

**ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK**

**SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ
OBLIKOVANJE PROIZVODA OD DRVA**

NIKOLA VIDONI

**ISTRAŽIVANJE ELASTIČNIH SVOJSTAVA RAZLIČITIH
VRSTA PU SPUŽVI**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2012.

**ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK**

**ISTRAŽIVANJE ELASTIČNIH SVOJSTAVA RAZLIČITIH
VRSTA PU SPUŽVI**

DIPLOMSKI RAD

Diplomski studij: Oblikovanje proizvoda od drva
Predmet: Namještaj i zdravlje

Ispitno povjerenstvo: 1. prof. dr. sc. Ivica Grbac
 2. dr. sc. Zoran Vlaović
 3. doc. dr. sc. Ivica Župčić

Student: Nikola Vidoni
JMBAG: 0068023934
Broj indeksa: 129/2010
Datum odobrenja teme: 04. 03. 2012.
Datum predaje rada: 04. 09. 2012.
Datum obrane rada: 14. 09. 2012.

Zagreb, rujan 2012.

Dokumentacijska kartica

Naslov	Istraživanje elastičnih svojstava različitih PU spužvi
Title	Research of elastic properties of different types of PU foams
Autor	Nikola Vidoni, univ. bacc. ing. techn. lign.
Adresa autora	Žrt. hrv. dom. ratova 23, 42240 Ivanec
Mjesto izrade	Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	Prof. dr. sc. Ivica Grbac
Izradu rada pomogao	Dr. sc. Zoran Vlaović
Godina objave	2012.
Obujam	82 stranice, 12 tablica, 74 slika i 51 navoda literature
Ključne riječi	Poliuretanska spužva, elastična svojstva, IFD test, histerezis, tvrdoča, indeks udobnosti, sjedenje
Key words	Polyurethane foam, elastic properties, IFD test, hysteresis, hardness, support/sag factor, seating
Sažetak	<p>Da bi bila dobar materijal ojastučenja, spužva mora pokazati i dobra svojstva udobnosti i dobra svojstva nosivosti. Udobnost se javlja kada je materijal sposoban pod malim opterećenjem svoju površinu udubiti i prilagoditi se tijelu. Za ispitivanje, tj. određivanje elastičnih svojstava materijala rabile su se metode opisane u normama ISO 2439 pomoću IFD-testa i ISO 845. Cilj rada bio je objektivnim metodama ispitati fizikalna (gustoču) i mehanička svojstva različitih spužvi te ih usporediti i pronaći vezu njihove kvalitete i elastičnih svojstava prema svojstvima udobnosti namijenjenih za uporabu u namještaju za sjedenje. Pokušalo se dokazati utječe li debljina uzorka spužvi na udobnost pri upotrebi. Kombinacijom više vrsta uzorka pokušalo se dobiti konstrukciju sjedala koja bi dala bolja svojstva udobnosti, nosivosti i trajnosti. Rezultati su pokazali da debljina utječe na tvrdoču spužvi, kao i na povrat histerezis i histerezu.</p>

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
2.	DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA	2
2.1.	O poliuretanskim spužvama	3
2.2.	Kemizam poliuretana.....	3
2.3.	Otvorene i zatvorene stanice spužve	5
2.4.	Spužvasti materijali	7
2.4.1.	PU spužva	7
2.4.2.	Lateks spužva.....	7
2.4.3.	Visco-elastična spužva	8
2.5.	Fizikalna i mehanička svojstva PU spužvi	9
3.	CILJ ISTRAŽIVANJA	17
4.	MATERIJALI I METODE	18
4.1.	Uzorci	18
4.2.	Metode istraživanja	23
4.2.1.	Određivanje gustoće spužve	23
4.2.2.	Određivanje mehaničkih svojstava spužvi	25
5.	REZULTATI ISTRAŽIVANJA I RASPRAVA.....	33
5.1.	Rezultati Metode A.....	33
5.2.	Rezultati Metode B.....	42
5.3.	Rezultati Metode C	53
5.4.	Rezultati Metode E.....	62
5.5.	Rezultati kombinacije više vrsta uzorka spužvi	73
6.	ZAKLJUČAK	77
	LITERATURA	79

PREDGOVOR

Diplomski rad „Istraživanje elastičnih svojstava različitih PU spužvi“, nastao je kao rezultat mojeg zanimanja za ovu temu u dogovoru s predmetnim profesorom. Prilikom realizacije ovog rada naišao sam na veliku potporu i razumijevanje svog mentora prof. dr. sc. Ivice Grbca kome se ovom prilikom zahvaljujem od srca. Također se posebno zahvaljujem asistentu dr. sc. Zoranu Vlaoviću koji je svojim savjetima i sugestijama utjecao na sveukupno istraživanje i izradu ovog rada. Kolegama, voditeljima laboratorija za ispitivanje namještaja i dijelova za namještaj zahvaljujem se na pomoći, strpljivosti i razumijevanju tijekom korištenja uređaja za ispitivanje. Za veliki doprinos u nabavci potrebnih uzoraka spužvi, ovim putem se zahvaljujem gđi. Benardi Cecelji i poduzeću Bernarda d.o.o. iz Nedelišća.

Jedno veliko hvala svojoj obitelji koja je bila uvijek uz mene i uistinu najveća potpora tijekom izrade ovog rada, ali i cijelim tijekom moga studiranja.

U Zagrebu, 10. rujna 2012.

Nikola Vidoni

1. UVOD

Ljudi širom svijeta rade u uredima, pa su svjesni utjecaja dugotrajnog sjedenja na zdravlje. Naglim povećanjem broja sjedećih radnih mesta problematika dugotrajnog sjedenja postala je predmetom proučavanja velikog broj znanstvenika. Brojevi su uvijek najbolji pokazatelj, a njihova je poruka sasvim jasna: najveći broj dana koje prosječni europski radnik provede na bolovanju vezan je uz probleme s kralježnicom, a ti problemi opet uz loše sjedenje.¹

Problem udobnosti sjedala, pokušava se riješiti na mnogo načina pa tako i upotrebom elastičnih poliuretanskih spužvi za ojastučenje. Poliuretanska spužva naširoko se koristi, jer pruža jedinstvenu kombinaciju oblika i funkcionalnosti, pa se tako spužva može lako rezati ili lijevati u bilo koji oblik, a u isto vrijeme daje prilagodljivost u toku korištenja kao ojastučenje sjedala.²

Da bi bila dobar materijal ojastučenja, spužva mora pokazati i dobra svojstva udobnosti i dobra svojstva nosivosti. Udobnost se javlja kada je materijal sposoban pod malim opterećenjem svoju površinu udubiti i prilagoditi se tijelu. Industrija koja proizvodi spužve koristi veliki broj mjerena i ispitivanja da to postigne, a uz pomoću tih mjerena moguće je odrediti pravu spužvu za pravu primjenu.

U ovom radu će se pokušati objektivnim metodama ispitati fizikalna (gustoću) i mehanička svojstva različitih spužvi te ih usporediti i pronaći vezu njihove kvalitete i elastičnih svojstava prema svojstvima udobnosti namijenjenih za uporabu u namještaju za sjedenje. Za ispitivanje, tj. određivanje fizikalnih i mehaničkih svojstava materijala rabit će se norme ISO 2439 i ISO 845. Nadalje će biti govora o vrsti, kemizmu i strukturi spužvastih materijala.

¹ URL: <http://www.dominion-oprema.com/index.php/onama.html> (09.04.2012.).

² *** (1991): InTouch, Information of flexible polyurethane foam, Vol. 1 (1), Polyurethane Foam Association, Inc., Wayne, NJ, USA, str. 1.

2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

U poglavlju 2. *Dosadašnja istraživanja*, bit će riječi ponešto o povijesti poliuretanskih spužvi, kemijskim reakcijama, staničnoj strukturi, te o fizikalnim i mehaničkim svojstvima poliuretanskih spužvi. Ojastučeni namještaj je sinonim za udobnost, mir, odmor, a to se može postići samo kvalitetnom izradom sjedala i ojastučenja. Industrija ojastučenog namještaja danas višestruko međusobno kombinira izvanredna svojstva različitih spužvastih materijala i tradicionalnih sustava s opružnom jezgrom.³ Opružne jezgre, bilo da su u džepičastoj ili bonell izvedbi, vrlo se često rabe za izradu sjedala, a nisu nepoznate i u sjedalima uredskih stolica. Spužve su materijali gotovo neograničenih mogućnosti primjene. Poliuretanske (PU) mekane spužve vrlo su pogodne za modernu izradu ojastučenog namještaja zbog svojih optimalnih svojstava prerade. Svojstva jamče veliku elastičnost i individualnu sposobnost prilagodbe (ergonomski položaj sjedenja) uz dugi vijek trajanja. Prema najnovijim saznanjima ne emitiraju nikakve štetne ili otrovne sastojke i povoljno utječu na mikroklimu u važnoj zoni između kože i tkanine (nema zastaja topline).⁴ Osim dobre podloge i ispune (jezgre) sjedala, za udobnost i potpun doživljaj sjedenja važni su dekorativno-pokrivni materijali ili slojevi. U dekorativno pokrivni sloj ubrajamo prirodne ili sintetičke dekorativne tkanine različitih dezena, boja i načina tkanja te prirodne i sintetičke kože. Dekorativno pokrivni sloj vrlo je važan kod kupnje namještaja jer on je prvi činitelj koji će privući kupca da uopće pogleda taj namještaj.⁵

Prema Aniću (2004.) udobnost je svojstvo nečega što pruža dovoljno mjesta i ugodnosti za korištenje i boravak (naslonjač, stan, itd).⁶ Websterov rječnik definira udobnost kao stanje ili osjećaj olakšanja, oduševljenja i užitka. Slater (1985.) definira udobnost kao "ugodno stanje fiziološke, psihološke i fizičke harmonije između ljudskog bića i njegove okoline".⁷ "Udobnost predstavlja subjektivan način procjene osjećaja koji proizlazi kako iz unutarnjih tako i iz vanjskih utjecaja na ljudsko tijelo, te se kao takva smatra nemjerljivom."⁸

³ Grbac, I., Ivelić, Ž. (2005): Ojastučeni namještaj, Sveučilište u Zagrebu – Šumarski fakultet, Akademija šumarskih znanosti, Zagreb, str. 47.

⁴ op. cit. str. 48.

⁵ op. cit. str. 50.

⁶ Anić, V. (2004): Veliki rječnik hrvatskoga jezika, Novi liber, Zagreb, str. 1648.

⁷ De Looze, M.P., Kujit-Evers, L.F.M., van Dieen, J. (2003): Sitting comfort and discomfort and the relationships with objective measures, Ergonomics, 46 (10), Taylor & Francis Ltd., str. 986.

⁸ Perali L. (1998): Ergonomics of the chairs, Published on Promosedia, December 1998, Udine, Italy, str. 1.

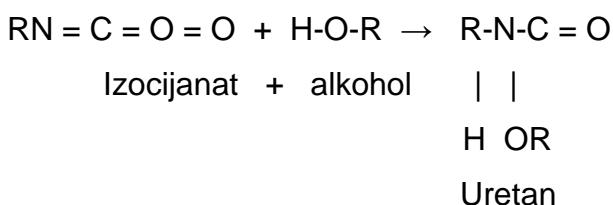
2.1. O poliuretanskim spužvama

Poliuretanska spužva je polimerna smjesa koja nastaje kemijskom reakcijom. Iako je reakcija između izocijanata i hidroksilnih spojeva izvorno otkrivena u 19. stoljeću, temelji poliuretanske industrije su položeni u kasnim 1930-ima koje je postavio Otto Bayer na poliadicijskoj reakciji između diizocijanata i diola u obliku poliuretana.⁹ Prva komercijalna primjena poliuretanskih polimera za elastomere, premaze i ljepila bila je razvijena između 1945. i 1947. za fleksibilne spužve 1953., a za krute spužve 1957. godine. Kako su se s vremenom poliuretanske spužve razvijale, došlo je do toga da su poliuretani sada svuda oko nas i igraju važnu ulogu u mnogim industrijama, od namještaja i obuće do proizvodnje automobila. Krute poliuretanske spužve su jedne od važnijih i učinkovitijih izolacijskih materijala, koji se koriste u širokom rasponu od primjene u hladnjacima do velikih industrijskih objekata.

2.2. Kemizam poliuretana

Poliuretanska smjesa je izrađena od dva tekuća materijala koji se, kada se pomiješaju u jednakim omjerima, pretvaraju u tvrdnu spužvu koja se može koristiti za toplinsku izolaciju, zvučnu izolaciju ili neku drugu svrhu.¹⁰ Prvi od dva tekuća materijala se sastoji od polimera diola ili triola (obično se koristi glicerin), mjehurajućih aditiva, površinskog silikona, katalizatora i freona. Drugi sadrži poliizocijanat. Tijekom miješanja dolazi do polimerizacijske reakcije u tri stupnja što dovodi do stvaranja velikih molekula koje čvrsto grade trodimenzionalnu strukturu.

Opća formula reakcije je:



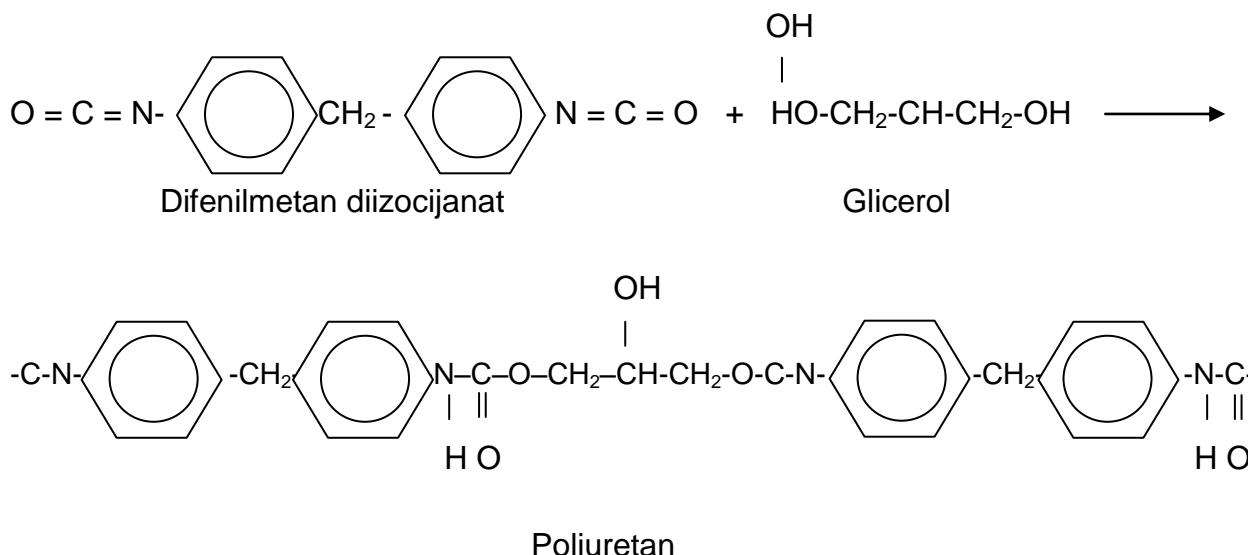
Izvor: URL: <http://www.chymist.com/polyurethane.pdf> (07.07.2012.)

gdje je C – ugljik, N – dušik, H – vodik, O – kisik, R – pridružena ugljikovodikova skupina.

