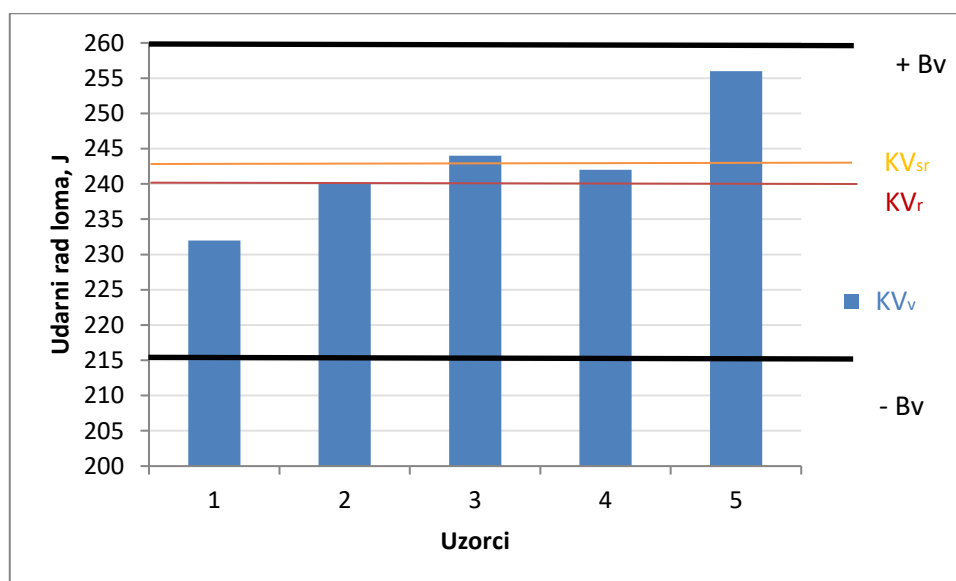
Tablica 4.13 Rezultati dobiveni eksperimentalnim mjerenjem [J]

Uzorak				
Mjerenje	I	A	B	C
1.	237	220	226	231
2.	230	227	231	248
3.	237	236	242	252
4.	231	242	228	218
5.	234	240	236	241
6.	233	243	219	232
7.	235	237	226	236
8.	231	225	229	221
9.	236	222	236	240
10.	235	231	238	219

5) Analiza rezultata

5.1) Analiza indirektna provjere Charpy bata

Prema tablici slici 6.1 i grafičkom prikazu rezultata umjeravanja indirektnom metodom kao i direktnom možemo zaključiti da Charpyjev bat zadovoljava normu HRN ISO 148 ; 2016 jer ulazi u dopušteno odstupanje koje mora biti manje od 10% KV_R -a, to jest, rezultati ulaze u dopušteno područje od 216 J do 265J.



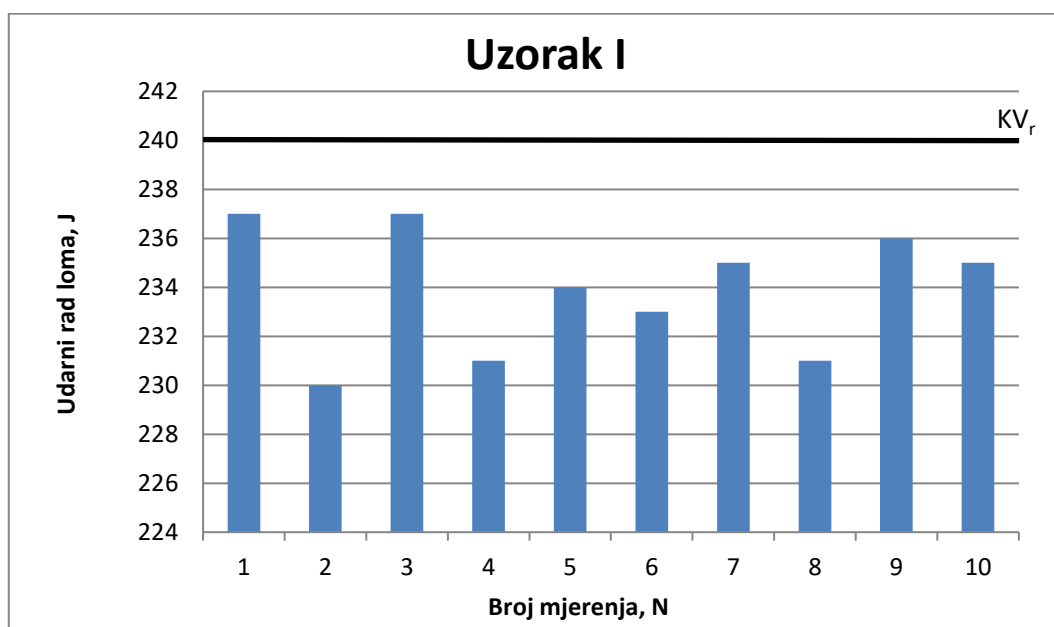
Slika 5.1 Grafički prikaz rezultata umjeravanja indirektnom metodom

Tablica 5.1 Maksimalne dozvoljene vrijednosti za ponovljivost i odstupanje

Razina apsorbirane energije	Ponovljivost [B]	Odstupanje [B _v]
≤40	≤6	≤4
≥40	≤15 % KV_R	≤10% KV_R

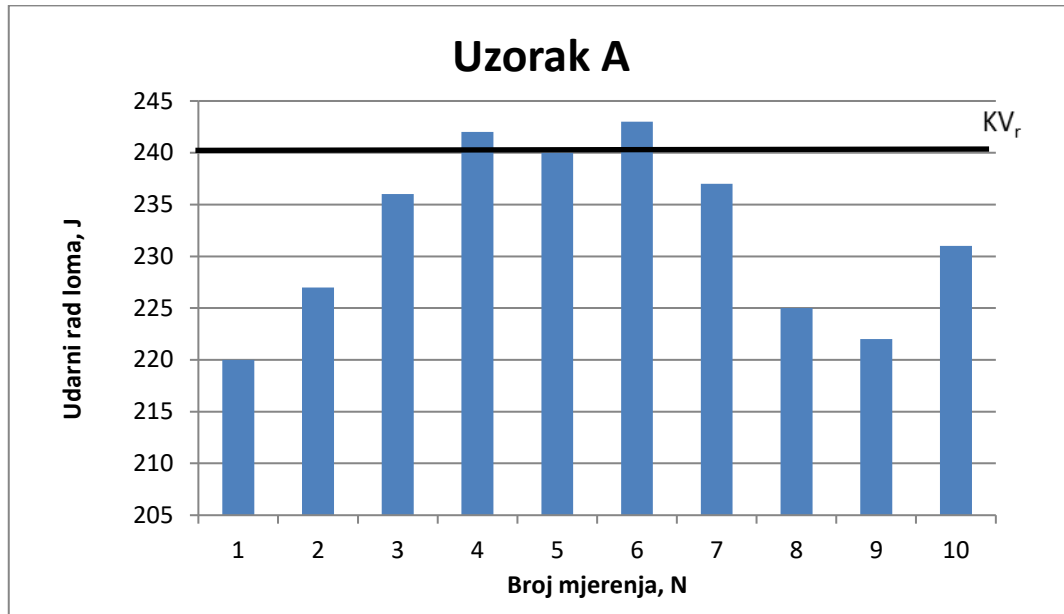
5.2) Analiza ispitivanja udarnog rada loma

Ispitivanja koja su provedena na različitim uzorcima su pokazala da značajno ovise o kvaliteti izrade dimenzija. Set uzoraka I je najkvalitetnije obrađen prema normi, površinska obrada je napravljena sa svih strana. Dimenzije i tolerancije zadovoljavaju normu, dubina utora koja iznosi točno 8 mm s radijusom 0,25 mm. Vidljivo je iz rezultata da su ispitni uzorci iz seta I najreferentniji. Uzorci iz seta A imaju radijus utora 0,257 mm i širinu utora 2,07mm, uzorci iz seta B 0,247 mm i širinu utora 1,68 mm, a iz seta C 0,240 mm sa širinom utora 1,52 mm. Ispitni uzorci iz setova A, B, C su samo obrađeni brušenjem s donje strane. Iz rezultata je vidljivo da srednje vrijednosti ispitivanja i nisu u tolikoj mjeri različite no kada se pogleda ponovljivost rezultata onda se primijeti veliko rasipanje rezultata. Ova pojava se ne primjećuje kod uzoraka koji su korektno napravljeni odnosno da su im sve dimenzije daleko ispod dozvoljenih granica odstupanja.