⁹ URL: http://media.wiley.com/product_data/excerpt/18/04708504/0470850418.pdf (17.04.2012.).

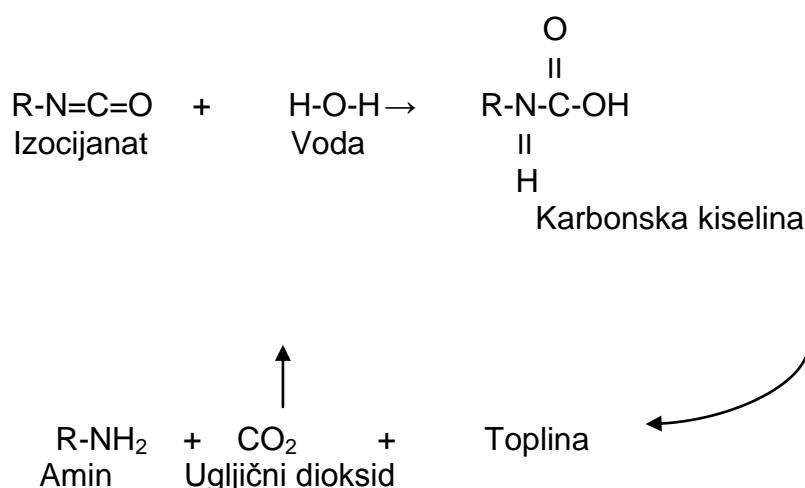
¹⁰ URL: <http://www.chymist.com/polyurethane.pdf> (07.07.2012.)

Stvarna reakcija između difenilmelan diizocijanata i glicerola za formiranje poliuretana je slijedeća:



Izvor: URL: <http://www.chymist.com/polyurethane.pdf> (07.07.2012.)

Da bi se stvorila pjena, odnosno poliuretanski polimer mogao proširiti (pjeniti) potrebno je uvođenje mjehurića plina. Izvor plina je ugljični dioksid, a nastaje reakcijom izocijanata s vodom.



Izvor: Klempner, D., Sendijarevic, V. (2004): Handbook of polymeric foams and foam technology, Second edition, Carl Hanser Verlag, München, str. 60.

Srednji dio ove reakcije je toplinski nestabilna karbonska kiselina, koja se spontano raspada na amin i ugljični dioksid. Širenjem mjehurića ugljičnog dioksida dolazi do konačne reakcije pjenjenja i nastanka spužve.

2.3. Otvorene i zatvorene stanice spužve

Od posebnog značaja su tri vrste spužvi: 1. spužve niske gustoće (*low-density foams*), 2. krute spužve niske gustoće (*low-density rigid foams*) i 3. spužve visoke gustoće (*high-density foams*).¹¹

Spužve niske gustoće (*low-density foams*) su gustoća u rasponu od 10 do 80 kg/m³, napravljene kao lagani umreženi polimeri s otvorenim stanicama. Mjehurići koji nastaju u početku rastu po stopi difuzije plina iz otopine, širenjem zbog topline ili zbog smanjenja tlaka, dolazi do puknuća plošne membrane i nastaju spužve s otvorenim stanicama.¹² Kod takvih spužvi nema plošnih barijera između susjednih stаница, što rezultira protokom zraka ili vode kroz spužvu. Takva spužva koristi se prvenstveno kao fleksibilan, odnosno elastičan materijal koji pruža visoku razinu udobnosti za korisnika. Spužve niske gustoće izrađuju se kao blokovi (*slabstock*), koji se potom izrezuju na potrebnu veličinu.



Slika 1. Izgled spužve s otvorenim stanicama

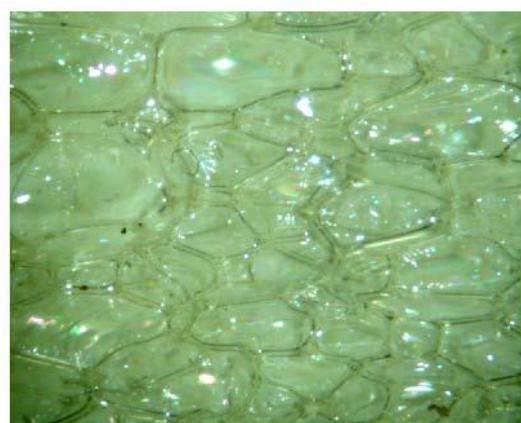
Izvor: Ridha, M. (2007.): Mechanical and failure properties of rigid polyurethane foam under tension, National University of Singapore, Singapore, str. 6.

Spužve niske gustoće (*low-density foams*) mogu se proizvesti u varijanti polukrutih materijala, gdje je promijenjena kemija spužvi u blokovima (*slabstock*), a uglavnom se koriste u energetskim sustavima.

¹¹ URL: http://media.wiley.com/product_data/excerpt/18/04708504/0470850418.pdf (28.08.2012.).

¹² Klempner, D., Sendijarevic, V. (2004): Handbook of polymeric foams and foam technology, Second edition, Carl Hanser Verlag, München, str. 5.

Krute sružve niske gustoće (*low-density rigid foams*) su vrlo umreženi polimeri sa zatvorenim stanicama, a gustoće su u rasponu od 28 do 50 kg/m³. Stanice u takvoj sružvi su izolirane jedne od drugih tankim polimernim membranama koje učinkovito zaustavljaju protok zraka kroz sružvu. Ovi materijali nude dobra mehanička svojstava u odnosu na svoju težinu, u kombinaciji s izvrsnom toplinskom izolacijom. U početku pjenjenja zbog topline i kemijske reakcije, te smanjenog tlaka mjehurići stvaraju i počinju širiti stanične membrane te se one dodiruju, ali membrane ostaju netaknute odnosno ne pucaju i na taj način dolazi do nastajanja sružvi s zatvorenim stanicama. U cilju održavanja dugoročnih svojstava potrebno je upotrijebiti plinove niske toplinske vodljivosti u stanicama. Primjer staničnih struktura odnosno zatvorenih stanica je prikazan na slici 2.



Slika 2. Izgled sružve sa zatvorenim stanicama

Izvor: Ridha, M. (2007.): Mechanical and failure properties of rigid polyurethane foam under tension, National University of Singapore, Singapore, str. 6.

Sružve visoke gustoće (*high-density foams*) definirane su kao one koje imaju gustoću iznad 100 kg/m³, te obuhvaćaju lijevane sružve i mikrocelularne elastomere. Postoje dvije vrste takvih sružvi, one s otvorenim stanicama ukupne gustoće oko 450 kg/m³ i one s uglavnom zatvorenim stanicama ukupne gustoće iznad 500 kg/m³. Mikrocelularni elastomeri imaju mnogo veću gustoću u rasponu od 400 do 800 kg/m³ i uglavnom su zatvorenih stanica.

2.4. Spužvasti materijali

Pod poglavljem 2.4. *Spužvasti materijali*, kratko će biti opisana svojstva poliuretanskih (PU ili PUR), lateks i visco-elastičnih spužvi. Razlog zašto su odabrane i opisane ove spužve je taj što se na tim spužvama izvršilo ispitivanje fizikalnih i mehaničkih svojstava.

2.4.1. PU spužva

Poliuretanska spužva je materijal koji omogućava da ojastučenje proizvoda bude lagano i higijenski prihvatljivo. Gustoća ove spužve kreće se u rasponu od 16 do 1100 kg/m³, a pojedini tipovi, odnosno spužve različitih gustoća obilježavaju se dodavanjem različitih boja. Struktura poliuretanskih spužvi može biti s otvorenim i zatvorenim stanicama. Osnovna svojstva ove spužve su visoki stupanj elastičnosti i malena trajna deformacija. Kemijski sastav poliuretanskih spužvi je najčešće izocijanat kao prva komponenta, a drugu komponentu čini poliol odnosno polieter ili poliester, tako da spužve koje su izrađene na bazi polietera imaju bolja svojstva za razliku od spužvi na bazi poliestera.¹³ Na tržištu spužve se dijele standardne polieterske, visoko elastične (*HR – high resilience*), visoko elastične otporne na gorenje (*CMHR – combustion modified high resilience*).

Uz veliki izbor netoksičnih spužvi, na području ojastučenja za posebne namjene su PUR meke poliuretanske spužve. PUR je materijal koji je dobiven na bazi nafte i izocijanata, a struktura mu se sastoji od zatvorenih stanica. Njene fizičke karakteristike kao što su, elastičnost, postojanost, stanična struktura, relativno mala masa, različita tvrdoća, dobra otpornost na mehaničko opterećenje, čine PUR spužvu upotrebljivom u različitim segmentima ojastučenog namještaja.¹⁴

2.4.2. Lateks spužva

Lateks je sok kaučukovca sličan mlijeku poznat gotovo 2000 godina. Pedesetih godina prošlog stoljeća počinje njegova značajnija prerada i upotreba. Kako je kaučukovcu potrebno pet do sedam godina za sazrijevanje soka ispod kore, danas se proizvodi i koristi sintetski lateks. Sintetički lateks se dobiva iz nafte. Lateks spužva proizvodi se u tri stupnja tvrdoće i to kao mekana, srednje tvrda i tvrda.¹⁵ Mekana

¹³ Grbac, I., Ivelić, Ž. (2005): Ojastučeni namještaj, Sveučilište u Zagrebu – Šumarski fakultet, Akademija šumarskih znanosti, Zagreb, str. 80.

¹⁴ URL: <http://www.delibasic-poliuretani.ba/stranica/informacije> (06.08.2012.).

¹⁵ Grbac, I. (2006): Krevet i zdravlje, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zagreb, str. 110.

lateksx spužva gotovo se ne upotrebljava, a razlika između srednje tvrde i tvrde svodi se na veći utrošak materijala kod tvrdih spužvi. Gustoća lateks spužvi obično iznosi 64 kg/m³ i više. Lateks spužve imaju odličnu elastičnost, što znači da uza sve veći otpor popuštaju pod opterećenjem, a nakon rasterećenja se vraćaju u prvočitno stanje. U većini slučajeva lateks spužva nadilazi fizikalne mogućnosti konvencionalnih spužvi. Naposljetku, mnogi stručnjaci smatraju da je lateks spužva najbolji materijal za ojastučenje i premda se može postići vrhunska kvaliteta, cijena mu je vrlo visoka.¹⁶

2.4.3. Visco-elastična spužva

Visco-elastične spužve, ili tzv. memorijske spužve, komercijalizirane su 60-tih godina kao rezultat NASA-ine tehnologije. Ovaj tip spužve s otvorenim stanicama je varijanta fleksibilne poliuretanske spužve s istaknutim svojstvima koja omogućuju raspodjelu G-sile kod polijetanja i slijetanja te udobnost kod dugog sjedenja astronauta. Karakteristika visco-elastične spužve vezana uz raspodjelu tlaka predstavljala je važnu novinu u proizvodnji spužvi.¹⁷

Za visco-elastičnu spužvu je tipično da se polako oporavlja nakon prestanka djelovanja sile. Zbog toga se te spužve nazivaju spužve sa sporim oporavkom. Druge karakteristike tih spužvi su ublažavanje vibracija i udaraca. Visco-elastične poliuretanske spužve se opisuju i kao „mrtve“ ili kao „nisko elastične“ spužve, jer im nedostaje površinska elastičnost koju imaju druge poliuretanske spužve.¹⁸

Zbog mogućnosti prilagodbe tijelu, koriste se za izradu madracu, a zbog niske elastičnosti za jastuke. Sposobnost spužve da raspodjeljuje težinu i pritisak tijela (pri čemu se smanjuju potencijalna nagnjećenja zbog pritiska na bokove, ramena, leđa ili glavu) može se upotrijebiti kod ljudi sa smanjenom pokretljivošću odnosno koji su u invalidskim kolicima ili u bolničkim krevetima. Isto tako se mogu koristiti za izradu uredskog namještaja, pokućstva ili za automobiliška sjedala. Standardne spužve povećavaju gustoću s vremenom uporabe. Isto vrijedi i za visco-elastične spužve. Gustoća povećava trajnost i sposobnost visco-elastičnih spužvi da zadrže fizikalna

¹⁶ *** (2000): InTouch, Information on flexible polyurethane foam: Vol. 8 (1), Polyurethane Foam Association, Inc., Wayne, NJ, USA, str. 2.

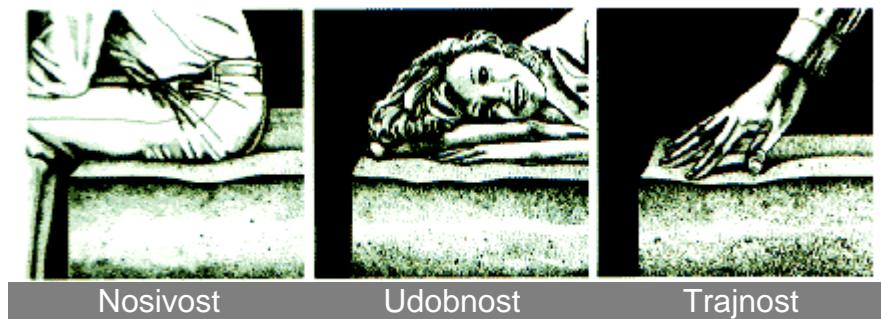
¹⁷ *** (2003): InTouch, Information on flexible polyurethane foam: Vol. 11 (1), Polyurethane Foam Association, Inc., Wayne, NJ, USA, str. 1.

¹⁸ *** (2003): InTouch, Information on flexible polyurethane foam: Vol.11 (1), Polyurethane Foam Association, Inc., Wayne, NJ, USA, str. 1.

svojstva. Gustoća za te spužve kreće se u rasponu od 32 do 96 kg/m³. Tvrdoća visko-elastičnih spužvi kreće se od super mekih do polukrutih.¹⁹

2.5. Fizikalna i mehanička svojstva PU spužvi

Spužva je jedan od najsvestranijih materijala koji su ikada napravljeni. Iako se čini da je to vrlo jednostavan proizvod, zapravo je vrlo složen. Spužva može biti napravljena tako da ima različita svojstva i premda dvije spužve mogu izgledati jednako, zapravo su potpuno različite i daju različiti osjećaj ugode. Međutim, svojstva spužvi mogu se odrediti i navesti vrlo detaljno. Ključna svojstava spužve za dobar osjećaj ugode jesu nosivost, udobnost i trajnost.²⁰



Slika 3. Ključna svojstva PU spužvi

Izvor: *** (2000): InTouch, Information on flexible polyurethane foam: Vol. 8 (1), Polyurethane Foam Association, Inc., Wayne, NJ, USA, str. 2.

Spužva mora imati mogućnost nosivosti i podupiranja težine korisnika. Nadalje, spužva koja se koristi za ojastučenje mora korisniku biti udobna i pružati ne samo podlogu za sjedenje nego i udobnost tijekom uporabe. Trajanost se odnosi na svojstvo spužve da u tijekom uporabe ne gubi prvotna svojstva i ostaje izdržljiva. Sjedalo naslonjača mora imati dobru nosivost, udobnost i trajnost, dok naslon i rukonasloni istog naslonjača moraju trajati i biti udobni, ali ne moraju nužno podnosići velike težine

¹⁹ *** (2003): InTouch, Information on flexible polyurethane foam: Vol. 11 (1), Polyurethane Foam Association, Inc., Wayne, NJ, USA, str. 3.

²⁰ *** (1991): InTouch, Information on flexible polyurethane foam: Vol. 1 (1), Polyurethane Foam Association, Inc., Wayne, NJ, USA, str. 2.

korisnika. Gustoća utječe na karakteristike spužve. Očito je da što spužva ili materijal od kojeg je izrađena ima veću gustoću nosivost takove spužve će biti veća.²¹

Gustoća je svojstvo poliuretanskih spužvi koja se najčešće pogrešno tumači. Neki ljudi povezuju gustoću i tvrdoću, a ta povezanost je potpuno pogrešna. Spužve s velikim rasponom tvrdoće mogu biti izrađene u iznimno velikom rasponu gustoće. Manja gustoća znači da ima manje staničnog materijala za podnošenje težine, a veća gustoća spužve znači da ima više staničnog materijala koji pruža dugoročna svojstva sjedala. Postoje dva osnovna načina za određivanje tolerancija gustoće. Jedan je da se odredi najmanja gustoća, pa tako npr. ako neka spužva ima gustoću od 29 kg/m^3 , a sve ostale spužve gustoću manju od 29 kg/m^3 , smatra se da su izvan tolerancije. Drugi način određivanja gustoće je taj da se na nominalnu gustoću stavi plus i minus tolerancija. Na primjer, spužva nominalne gustoće od 29 kg/m^3 s tolerancijom od plus/minus $1,6 \text{ kg/m}^3$, označit će se na sljedeći način, a to je $29 \text{ kg/m}^3 \pm 1,6 \text{ kg/m}^3$. Izbor načina iskazivanja tolerancije nije određena toliko tehničkim propisima koliko ekonomskim, jer obično spužve s manjom tolerancijom imaju veće cijene koštanja.²² Odnos gustoće spužve i kvalitete te trajnosti je promjenljiv i pogrešno shvaćen pojam. Ako se uzme da je kvaliteta standardizirana onda gustoća absolutno nema nikakve veze s kvalitetom. Drugim riječima, ako se unaprijed kupac i prodavač dogovore da je spužva nominalne gustoće od $12,8 \text{ kg/m}^3$ izrađena prema standardnim specifikacijama onda je spužva također u okvirima standardne kvalitete i ta kvaliteta nije upitna. Često se međusobno pojmovi kvalitete i trajnosti zamjenjuju jer su se ponekad koristili kao istoznačnice. Trajnost se opisuje kao svojstvo ili skupina svojstava koja utječu na to kako će spužva reagirati u upotrebi, odnosno u korištenju. U određenim dobro definiranim uvjetima, i ako se ispravno primjenjuje statistička teorija vjerojatnosti, može se zaključiti da gustoća izravno utječe na trajnost spužve, a taj utjecaj se naziva zamor materijala, tj. spužve.²³ Točnija i prihvatljivija definicija koja podrazumijeva utjecaj gustoće na svojstva zamora poliuretanskih spužvi je takva da ako se gustoća spužve smanjuje tendencija zamora materijala se povećava. Tvrđnja da su spužve gustoće od 29 kg/m^3 uvijek bolje od onih sa nižom gustoćom je preuveličana u odnosu na stvarne činjenice. Svaki proizvođač spužve će priznati da je jednako lako pogriješiti pri izradi spužvi s nižom gustoćom kao i višom gustoćom. Visoka gustoća spužve nije garancija za trajnost i uporabnu vrijednost.

²¹ *** (1991): InTouch, Information on flexible polyurethane foam: Vol. 1 (2), Polyurethane Foam Association, Inc., Wayne, NJ, USA, str. 2.

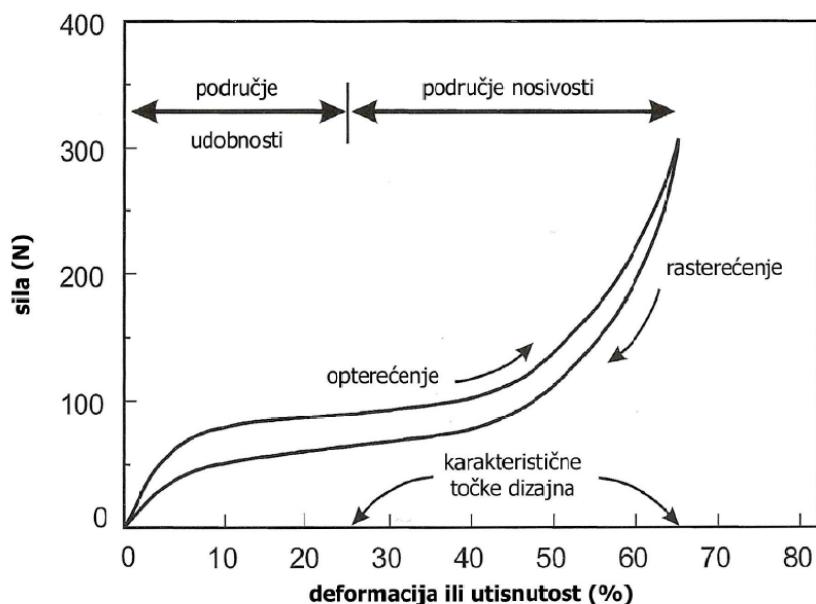
²² *** (1997): Joint industry foam standard and guidelines, Polyurethane Foam Association, Loudon USA, str. 9.

²³ *** (1997): Joint industry foam standard and guidelines, Polyurethane Foam Association, Loudon USA, str. 10.

Iz statističkih podataka proizlazi da će spužve s većom gustoćom biti trajnije od spužvi s nižom gustoćom. Sve gore navedene tvrdnje odnose se isključivo na spužve s otvorenim stanicama. Godine iskustva i podaci ispitivanja dali su rezultate koji potvrđuju da su poliuretanske spužve s gustoćom od 29 kg/m^3 ili većom bolje za primjenu i izradu sjedala od onih s manjom gustoćom. Rezultati ispitivanja pokazuju da spužve s većom gustoćom imaju bolju histerezu od spužvi s manjom gustoćom.

IFD POSTUPAK I SMJERNICE

IFD (*Indentation Force Deflection*) je postupak deformiranja uzorka uslijed sile utiskivanja na način da se u uzorak položen na ravnu podlogu utiskuje okruglo tijelo promjera 200^{+3}_0 mm i pri tome se mjeri dubina utiskivanja i za to potrebna sila. Grafički rezultat IFD postupka (testa) je krivulja između deformacije i sile prikazana sljedećim dijagramom.



Slika 4. Tipična krivulja sile deformacija spužve

Izvor: Klempner, D., Sendijarevic, V. (2004): Handbook of polymeric foams and foam technology, Second edition, Carl Hanser Verlag, München, str. 96.

Za spužve se karakteristike udobnosti procjenjuju na početnom djelu krivulje do 25% deformacije. Nakon deformacije od 25% spužva mora pokazati svojstvo nosivosti dostatno za držanje tijela u željenom položaju.

Kako bi se spriječilo potpuno stlačenje (*bottoming out*) krajnja dizajnirana tvrdoća postavlja se na 65% deformacije. Odnos tih dviju točaka (na 25% i na 65% deformacije) daje određen nagib krivulje i obično se definira kao indeks udobnosti (*support factor*).

Što su veće razlike između 25% IFD i 65% IFD sružva ima bolja svojstva nosivosti i podupiranja težine.²⁴

IFD se može izjednačiti s udobnošću, ali nije uvijek izravno povezan s udobnošću. Različite vrijednosti IFD-a će se dobiti ako se koristi različiti postotak deformacije ili ako je visina uzorka za ispitivanje različita. Ovisnost rezultata IFD-a o promjeni debljine uzorka prikazana je sljedećom tablicom.

Tablica 1. Utjecaj debljine uzorka na rezultate IFD-a pri 25% deformacije

Redni broj uzorka	Debljina uzorka (cm)	IFD na 25% deformacije (kPa)
1	10,1	3,9
2	12,7	4,3
3	15,2	4,8
4	17,8	5,3

Izvor: *** (1997): Joint industry foam standard and guidelines, Polyurethane Foam Association, Loudon USA, str. 17.

Analiza podataka pokazuje da ponavljanje postupaka mjerjenja IFD testa u najboljim laboratorijskim uvjetima daje približno točne rezultate, međutim, pod nekontroliranim okolnostima ispitivanja razlika mjerjenja bitno se povećava.²⁵ Također je potrebno navesti cijelokupnu veličinu (dimenzije) ispitnih uzoraka. Veličina uzorka, osim debljine, može drastično utjecati na rezultate IFD testa. Još jedan uzrok promjena u rezultatima IFD-a, je razlika u strukturi bloka sružve po cijelom poprečnom presjeku, gdje će se rezultati IFD-a značajno mijenjati.²⁶ Pri proizvodnji blokova (*slabstock*), važno je spomenuti da u sredini bloka (gdje je toplije) nastaje najtvrdja sružva, a na rubovima koji se najbrže hlađe, nastaje najmekanija sružva. Na IFD također utječe promjena širine i dužine ispitnih uzoraka, drugim riječima što su uzorci većih dimenzija IFD pri 25% deformacije se povećava na što ukazuje sljedeća tablica.

²⁴ *** (1991): InTouch, Information on flexible polyurethane foam: Vol. 1 (1), Polyurethane Foam Association, Inc., Wayne, NJ, USA str. 4.

²⁵ *** (1997): Joint industry foam standard and guidelines, Polyurethane Foam Association, Loudon USA, str. 19.

²⁶ *** (1997): Joint industry foam standard and guidelines, Polyurethane Foam Association, Loudon USA, str. 20.

Tablica 2. Utjecaj širine i dužine uzorka na konačan rezultat IFD-a pri 25% deformacije

Redni broj uzorka	Dimenzije uzorka (cm)	IFD na 25% deformacije (N)
1	38 × 38	107
2	43 × 43	108
3	51 × 51	116
4	63 × 63	117

Izvor: *** (1997): Joint industry foam standard and guidelines, Polyurethane Foam Association, Loudon USA, str. 21.

Najvažniji razlog koji je povezan s promjenom širine i dužine uzorka, a koji utječe na IFD jesu rubovi ispitnih uzorka. Naime, ako su uzorci manji od 50×50 cm pri ispitivanju njihovi rubovi će se povlačiti i tako utjecati na konačan rezultat.²⁷ Preporuča se da uzorci budu što veći kako bi se ta greška izbjegla.

INDEKS UDOBНОСТИ I NOSIVOST

Indeks udobnosti (*support factor*) nije mjera koja je svojstvena samo spužvama, nego se u industriji namještaja može određivati i za ostale dijelove (komponente) kao što su opruge i tkanine.²⁸ Indeks udobnosti (*support factor*) je pokazatelj početne i krajnje sposobnosti spužve da nosi teret koji je smješten na njoj. Indeks udobnosti (*support factor*) izračunava se na način da se u odnos stave vrijednosti IFD-a pri 65% i vrijednosti IFD-a pri 25% deformacije. Udobnost se javlja kada je materijal sposoban pod malim opterećenjima svoju površinu udubiti i prilagoditi se tijelu. Na indeks udobnosti utječe gustoća, kemijski sastav, te proces proizvodnje. S praktičnog stajališta, vrijednosti indeksa udobnosti (*support factor*) iznose od 1,7 do 3,0.²⁹ Što je broj veći, spužva pruža bolju nosivost (*support*).³⁰ Rijetko spužve s gustoćom manjom od 22 kg/m³ imaju indeks udobnosti s vrijednostima od 1,8 do 1,9.³¹ Spužve s višim indeksom udobnosti (*support factor*) pri 25% IFD-a, imaju veću nosivost tereta, ali uz veće vrijednosti deformacije.

²⁷ *** (1997): Joint industry foam standard and guidelines, Polyurethane Foam Association, Loudon USA, str. 21.

²⁸ *** (1993): InTouch, Information on flexible polyurethane foam: Vol. 3 (1), Polyurethane Foam Association, Inc., Wayne, NJ, USA, str. 2.

²⁹ *** (1997): Joint industry foam standard and guidelines, Polyurethane Foam Association, Loudon USA, str. 22.

³⁰ *** (1991): InTouch, Information on flexible polyurethane foam: Vol. 1 (1), Polyurethane Foam Association, Inc., Wayne, NJ, USA, str. 4.

³¹ *** (1997): Joint industry foam standard and guidelines, Polyurethane Foam Association, Loudon USA, str. 22.

Nosivost (*support*) je glavna funkcija spužve, odnosno najvažnija funkcija koju spužva mora osigurati. Kod ojastučenog namještaja, spužva ima dobru nosivost ako ne dolazi do potpunog stlačenja (*bottoming out*), odnosno da se stlačuje do te točke kada više ne može nositi težinu osobe.³² To znači da spužva mora raspodijeliti težinu osobe do maksimalne udobnosti. Prednost u ojastučenom namještaju je ta, što odgovarajuća nosivost spužve povećava raspodjelu tlakova odnosno sposobnost ravnomjerne raspodjele težine (sile) tijela po cijeloj sjednoj površini i smanjenje pritiska, tj. omogućava tijelu da se "ugniježdi" u sjedalo (*cradling*).³³ Odgovarajuća raspodjela tlakova (*cradling*) raspodjeljuje težinu tijela ravnomjerno, tako da praktički nema mjesta gdje je težina tijela koncentrirana, jer bi se time smanjila protočnost krvotoka i uzrokovala neudobnost pri sjedenju. Ako su sjedala debela i meka mogu se koristiti niži indeksi udobnosti da bi se poboljšala raspodjela tlakova (*cradling*) i postigla bolja raspodjela težine tijela, a ako su sjedala tanka moraju se koristiti viši indeksi udobnosti da bi se težina tijela raspodijelila i spriječilo potpuno stlačenje spužve.³⁴ Spužve za sjedala će s uporabom omekšati, no specifikacije više razine nosivosti mogu pomoći da se i nakon duže uporabe stječe dojam da su sjedala nova.³⁵ Isto tako je moguće uslojavanje mekih i tvrdih spužvi kako bi se poboljšala nosivost tako složene strukture.

³² *** (1993): InTouch, Information on flexible polyurethane foam: Vol. 3 (1), Polyurethane Foam Association, Inc., Wayne, NJ, USA, str. 1.

³³ *** (1993): InTouch, Information on flexible polyurethane foam: Vol. 3 (1), Polyurethane Foam Association, Inc., Wayne, NJ, USA, str. 2.

³⁴ *** (1993): InTouch, Information on flexible polyurethane foam: Vol. 3 (1), Polyurethane Foam Association, Inc., Wayne, NJ, USA, str. 2.

³⁵ *** (1993): InTouch, Information on flexible polyurethane foam: Vol. 3 (1), Polyurethane Foam Association, Inc., Wayne, NJ, USA, str. 3.