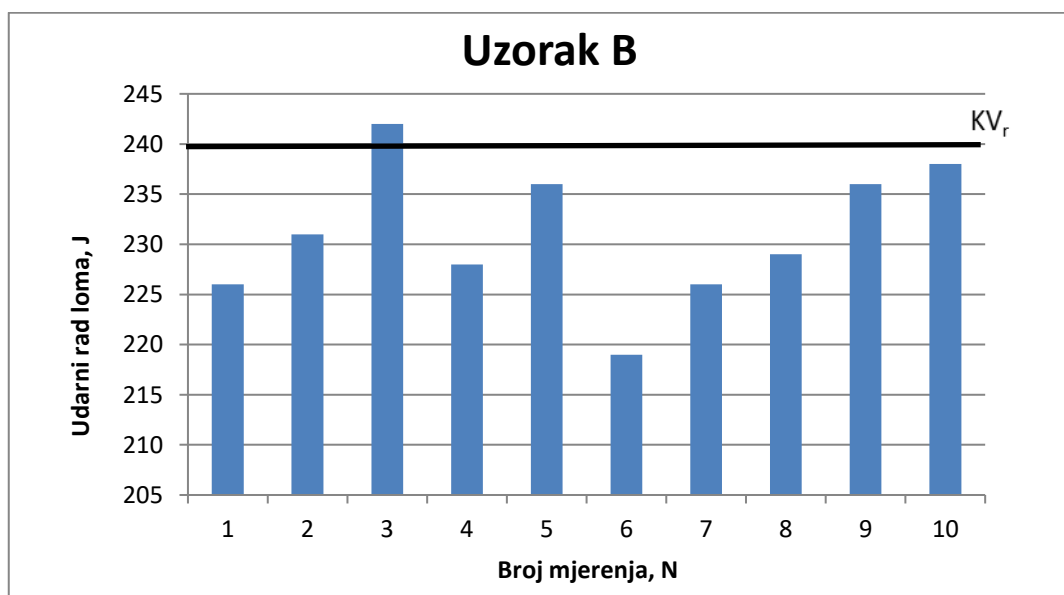
Slika 5.2. Grafički prikaz rezultata dobivenih ispitivanjem udarnog rada loma na ispitnom skupu uzoraka I

Na slici 5.2. prikazan je grafički prikaz rezultata deset mjerenja na ispitnom skupu uzoraka I. Mjerenja udarnog rada loma pokazala su, u odnosu na druge skupine uzoraka, manja odstupanja u mjerenju na deset uzoraka. Sva mjerenja u rangu su rezultata od 230 J do 237 J.