TVRDOĆA I ZAMOR SPUŽVE

Proizvođačima namještaja i korisnicima bitna je tvrdoća spužve. Tvrdoća poliuretanskih spužvi se mjeri fizičkim svojstvom deformacije uslijed utiskivanja koje ima kraticu IFD prema engleskom nazivu *Indentation Force Deflection*. Elastična poliuretanska spužva se sastoji od dijagonalne stanične mreže stisnutih malih podupirača i staničnih prostora. Podupirači formiraju vanjsku potpornu strukturu stanice, i podijeljeni su između stanica kako bi stvorili jedinstven materijal s dobrom i cjelovitom strukturom te uporabnom tvrdoćom. Ta jedinstvena struktura doprinosi elastičnosti kod spužvi i dozvoljava stanicama da se stisnu i vrate u prvobitni oblik u odnosu prema jačini pritiska. Niže vrijednosti IFD-a ukazuju na mekše spužve, a više na tvrđe. Vrijedi općenito pravilo za konvencionalne spužve da proizvodi s većom gustoćom ($1,8 \text{ kg/m}^3$ i većom) mogu pružiti odlične dugoročne karakteristike, s manjim gubicima tvrdoće kod uporabe.³⁶ Normalno je da proizvodi od spužve u tijekom uporabe malo omešaju. Promjene tvrdoće spužve bit će manje nego kod alternativnih materijala za sjedala kao što su poliester ili prirodna vlakna. Tvrdoća sjedala bi trebala pružiti mogućnost da osoba lagano sjedne u nj, a ne na njegovu površinu.³⁷

Kao i kod svih materijala koji nose terete, nakon ekstremnog i ponavljajućeg djelovanja sile promijeniti će se fizikalna svojstva spužve zbog nastanka zamora materijala. Spužve s većom gustoćom obično imaju bolju otpornost na zamor materijala od spužvi s manjom gustoćom.³⁸ Sve konvencionalne spužve uporabom gube tvrdoću. Ponekad zamor materijala i problemi oko omešavanja spužve mogu biti uzrok preniskom IFD-u. Deformiranje je do nekog stupnja i poželjno, ali prekomjerno stlačenje može dovesti do nepravilnosti u strukturi stanica spužve, a što kasnije može dovesti do problema u svojstvima spužve. Postoji nekoliko načina s kojima se ispituje zamor (trajnost) spužve, odnosno koliko dugo spužva zadržava prvobitnu tvrdoću i visinu. U ispitivanju dinamičkog zamora uzorci spužve izlažu se dinamičkom tlačenju od nekoliko stotina ili nekoliko tisuća puta, a tada se mjeri postotak gubitka IFD-a. Ispitivanjem uzoraka spužvi s manjim brojem ciklusa dobiva se predodžba o tome koliko tvrdoće spužva može izgubiti u početnoj upotrebi, dok veći broj ciklusa daje sliku o sveukupnoj

³⁶ *** (1994): InTouch, Information on flexible polyurethane foam: Vol. 4 (3), Polyurethane Foam Association, Inc., Wayne, NJ, USA, str. 2.

³⁷ *** (1993): InTouch, Information on flexible polyurethane foam: Vol. 3 (1), Polyurethane Foam Association, Inc., Wayne, NJ, USA, str. 3.

³⁸ *** (1994): InTouch, Information on flexible polyurethane foam: Vol. 4 (3), Polyurethane Foam Association, Inc., Wayne, NJ, USA, str. 2.

trajnosti spužve.³⁹ Najveći gubitak se dogodi unutar prvih 1000 ciklusa ispitivanja. Dio spužve na rubovima sjedala koji su u obliku savršenih pravokutnika bez zaobljenja ili skošenja prilikom djelovanja sile na rub sjedala dovodi do vrlo zanimljive trajne deformacije rubova spužve (*edge set*).⁴⁰ Da bi se smanjila trajna deformacija rubova, rubovi se mogu zaobliti, ukositi ili se sjedalo može zaštiti poliesterskim vlaknima.

³⁹ *** (1991): InTouch, Information on flexible polyurethane foam: Vol.1 (1), Polyurethane Foam Association, Inc., Wayne, NJ, USA, str. 4.

⁴⁰ *** (1997): Joint industry foam standard and guidelines, Polyurethane Foam Association, Loudon USA, str. 30.

3. CILJ ISTRAŽIVANJA

Uredski namještaj za sjedenje namijenjen je opremanju ureda ili drugih radnih prostora, a ima funkciju podržavanja tijela u pravilnom, udobnom i zdravom sjedećem položaju pri radu ili drugim aktivnostima u radnoj okolini. Udobnost sjedenja na uredskim stolicama je složena pojava međudjelovanja ljudskog uma, tijela i konstrukcijske izvedbe stolice. To je interakcija mjerljivih i nemjerljivih čimbenika koji utječu na cjelokupan doživljaj sjedenja, rada i odmaranja na uredskim stolicama, koja iziskuje definiranje, mjerjenje i procjenjivanje udobnosti i određivanje njenih kriterija.⁴¹

Izazov je odrediti kvalitetu stolice koja se ponajprije očituje u kvaliteti i vrsti ispune sjedala, odnosno materijala ugrađenog u sjedalo stolice, pri čemu će osoba, koja sjedi na toj stolici, doživljavati udobnost, neće se suviše zamarati sjedenjem, neće doživljavati bolove u području bedara, stražnjice ili lumbalnog dijela kralješnice – time će biti bolje koncentrirana na posao i radne zadatke. Da bi bila dobar materijal ojastučenja, spužva mora pokazati i dobra svojstva udobnosti i dobra svojstva nosivosti. Udobnost se javlja kada je materijal sposoban pod malim opterećenjem svoju površinu udubiti i prilagoditi se tijelu.

Cilj rada je objektivnim metodama ispitati fizikalna (gustoču) i mehanička svojstva različitih spužvi te ih usporediti i pronaći vezu njihove kvalitete i elastičnih svojstava prema svojstvima udobnosti namijenjenih za uporabu u namještaju za sjedenje. Nadalje će se pokušati dokazati utječe li debljina uzorka spužvi na udobnost pri upotrebi. U završnoj fazi ispitivanja kombinacijom više vrsta uzorka pokušat će se dobiti konstrukcija sjedala koja bi dala bolja svojstva udobnosti, nosivosti i trajnosti.

Za ispitivanje, tj. određivanje fizikalnih svojstava: indeksa udobnosti, tvrdoće, povrata histerezе i histerezе spužve (*Support Factor/SAG-factor, Hardness, Recovery/Hysteresis Return i Hysteresis loss*) korištene su metode opisane u normi ISO 2439:2008 pomoću IFD-testa.⁴² Gustoča pojedine spužve određivala se pomoću metode u normi ISO 845:1988.⁴³

⁴¹ Vlaović, Z.,(2009): Činitelji udobnosti uredskih stolica, disertacija, Šumarski fakultet, Zagreb, str. 3.

⁴² *** (2008): ISO 2439 Flexible cellular polymeric materials – Determination of hardness (indentation technique), International Standards Organisation, Geneva.

⁴³ *** (1988): ISO 845 Cellular plastics and rubbers – Determination of apparent (bulk) density, International Standards Organisation, Geneva.

4. MATERIJALI I METODE

Slijede detaljni opisi i prikazi fizikalnih svojstava, vrsta, izgleda i dimenzija materijala odnosno uzorka koji su ispitivani, te metode ispitivanja mehaničkih svojstava spužvi.

4.1. Uzorci

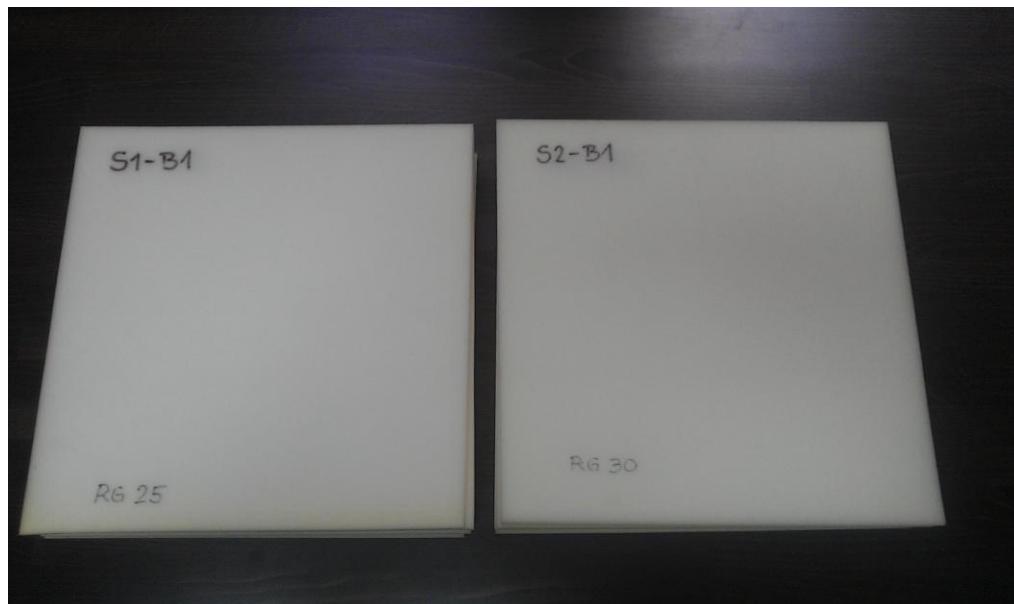
Za uzorce je odabранo ukupno dvanaest različitih sružvi koje se međusobno razlikuju po vrsti i gustoći, s dimenzijsama $390 \times 390 \times$ debljina (mm). Svaki uzorak se sastojao od četiri ploče, po dvije iste debljine (20 i 10 mm). Kombinacijom ploča raspoređivih debljina moglo su se sastaviti konstrukcije od 40, 50 i 60 mm debljine čija su svojstva istraživana. Glavne oznake sružvi prema vrstama su od S1 do S12, a oznake ploča unutar svake vrste su A1, A2, B1 i B2 (A i B predstavljaju debljinu od 20 i 10 mm, 1 i 2 predstavljaju redne brojeve). Slojevi uzorka radi postizanja triju različitih debljina prilikom ispitivanja nisu bili slijepljeni.

Prema vrstama, odabrane su poliuretanske, lateks i visco-elastične (memory) sružve. Gustoća svih dvanaest vrsta sružvi kreće se u rasponu od 27 do 65 kg/m^3 , što se detaljnije može vidjeti u sljedećim tablicama.

Tablica 3. Prikaz fizikalnih svojstava PU sružvi

Materijali (tvorničke oznake)	Oznaka ploče	Masa (g)	Dužina (mm)	Širina (mm)	Visina (mm)	Gustoća (kg/m ³)	Srednja gustoća (kg/m ³)
PN 2534	S1-A1	84,3	389,2	392,0	20,52	26,93	27,04
	S1-A2	85,8	391,3	394,8	20,59	26,97	
	S1-B1	38,7	390,3	391,3	9,32	27,18	
	S1-B2	39,1	391,8	391,5	9,42	27,06	
PN 3038	S2-A1	88,8	393,8	393,2	19,9	28,82	28,61
	S2-A2	87,3	388,2	395,5	19,9	28,58	
	S2-B1	46,6	393,2	393,3	10,58	28,48	
	S2-B2	46,8	392,2	396,2	10,55	28,55	
VAPEN S 3534	S3-A1	105,7	392,7	392,8	20,66	33,17	33,08
	S3-A2	109,6	391,8	392,5	21,79	32,70	
	S3-B1	52,4	392,8	394,2	10,2	33,18	
	S3-B2	51,4	393,0	394,5	9,97	33,25	
PT 4048	S4-A1	118,4	392,7	395,7	21,33	35,73	35,70
	S4-A2	115,2	392,5	389,7	20,93	35,99	
	S4-B1	57,1	392,5	396,0	10,22	35,95	
	S4-B2	55,2	392,7	392,5	10,19	35,15	

Za potrebe ispitivanja fizikalnih i mehaničkih svojstva, korišteni uzorci prikazani su na sljedećim slikama.