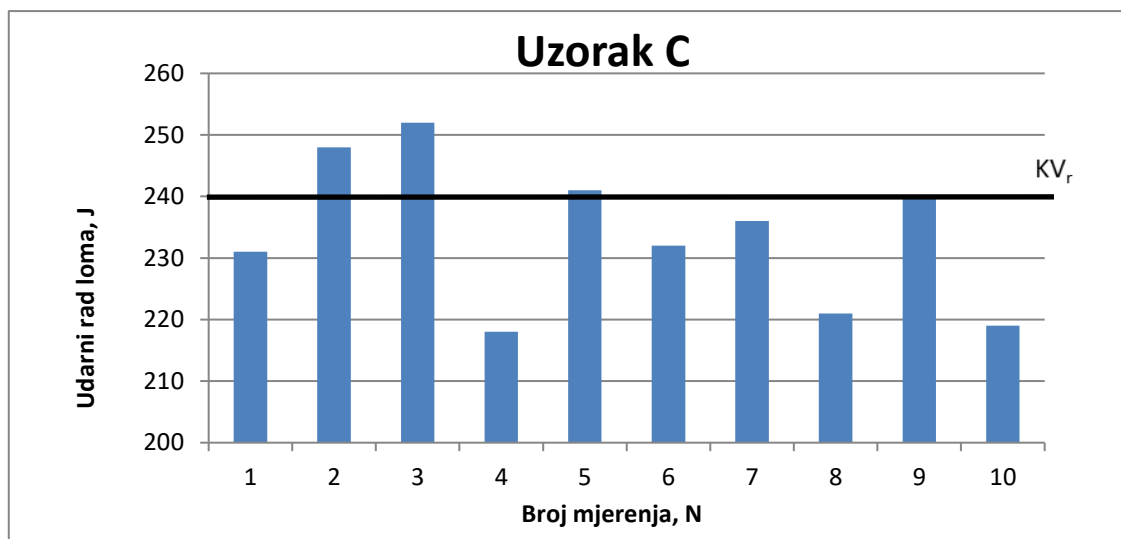
Slika 5.3. Grafički prikaz rezultata dobivenih ispitivanjem udarnog rada loma na ispitnom skupu uzoraka A

Na slici 6.3. prikazan je grafički prikaz rezultata deset mjerenja na ispitnom skupu uzoraka A. Vidljivo je da su odstupanja od srednje vrijednosti velika, te se rezultati kreću u rangu od 220 J pa sve do 242 J.



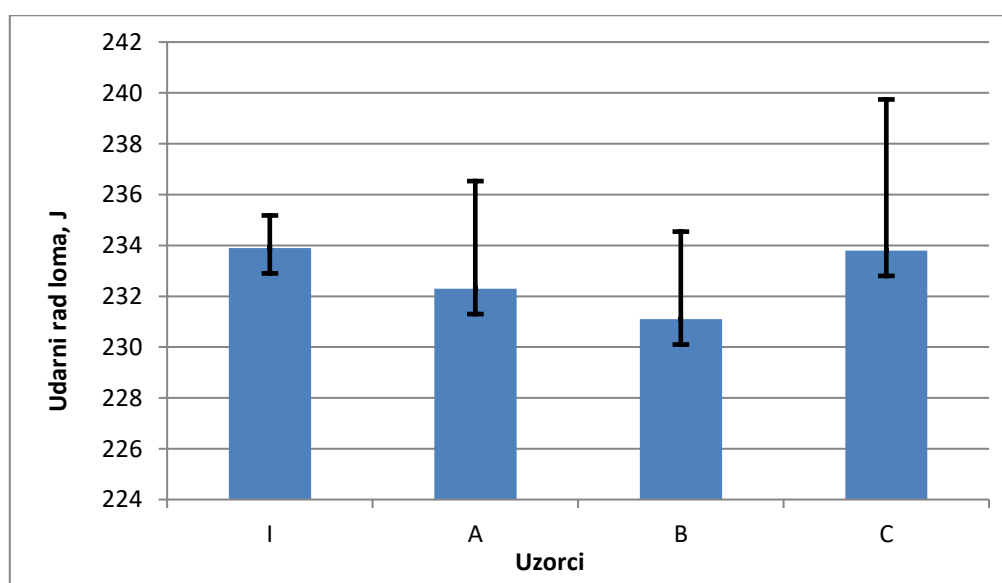
Slika 5.4. Grafički prikaz rezultata dobivenih ispitivanjem udarnog rada loma na ispitnom skupu uzoraka B

Na slici 6.4. grafički su prikazani rezultati deset mjerenja na ispitnom skupu uzoraka B. Sva mjerenja kreću se u rangu rezultata od 230 J do 237 J. Na grafu je uočljiva da su odstupanja rezultata mjerenja vrlo mala.



Slika 5.5. Grafički prikaz rezultata dobivenih ispitivanjem udarnog rada loma na ispitnom skupu uzoraka C

Na slici 6.5. grafički su prikazani rezultati deset mjerenja na ispitnom skupu uzoraka C. Iz grafa je vidljivo da su odstupanja mjerenja najveća od svih ispitnih skupova uzoraka. Rasipanje rezultata se može pripisati lošoj završnoj obradi uzoraka.

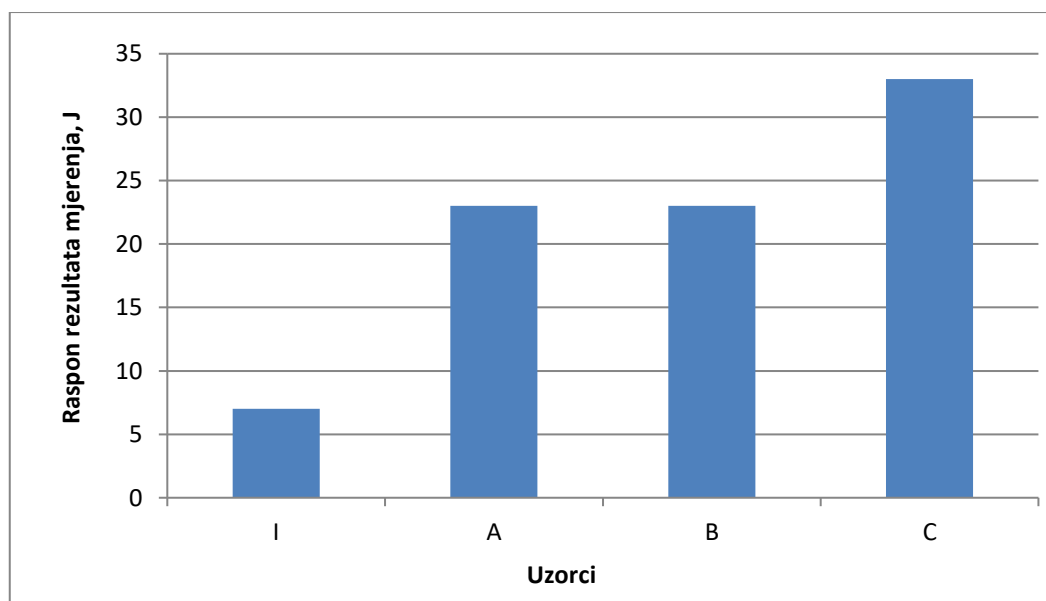


Slika 5.6. Grafički prikaz srednje vrijednosti rezultata mjerenja za sve skupine uzoraka sa standardnim devijacijama

Standardna devijacija je statistički pojam koji označava mjeru raspršenosti podataka u skupu. Interpretira se kao prosječno odstupanje od prosjeka i to u apsolutnom iznosu. Prema slici 6.7. vidljivo je da skupina uzoraka I i B imaju najmanje raspršene rezultate u deset mjerenja. Skup uzoraka C ima daleko najveće raspršenje rezultata.

Srednje vrijednosti ispitivanja i nisu u tolikoj mjeri različite no kada se pogleda ponovljivost rezultata onda se primijeti veliko rasipanje rezultata. Ova pojava se ne primjećuje kod uzoraka koji su korektno napravljeni odnosno da su im sve dimenzije daleko ispod dozvoljenih granica odstupanja.

Kako je za uzorak postavljena tražena vrijednost udarnog rada loma od 240 J, prema srednjim vrijednostima skupina uzoraka I je pokazala najbolje izmjerene rezultate koji se nalaze najbliže vrijednosti od 240 J. Zatim slijedi skupina uzoraka C koja ima srednju vrijednost u iznosu od 233,8 J. Skupina uzoraka A i B pokazala su najveće rasipanje rezultata prema vrijednostima srednjih vrijednosti.



Slika 5.7 Dijagram maksimalnih odstupanja rezultata

Iz dijagrama maksimalnih odstupanja vidljivo je da set uzoraka I ima najmanju razliku maksimalne i minimalne vrijednosti, najmanje je rasipanje i srednja vrijednost rezultata je najbliže traženoj.