a) PU spužva PN 2534

b) PU spužva PN 3038

Slika 5. Izgled uzoraka PU spužvi oznaka S1 i S2



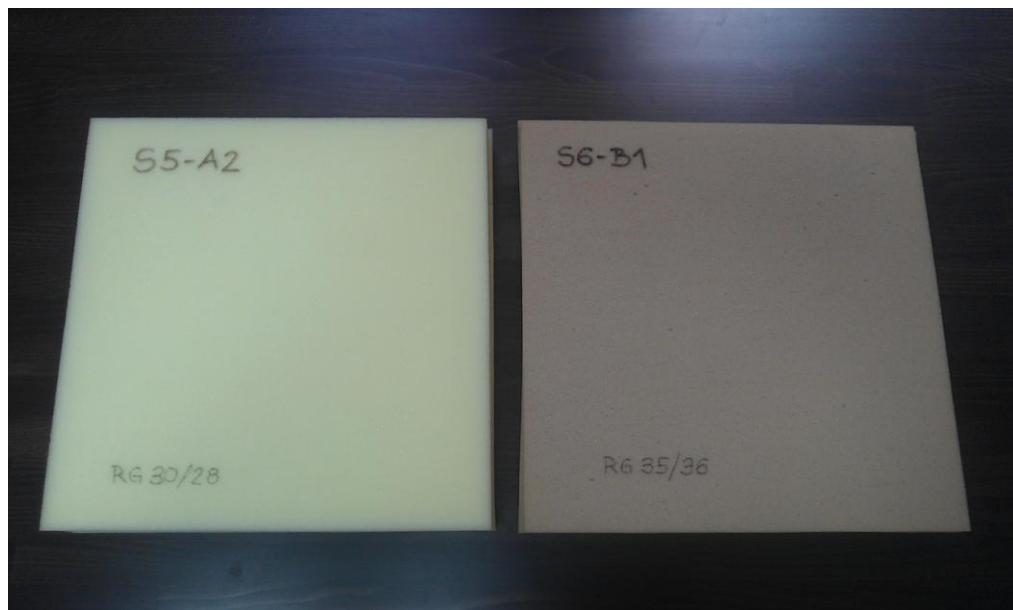
c) PU spužva VAPEN S 3534

d) PU spužva PT 4048

Slika 6. Izgled uzoraka PU spužvi oznaka S3 i S4

Tablica 4. Prikaz fizikalnih svojstava HR spužvi

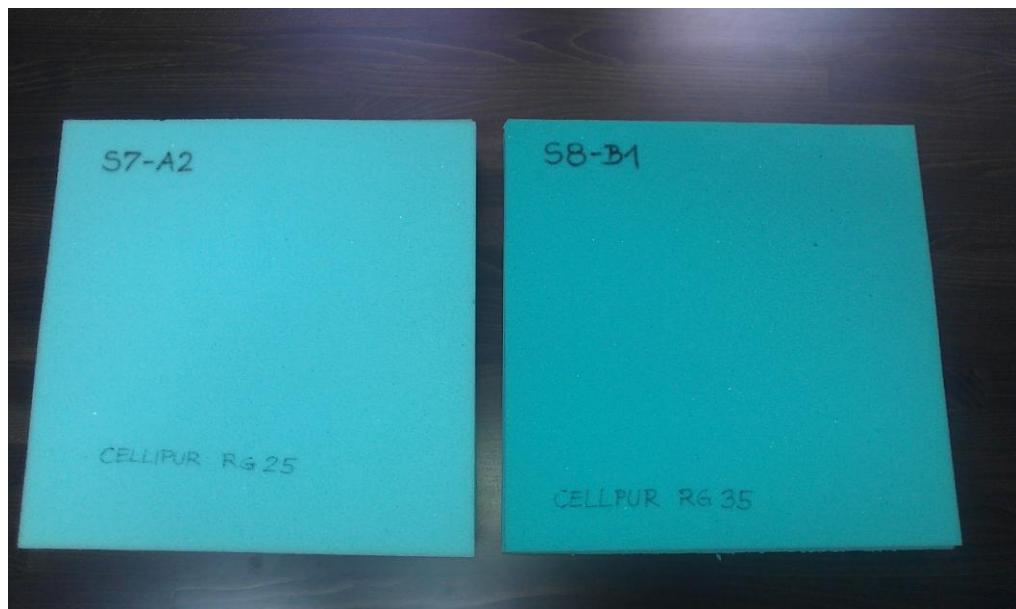
Materijali (tvorničke oznake)	Oznaka ploče	Masa (g)	Dužina (mm)	Širina (mm)	Visina (mm)	Gustoća (kg/m ³)	Srednja gustoća (kg/m ³)
HR 3028	S5-A1	97,4	394,3	392,7	21,57	29,16	30,09
	S5-A2	90,4	394,5	392,2	18,72	31,21	
	S5-B1	48,9	394,8	393,8	10,73	29,31	
	S5-B2	46,5	394,8	393,5	9,76	30,67	
HR 3536	S6-A1	114,7	392,5	393,2	20,41	36,42	36,45
	S6-A2	112,3	393,2	393,0	19,85	36,61	
	S6-B1	55,7	393,7	389,3	9,92	36,63	
	S6-B2	58	392,8	393,7	10,38	36,13	
CELLPUR R 5225	S7-A1	171,1	395,7	399,2	19,76	54,83	54,20
	S7-A2	167,4	394,7	397,0	19,3	55,36	
	S7-B1	77,3	392,2	392,0	9,39	53,55	
	S7-B2	75,9	392,0	392,7	9,29	53,08	
CELLPUR R 5235	S8-A1	188,1	394,5	397,3	22,05	54,42	54,16
	S8-A2	182,2	394,3	393,3	21,75	54,01	
	S8-B1	59,7	393,0	392,5	7,11	54,43	
	S8-B2	60,2	393,5	394,5	7,21	53,79	
CELLPUR R 5245	S9-A1	170	393,0	394,2	21,48	51,09	51,32
	S9-A2	154,7	392,5	388,7	19,58	51,79	
	S9-B1	67,3	392,0	395,3	8,43	51,52	
	S9-B2	70,1	395,0	391,5	8,91	50,88	



e) Spužva HR 3028

f) Spužva HR 3536

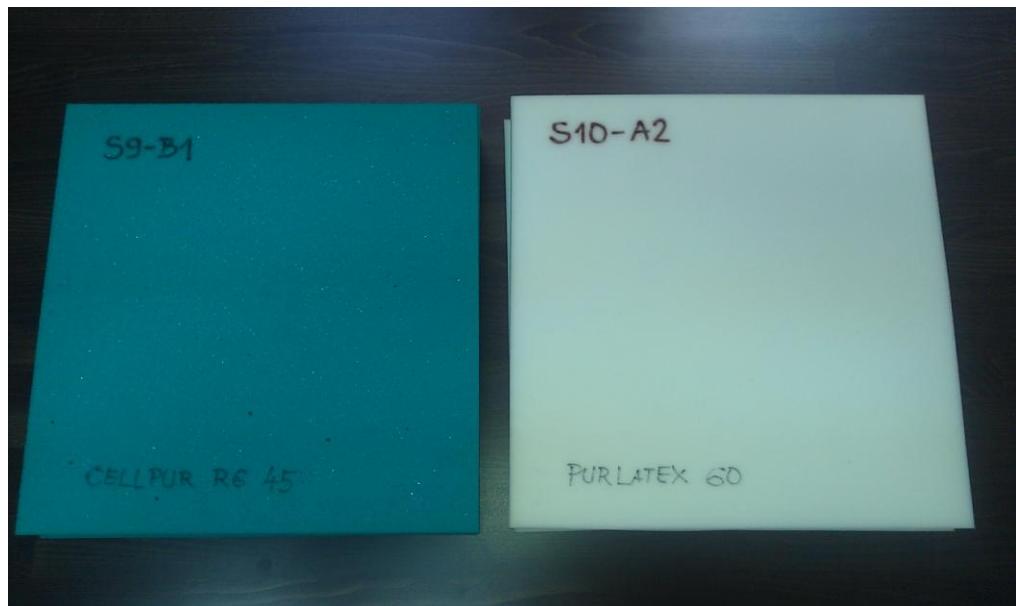
Slika 7. Izgled uzoraka HR spužvi oznaka S5 i S6



g) HR spužva CELLPUR R 5225

h) HR spužva CELLPUR R 5235

Slika 8. Izgled uzoraka HR spužvi oznaka S7 i S8



i) HR spužva CELLPUR R 5245

j) Spužva PURLATEX 60

Slika 9. Izgled uzoraka HR i PURLATEX spužvi oznaka S9 i S10

Tablica 5. Prikaz fizikalnih svojstava latex i visco-elastične spužve

Materijali (tvorničke oznake)	Oznaka ploče	Masa (g)	Dužina (mm)	Širina (mm)	Visina (mm)	Gustoća (kg/m ³)	Srednja gustoća (kg/m ³)
PURLATEX 60	S10-A1	182,9	393,3	397,3	20,31	57,62	57,88
	S10-A2	184,8	394,7	396,8	20,31	58,10	
	S10-B1	92	395,5	393,3	10,2	57,98	
	S10-B2	92,1	393,3	395,8	10,23	57,82	
LATEX 65	S11-A1	213,9	393,8	394,8	19,39	70,94	64,96
	S11-A2	218	388,7	404,5	19,32	71,77	
	S11-B1	82,6	392,3	390,5	9,41	57,29	
	S11-B2	88,5	398,0	395,0	9,41	59,82	
VISCO V 5015	S12-A1	199,7	397,7	392,7	24,45	52,31	53,62
	S12-A2	175,6	392,7	403,0	20,58	53,92	
	S12-B1	83,1	392,8	394,2	10,03	53,51	
	S12-B2	89,7	392,5	391,2	10,67	54,76	



k) Spužva LATEX 65

l) Spužva VISCO V 5015

Slika 10. Izgled uzoraka LATEX i VISCO spužvi oznaka S11 i S12

4.2. Metode istraživanja

Ispitivanja fizikalnih i mehaničkih svojstava uzoraka spužvi provodilo se na Šumarskom fakultetu u Laboratoriju za ispitivanje namještaja i dijelova za namještaj. Na ispitnim uzorcima su se provodila sljedeća ispitivanja prema normi ISO 2439: određivanje indeksa udobnosti (*support (SAG) factor*), mjerjenje tvrdoće (*hardness*), određivanje histereze (*hysteresis loss rate*) i povrata histereze (*recovery / hysteresis return*). Gustoća spužvi određena je i izmjerena sukladno normi ISO 845.

4.2.1. Određivanje gustoće spužve

Gustoća je svojstvo poliuretanskih spužvi koja se najčešće pogrešno tumači. Ljudi često povezuju gustoću i tvrdoću, a ta je povezanost potpuno pogrešna. Spužve s velikim rasponom tvrdoće mogu biti izrađene u iznimno velikom rasponu gustoće. Gustoća spužve se određuje tako da se masa (kg) podijeli s volumenom uzorka (m^3) kao što to prikazuje sljedeći matematički izraz.⁴⁴

$$\rho = \frac{m}{V} (kg/m^3)$$

Masa svih ispitnih uzoraka izmjerena je pomoću laboratorijske digitalne vase s točnošću od 0,001 gram. Da bi se mogao odrediti volumen ispitnih uzoraka potrebno je izmjeriti širinu, duljinu i debljinu. Širina i duljina uzorka izmjerena je na šest različitih mesta po tri sa svake strane kako bi umanjila greška nepravilnog oblika uzorka. Debljina uzorka izmjerena je pomoću uređaja za ispitivanje, na način da se pritisno tijelo promjera 200 mm približilo i dotaknulo ispitni uzorak, te je u istom trenutku računalo zabilježilo visinu uzorka, odnosno njegovu debljinu.

Postoje dobre i loše strane za mjerjenje i vaganje te određivanje gustoće spužvi, zato treba obratiti pažnju na ovih nekoliko pravila:

- A) Uvijek se treba upotrebljavati što veći uzorak spužve.
- B) Kod mjerjenja dimenzija pažnju posvetiti tomu da se spužve savijaju, iskrivljuju i rastežu pa stoga treba te utjecaje izbjegići.

⁴⁴ *** (1988): ISO 845 Cellular plastics and rubbers – Determination of apparent (bulk) density, International Standards Organisation, Geneva.

- C) Ako uzorci nisu pravilnog kvadratnog ili pravokutnog oblika, izračun gustoće će biti netočan. Upravo je to najčešća greška pri mjerenu i izračunavanju gustoće.
- D) Obično greška koja nastaje pri mjerenu uzorka za određivanje gustoće je debljina uzorka.
- E) Uzorak na kojem se mjeri masa mora se položiti na veću površinu od uzorka, a nikako uzorak staviti na manju plohu od njega samog ili ga pridržavati rukom ili nekim drugim pomagalima.

Mjerni instrumenti kao što su vaga i mjerna vrpca, moraju se brižno baždariti kako bi se dobili što točniji podaci. Rezultati fizikalnih svojstava prikazani su u tablicama 3, 4 i 5.

4.2.2. Određivanje mehaničkih svojstava spužvi

Postupak mjerena i određivanja mehaničkih svojstava različitih spužvi odvijao se na ispitnom uređaju proizvođača *Hegewald & Peschke* (slika 11) na način da se na uzorak postavljen na ravnu podlogu djelovalo okruglim pritisnim tijelom (slika 12) površine 314 cm^2 s brzinom pomaka od 100 mm/min , pri čemu su mjerene sila i deformacija.

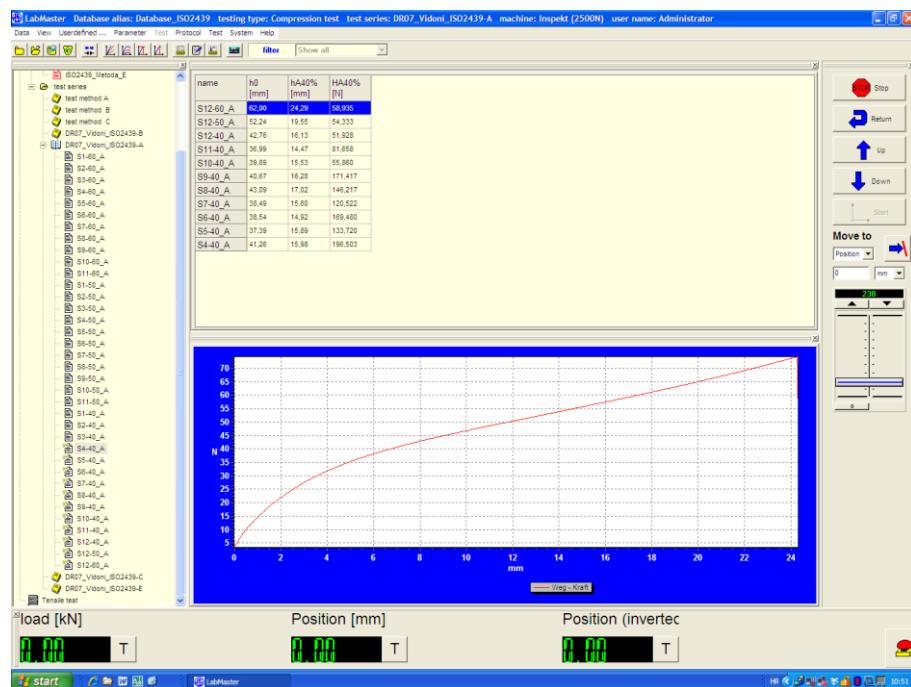


Slika 11. Prikaz uređaja za ispitivanje mehaničkih svojstava spužvi



Slika 12. Prikaz utiskivanja pritisnog tijela u uzorak

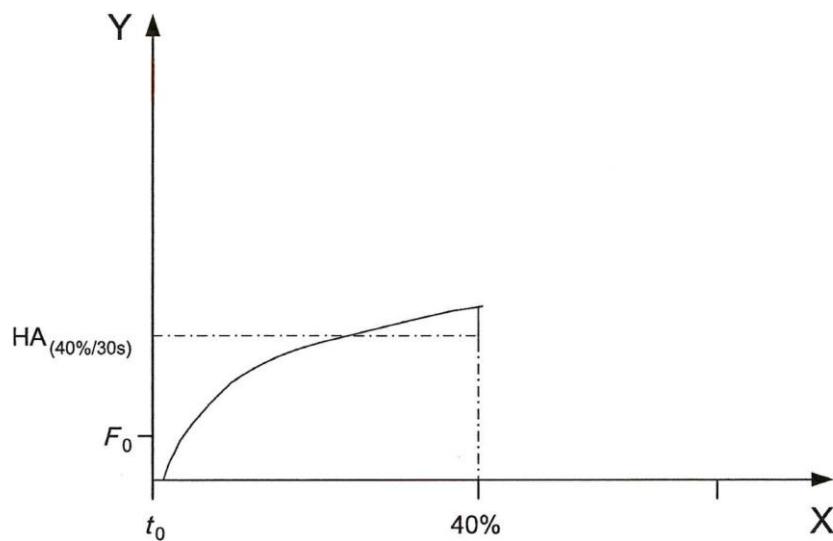
Cijeli postupak ispitivanja mehaničkih svojstava spužvi prema normi ISO 2439 praćen je pomoću računalnog programa *LabMaster* (slika 13), a dobiveni podaci kasnije su obrađeni programom *Microsoft® Excel 2007*.



Slika 13. Izgled sučelja programa *LabMaster* (pričak mjerjenja prema Metodi A)

4.2.2.1. Tvrdoća spužve (Metoda A, ISO 2439)

Tvrdoća spužve određivana je pomoću Metode A iz norme ISO 2439. Metoda A je postupak kojim se određuje tvrdoća u svrhu laboratorijskog ispitivanja, na način da se uzorak postavi na ravnu podlogu i deformira uslijed djelovanja pritisnog tijela te se pritišće na 40% inicijalne debljine uzorka. Kada pritisno tijelo postigne zadanu debljinu utiskivanja zadržava se 30 sekundi u tom položaju, a računalo zabilježi vrijednost sile.



Slika 14. Primjer grafikona sila-deformacija prema ISO 2439, metoda A

X – deformacija (%), Y – sila (N), F_0 – sila predopterećenja za mjerjenje inicijalne debljine, t_0 – inicijalna debljina uzorka, $HA_{(40\% / 30s)}$ – tvrdoća mjerena prema metodi A

Izvor: *** (2008): ISO 2439 Flexible cellular polymeric materials – Determination of hardness (Indentation technique), str. 9.