6) Zaključak

U ovom radu je teoretski obrađeno područje ispitivanja udarnog rada loma Charpyevom metodom te posljednje izmjene u normi HRN EN ISO 1481- 1:2016 i HRN EN ISO 1481-2:2016 u odnosu na 2009. godinu. U eksperimentalnom dijelu je provedeno umjeravanje Charpyevog bata oznake (FSB) te je na istom uređaju provedeno ispitivanje udarnog rada loma na epruvetama s korigiranim pojedinim dimenzijama. Na temelju analize dobivenih rezultata doneseni su sljedeći zaključci:

1. U normama HRN EN ISO 1481-1:2016 i HRN EN ISO 1481-2:2016 u odnosu na prethodnu verziju iz 2009. godine uočene su sljedeće izmjene: u novijem izdanju norme, koja se odnosi na direktno umjeravanje, postoje razlike u dijelu gdje je opisan okvir uređaja. Kada klatno visi slobodno rub udarača treba biti unutar 2,5 milimetra od pozicije gdje bi prilikom testa trebao dotaknuti ispitni uzorak, a u starijem izdanju norme (2009.) udarač mora biti unutar 0,5 mm, te u normi 148-1 su navedeni novi zahtjevi obrade na epruvete s U utorom. Ove izmjene nisu takvog karaktera da bi mogle dovesti do značajnog odstupanja rezultata mjerenja.
2. Uređaj koji je umjeravan, Charpyev bat, pri indirektnoj metodi ispunjava u potpunosti sve zahtjeve sukladno normi HRN EN ISO 1481- 2:2016. Pri indirektnom umjeravanju se pokazalo da su odstupanja pokazivanja uređaja ispod tolerancijskih granica zahtijevanih u normi.
3. Ispitivanja udarnog rad loma na izrađenim uzorcima su pokazala da značajno ovise o kvaliteti izrade dimenzija. Iz rezultata je vidljivo da srednje vrijednosti ispitivanja i nisu u tolikoj mjeri različite no kada se pogleda ponovljivost rezultata onda se primijeti veliko rasipanje rezultata. Ova pojava se ne primjećuje kod uzoraka koji su korektno napravljeni odnosno da su im sve dimenzije daleko ispod dozvoljenih granica odstupanja.
4. Utjecaj samog uređaja na rezultate ispitivanja udarnog rad loma ima manji značaj ako su njegova odstupanja u dozvoljenim granicama zahtijevanim normom HRN EN ISO 1481-2:2016.

LITERATURA:

- [1] Tomislav Filetin, Mladen Franz, Đurđica Španiček, Vinko Ivušić "Svojstva i karakteristike materijala", Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2002
- [2] Stoja Rešković: "Ispitivanje materijala", Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2006
- [3] Mladen Franz : Autorizirana predavanja iz kolegija „Mehanička svojstva materijala“, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2015
- [4] https://www.fsb.unizg.hr/usb_frontend/?action=view&site_id=106&id=3531
- [5] Metalni materijali – Ispitivanje udarnog rada loma Charpyjevim batom – 1.dio : Metoda ispitivanja (ISO 148-1:2016; EN ISO 148-1:2016)
- [6] Metalni materijali – Ispitivanje udarnog rada loma Charpyjevim batom – 2.dio : Provjera ispitnih uređaja (ISO 148-2:2016; EN ISO 148-2:2016)
- [7] Roman Divjak, Željko Alar: POTVRDA O UMJERAVANJU br.: 0096/17, FSB, 2017
- [8] Roman Divjak, Željko Alar: Postupak za umjeravanje mjerila za ispitivanje udarnog rada loma charpyjevim batom, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2016
- [9] Norma: Metalni materijali- Ispitivanje udarnog rada loma Charpyjevim batom – 1. Dio: provjera ispitnih uređaja (ISO 148-2 2008; EN ISO 148-2:2008)
- [10] Norma: Metalni materijali – Ispitivanje udarnog rada loma Charpyjevim batom – 1.dio : Metoda ispitivanja (ISO 148-1:2008; EN ISO 148-1:2008)