Ispitivanje je provedeno na svim uzorcima na debljinama od 40, 50 i 60 mm.

4.2.2.2. Određivanje indeksa udobnosti i povrata histereze spužve (Metoda B, ISO 2439)

U metodi B, radi se o određivanju svojstva tvrdoće materijala pri utiskivanju (deformaciji) na 25%, 40% i 65% početne debljine uzorka sa zadržavanjima od 30 sekundi, čime se dobije informacija o obliku krivulje tvrdoće postupkom utiskivanja. Nakon završenog postupka ispitivanja izračunava se indeks udobnosti (*support factor ili SAG-factor*) prema formuli:

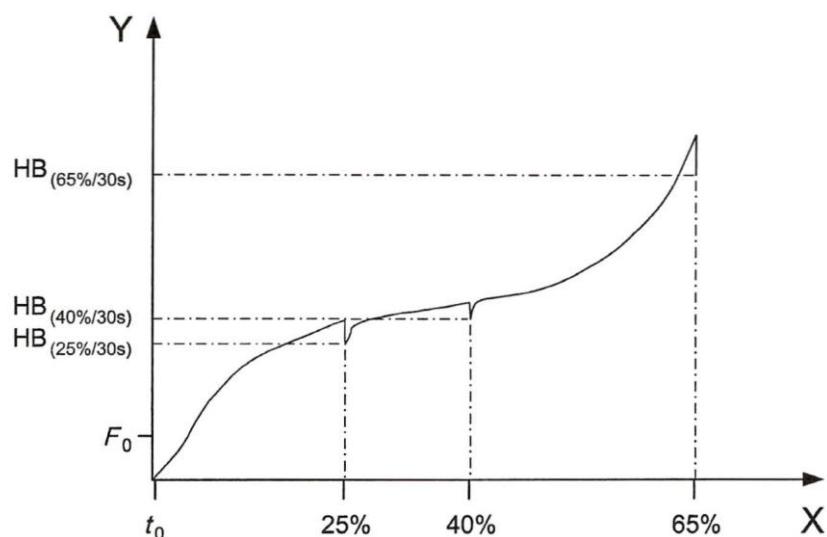
$$\text{Indeks udobnosti } B = \frac{65\% \text{ IFD}}{25\% \text{ IFD}},$$

gdje je: 65% IFD – sila kod opterećenja pri 65% deformacije

25% IFD – sila kod opterećenja pri 25% deformacije

IFD test je postupak deformiranja uzorka uslijed sile utiskivanja na način da se u uzorak položen na ravnu podlogu utiskuje okruglo tijelo promjera 200^{+3}_0 mm i pri tome se mjeri dubina utiskivanja i za to potrebna sila.⁴⁵

Ispitivanje je provedeno na svim uzorcima na debljinama od 40, 50 i 60 mm.



Slika 15. Primjer grafikona sile-deformacija prema ISO 2439, metoda B

X – deformacija (%), Y – sila (N), F_0 – sila predopterećenja za mjerjenje inicijalne debljine, t_0 – inicijalna debljina uzorka, HB – tvrdoća mjerena prema metodi B

Izvor: *** (2008): ISO 2439 Flexible cellular polymeric materials – Determination of hardness (Indentation technique), str.10.

⁴⁵ Vlaović, Z.,(2009): Činitelji udobnosti uredskih stolica, disertacija, Šumarski fakultet, Zagreb, str. 129 – 130.

Osim toga može se izračunati i pokazatelj relativne tvrdoće (*recovery*), odnosno povrat histereze koji govori koliko se posto spužva uspjela oporaviti nakon tlačenja s obzirom na početno stanje.⁴⁶ Povrat histereze (*recovery*) izražava se formulom:

$$\% \text{Rec B} = \frac{25\% \text{ IFD rasterecenje}}{25\% \text{ IFD opterecenje}} \times 100$$

gdje je: 25% IFD rasterećenje – sila kod rasterećenja pri 25% deformacije

25% IFD opterećenje – sila kod opterećenje pri 25% deformacije

Razlika između krivulje opterećenja i krivulje rasterećenja izražava se kao histereza odnosno gubitak zbog histereze i uzima se kao mjera apsorbirane energije kada je spužva podvrgnuta deformaciji.⁴⁷ Histereza se može opisati kao sposobnost da spužva zadrži prvobitnu tvrdoću.⁴⁸ Što su veće razlike između 25% IFD i 65% IFD spužva ima bolja svojstva nosivosti i podupiranja težine.⁴⁹

Ispitivanje je provedeno na svim uzorcima na deblijinama od 40, 50 i 60 mm.

⁴⁶ Vlaović, Z.,(2009): Činitelji udobnosti uredskih stolica, disertacija, Šumarski fakultet, Zagreb, str. 131.

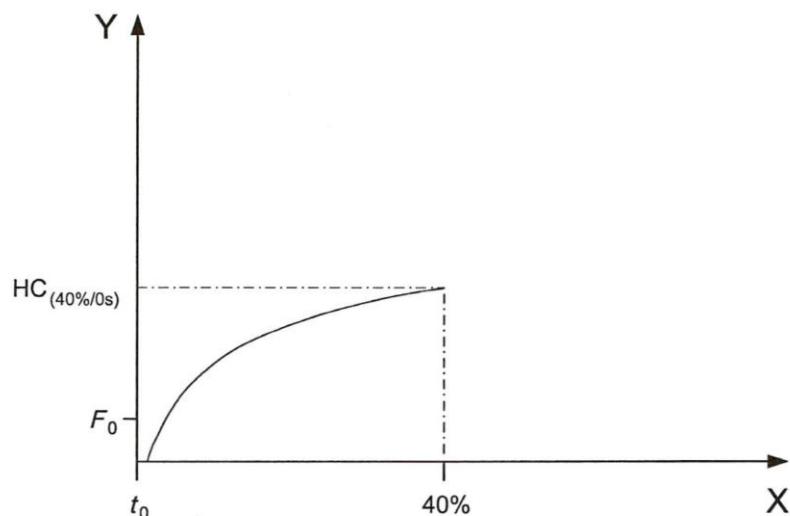
⁴⁷ Vlaović, Z.,(2009): Činitelji udobnosti uredskih stolica, disertacija, Šumarski fakultet, Zagreb, str. 131.

⁴⁸ *** (1991): InTouch, Information on flexible polyurethane foam: Vol. 1, (1), Polyurethane Foam Association, Inc., Wayne, NJ, USA, str. 5.

⁴⁹ *** (1991): InTouch, Information on flexible polyurethane foam: Vol. 1, (2), Polyurethane Foam Association, Inc., Wayne, NJ, USA, str. 2.

4.2.2.3. Određivanje kvalitete spužve (Metoda C, ISO 2439)

Postupak koji opisuje metodu C je takav da se pritisno tijelo utiskuje do 40% inicijalne debljine i mjeri se sila koja je nastala uslijed djelovanja pritisnog tijela. Određivanje tvrdoće (*hardness*) pri 40% utiskivanja prema metodi C je zapravo brzi postupak za provjeru kvalitete.



Slika 16. Primjer grafikona sila-deformacija prema ISO 2439, metoda C

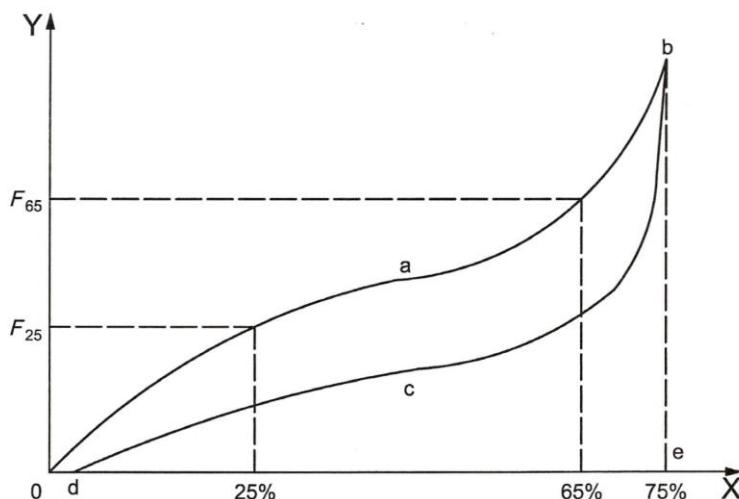
X – deformacija (%), Y – sila (N), F_0 – sila predopterećenja za mjerjenje inicijalne debljine, t_0 – inicijalna debljina uzorka, HC – tvrdoća mjerena prema metodi C

Izvor: *** (2008): ISO 2439 Flexible cellular polymeric materials – Determination of hardness (Indentation technique), str.10.

Ispitivanje je provedeno na svim uzorcima na debljinama od 40, 50 i 60 mm.

4.2.2.4. Određivanje histereze i koeficijenta deformacije (Metoda E, ISO 2439)

Prema metodi E iz norme ISO 2439 određuje se koeficijent deformacije uslijed utiskivanja što je slično već spomenutom indeksu udobnosti, zatim povrat histereze (*hysteresis return*) koji je pokazatelj relativne tvrdoće odnosno koliko se postiže spužva uspjela oporaviti nakon pritiskivanja s obzirom na početno stanje, te vrijednost histereze (*hysteresis loss*) što daje dodatnu informaciju o svojstvima nosivosti materijala tj. spužve.



Slika 17. Primjer grafikona sila-deformacija prema ISO 2439, metoda E

X – deformacija (%), Y – sila (N), a – krivulja opterećenje, b – gornja točka, c – krivulja rasterećenja, d – krajnja ili završna točka, e – deformacija pri 75% inicijalne visine

Izvor: *** (2008): ISO 2439 Flexible cellular polymeric materials – Determination of hardness (Indentation technique), str.6.

Indeks udobnosti za Metodu E, može se odrediti i izračunati prema sljedećem matematičkom izrazu:

$$\text{Indeks udobnosti } E = \frac{65\% \text{ IFD}}{25\% \text{ IFD}},$$

gdje je: 65% IFD – sila kod opterećenja pri 65% deformacije

25% IFD – sila kod opterećenja pri 25% deformacije

Povrat histereze (*hysteresis return*), odnosno pokazatelj relativne tvrdoće računa se na sljedeći način:

$$\% \text{ Rec } E = \frac{25\% \text{ IFD rasterecenje}}{25\% \text{ IFD opterecenje}} \times 100$$

gdje je: 25% IFD rasterecenje – sila kod rasterećenja pri 25% deformacije

25% IFD opterećenje – sila kod opterećenje pri 25% deformacije

Histereza (*Hysteresis loss*) je razlika energije nastale između opterećenja i rasterećenja uzorka, a predstavlja deformaciju kao razliku pri cikličkim opterećenjima.⁵⁰ Histereza se može izračunati prema formuli:

$$\text{Histereza} = \frac{A_{0abcd0}}{A_{0abe0}} \cdot 100[\%] \text{ ili } \frac{A_{\text{opterećenje}} - A_{\text{rasterećenja}}}{A_{\text{opterećenje}}} \cdot 100[\%]$$

gdje je: A_{0abcd0} – površina unutar krivulje histereze A_{0abcd0}

A_{0abe0} – površina ispod krivulje A_{0abe0}

ili

$A_{\text{opterećenje}}$ – površina ispod krivulje opterećenja

$A_{\text{rasterećenja}}$ – površina ispod krivulje rasterećenja

Ispitivanje je provedeno na svim uzorcima na deblinama od 40, 50 i 60 mm.

⁵⁰ Vlaović, Z.,(2009): Činitelji udobnosti uredskih stolica, disertacija, Šumarski fakultet, Zagreb, str. 134.

5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I RASPRAVA

U ovom poglavlju bit će prikazani svi rezultati dobiveni ispitivanjem mehaničkih svojstava spužvi. Rezultati ispitivanja prikazani su na dva načina – tablično i grafički.

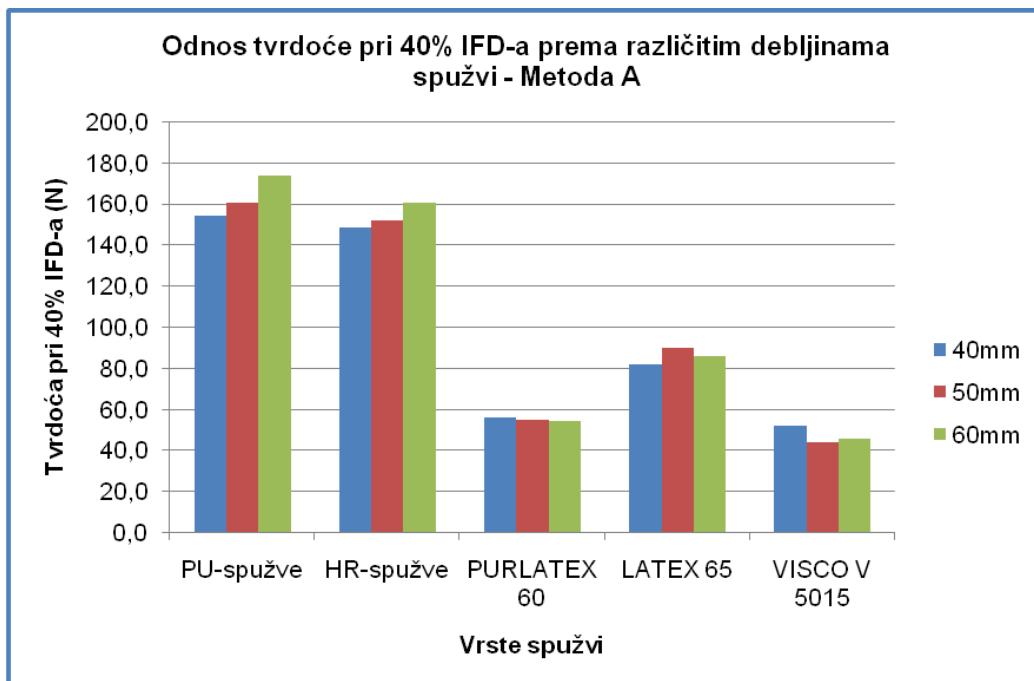
5.1. Rezultati Metode A

Mjerenje tvrdoće za laboratorijske svrhe pri 40% deformacije obavljeno je pomoću IFD postupka, na svim uzorcima i debljinama 40, 50 i 60 milimetara. Ukupni rezultati izmjerene vrijednosti prikazani su u tablici 6.

Tablica 6. Izmjerene vrijednosti pomoću IFD testa za mehanička svojstva prema Metodi A

	Nazivna debljina uzorka								
	40 mm			50 mm			60 mm		
Uzorci	h0 [mm]	hA40% [mm]	HA40% [N]	h0 [mm]	hA40% [mm]	HA40% [N]	h0 [mm]	hA40% [mm]	HA40% [N]
S1	40,0	15,8	135,4	48,7	19,6	135,4	58,6	21,7	153,9
S2	38,4	15,8	160,4	49,1	18,7	165,3	59,5	22,1	175,7
S3	41,3	13,5	124,5	50,8	17,6	137,3	60,5	21,8	151,2
S4	41,3	16,0	196,5	50,9	19,6	204,3	60,9	23,0	214,2
S5	37,4	15,9	133,7	46,9	19,8	137,9	57,7	23,8	143,8
S6	38,5	14,9	169,5	48,1	18,2	173,5	58,0	22,3	187,7
S7	38,5	15,6	120,5	47,1	19,4	125,9	55,2	23,0	134,0
S8	43,1	17,0	146,2	50,1	17,4	136,2	57,0	22,0	151,2
S9	40,7	16,3	171,4	48,9	19,8	185,5	57,2	21,9	186,1
S10	39,9	15,5	55,9	49,9	18,2	55,0	60,0	20,3	54,3
S11	37,0	14,5	81,7	46,1	19,4	90,0	55,7	23,2	85,8
S12	42,8	16,1	51,9	53,1	13,9	44,4	63,3	16,4	46,0
Legenda:	h0[mm] – početna (stvarna) visina uzorka, hA40%[mm] – visina uzorka na 40% deformacije, HA40%[N] – izmjerena tvrdoća pri 40% deformacije								

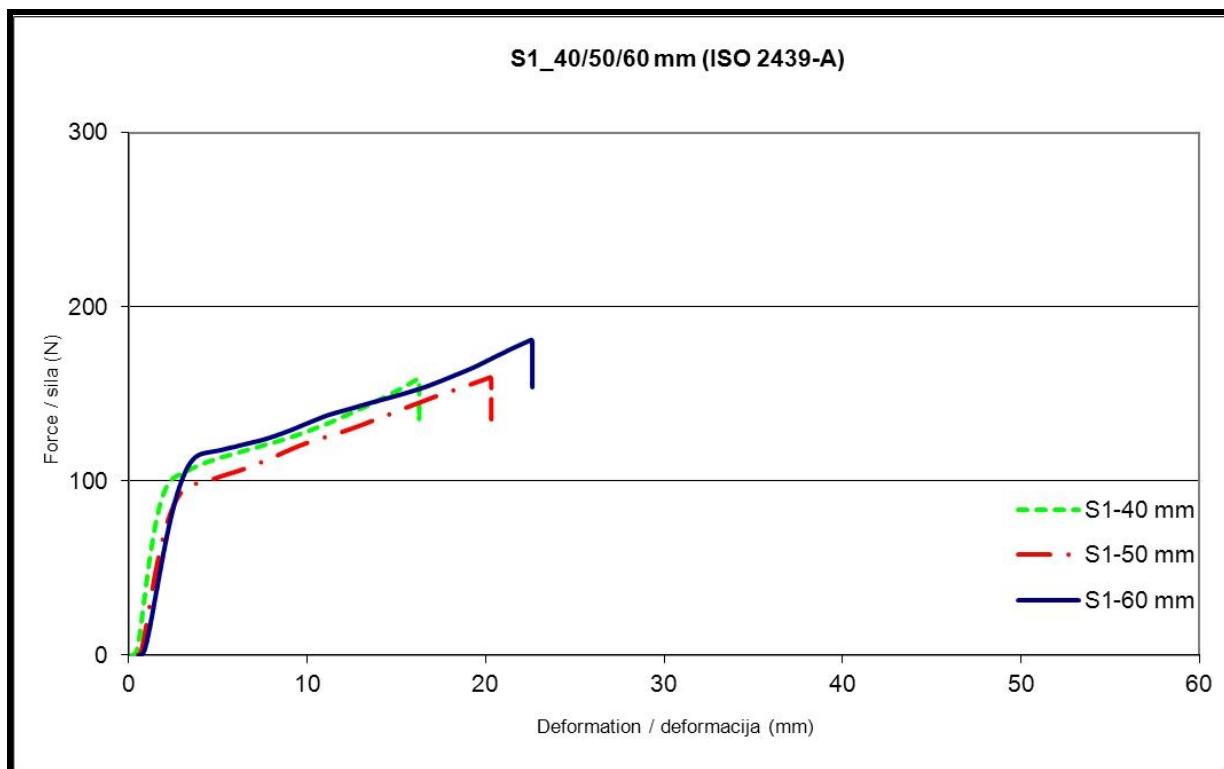
Općenito se može reći da se s porastom debljine uzorka povećava tvrdoća, osim kod uzorka S10 (PURLATEX 60), gdje se tvrdoća smanjuje s povećanjem debljine uzorka. Nadalje, može se zaključiti da najveću tvrdoću ima uzorak S4 (PT 4048), a najmanju uzorak S12 (VISCO V 5015) kod svih debljina. Sljedeći grafički prikaz može poslužiti za uočavanje razlika između različitih vrsta, debljina i izmjerениh tvrdoća. Valja napomenuti da je za poliuretanske i HR spužve uzeta srednja vrijednost tvrdoće radi lakšeg uspoređivanja s ostalim uzorcima.



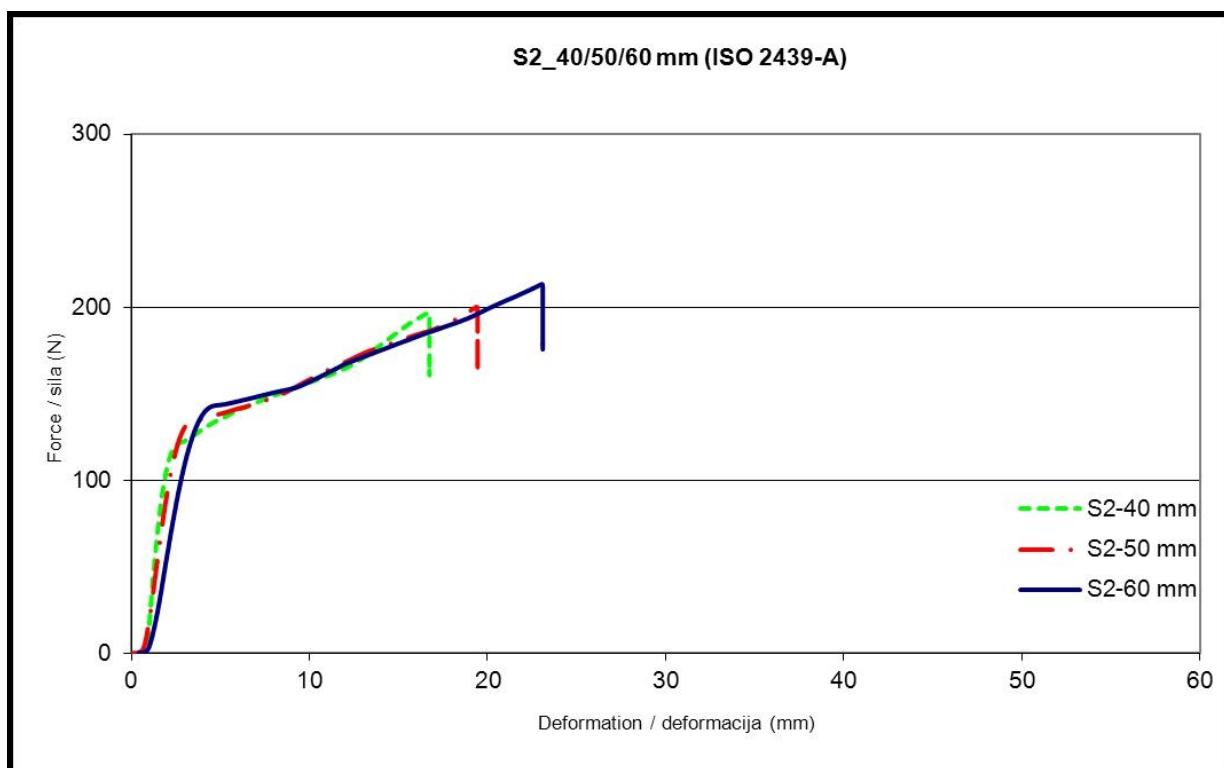
Slika 18. Grafički prikaz utjecaja različitih debljina i vrsta uzoraka spužvi na tvrdoću prema ISO 2439

Usporedbom rezultata mjerjenih uzoraka može se reći da PU spužve zajedno s HR spužvama spadaju u najtvrdje spužve, dok VISCO V 5015 te PURLATEX 60 spadaju u najmekše. Spužva LATEX 65 spada u srednji razred tvrdoće. Prema prikazanome grafikonu, može se reći da se smanjenjem debljine postiže manja tvrdoća kod PU i HR spužvi. Zamjećuje se da se spužve PURLATEX 60 i VISCO V 5015 ponašaju obrnuto proporcionalno, tj. s povećanjem debljine postaju mekše.

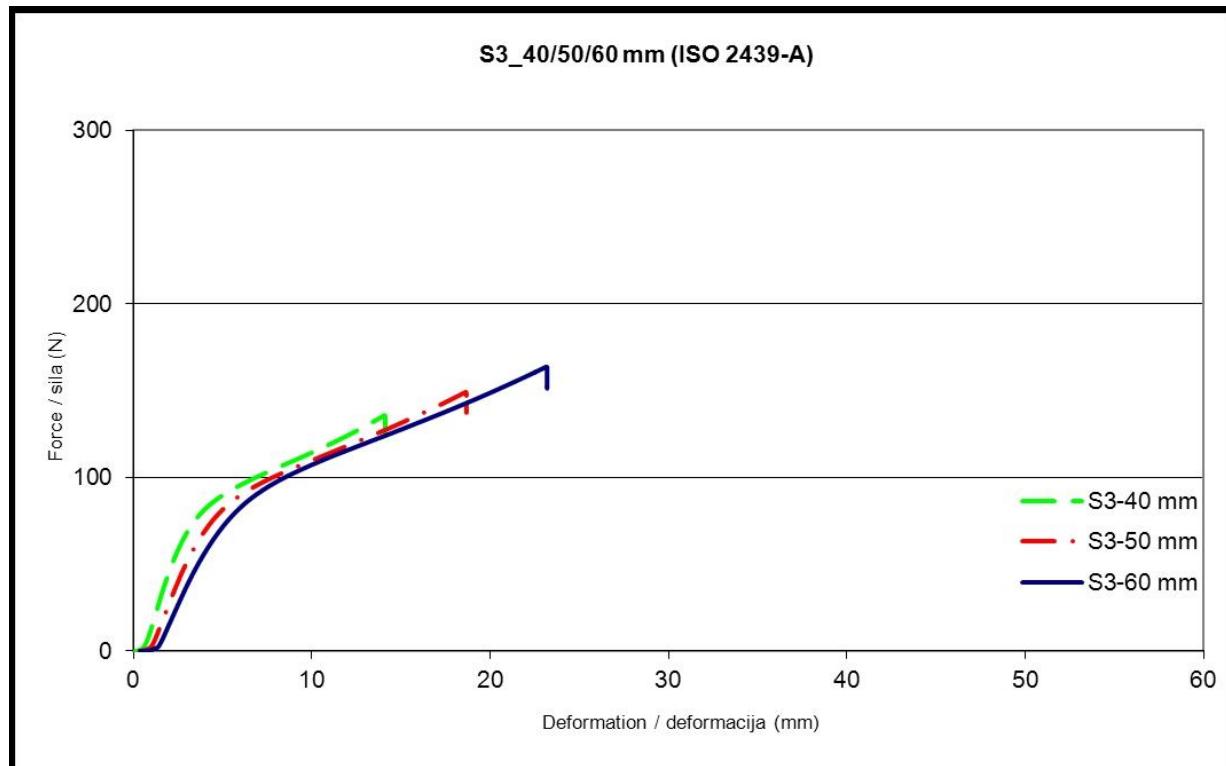
Grafički prikazi mjerjenja IFD testom za svaki uzorak i debljinu nalaze se u nastavku.



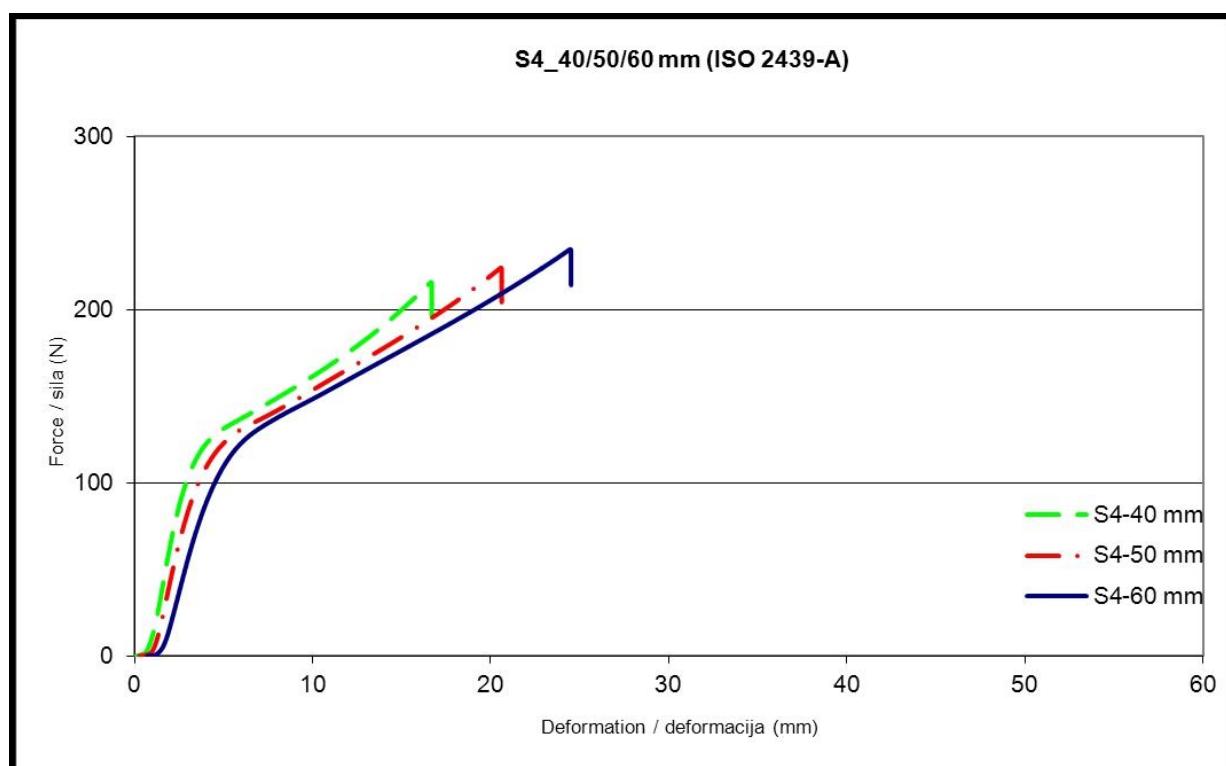
Slika 19. Grafički prikaz mjerjenja Metodom A, za tri debljine na uzorku PU spužve PN 2534



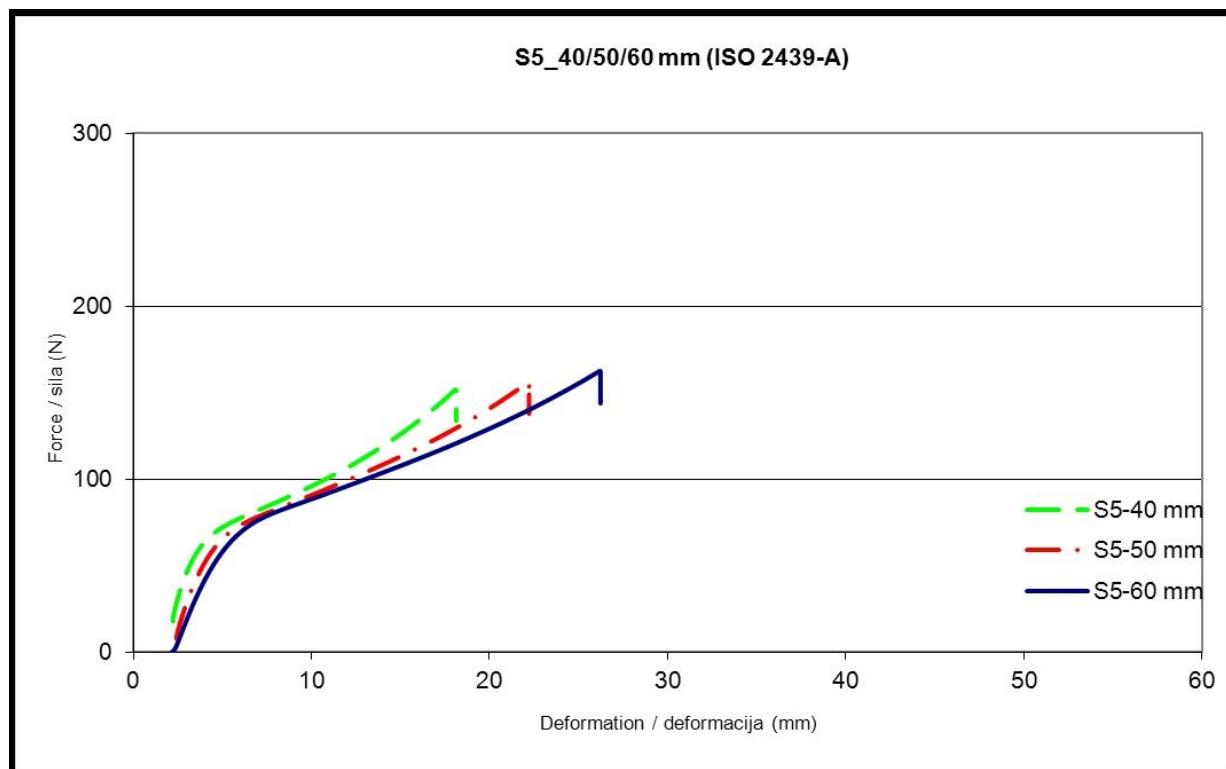
Slika 20. Grafički prikaz mjerjenja Metodom A, za tri debljine na uzorku PU spužve PN 3038



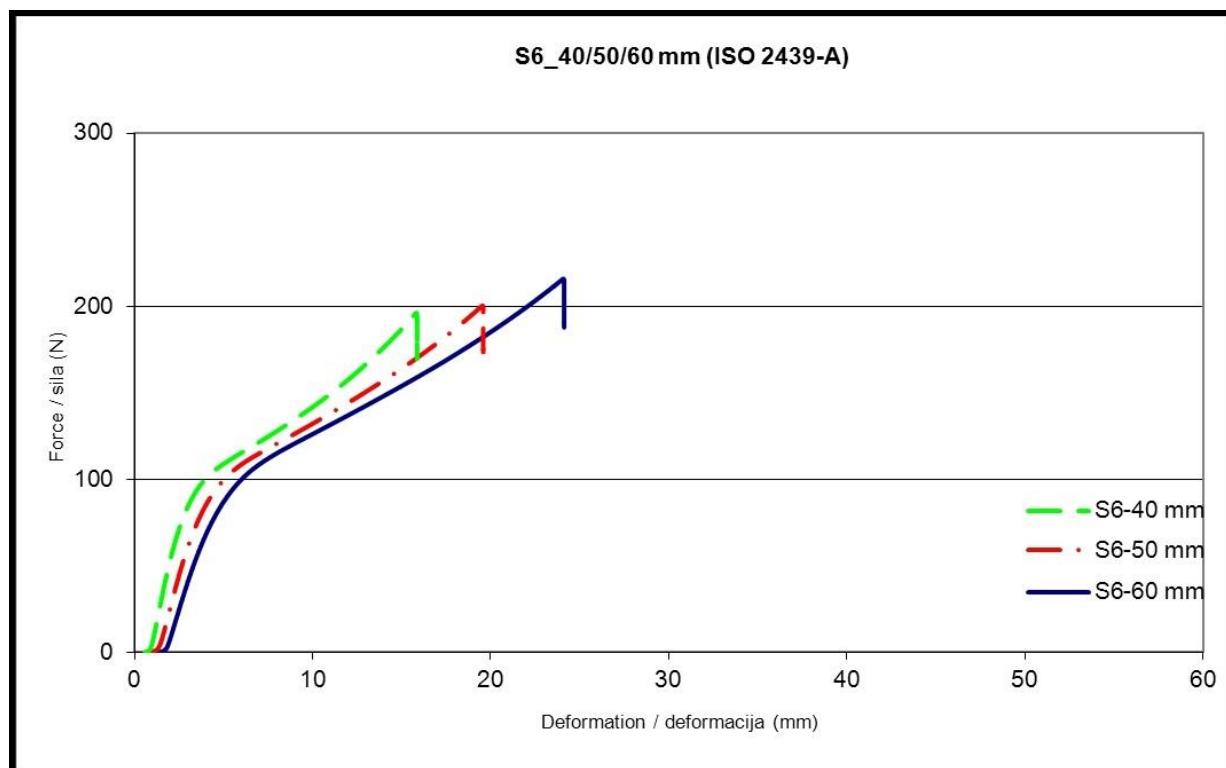
Slika 21. Grafički prikaz mjerena IFD testom Metodom A, za tri debljine na uzorku PU spužve VAPEN S 3543



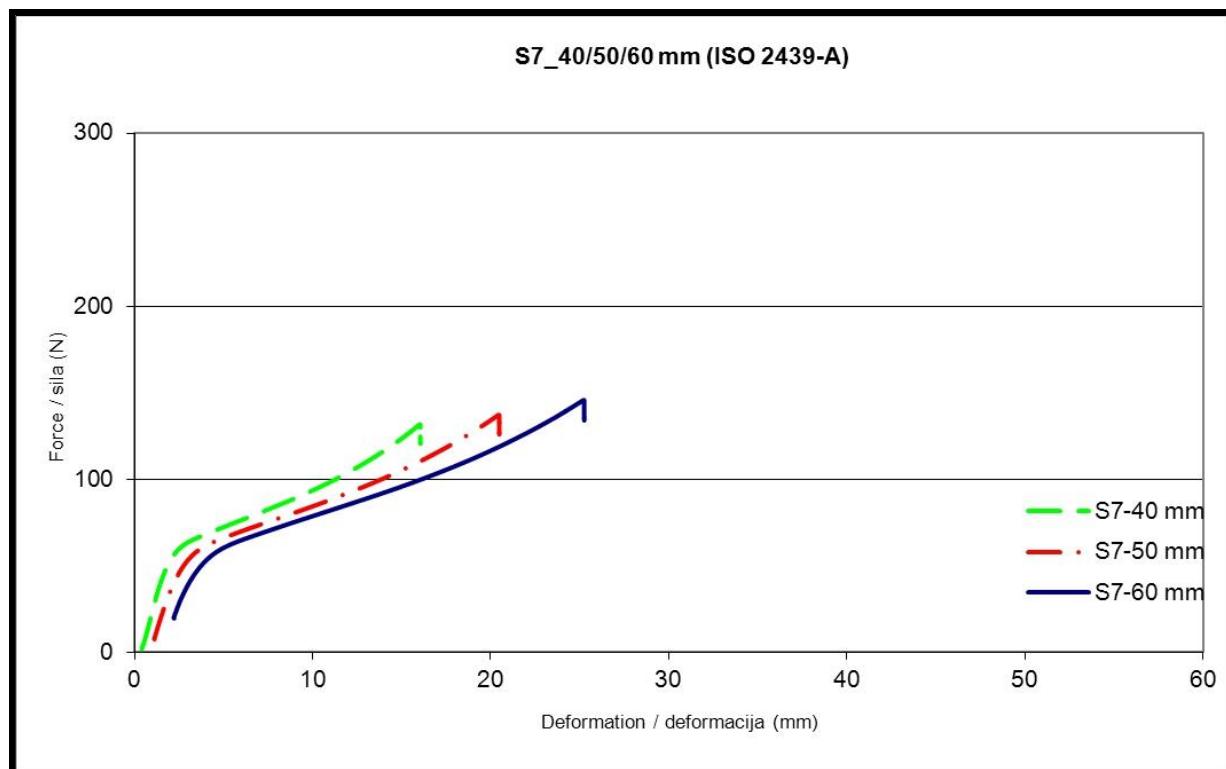
Slika 22. Grafički prikaz mjerena IFD testom Metodom A, za tri debljine na uzorku PU spužve PT 4048



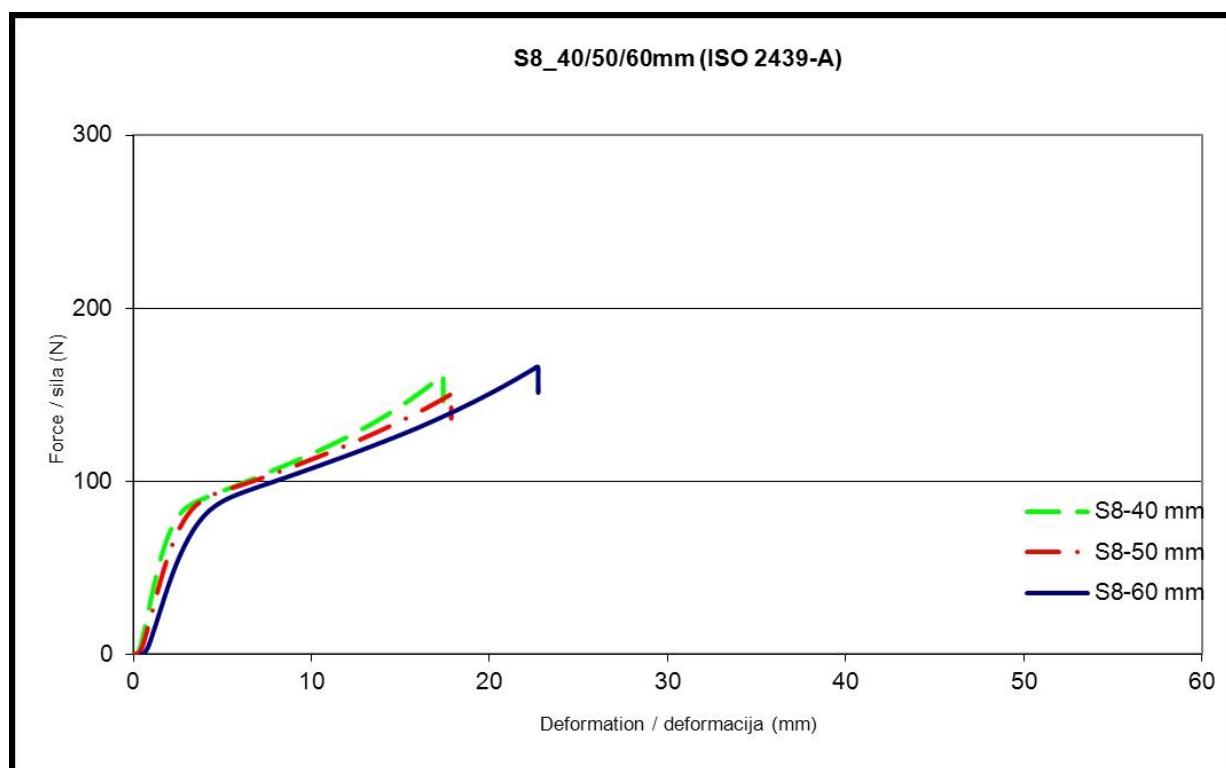
Slika 23. Grafički prikaz mjerjenja IFD testom Metodom A, za tri debljine na uzorku HR 3028



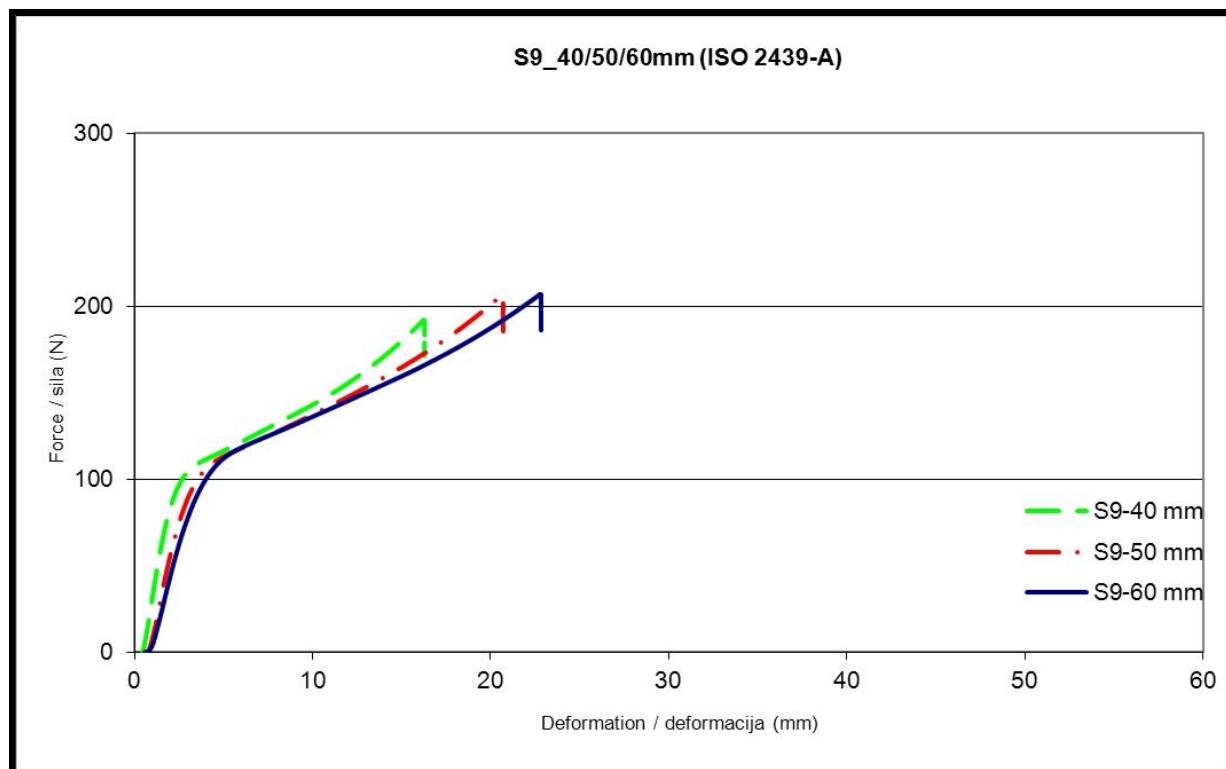
Slika 24. Grafički prikaz mjerjenja IFD testom Metodom A, za tri debljine na uzorku HR 3536



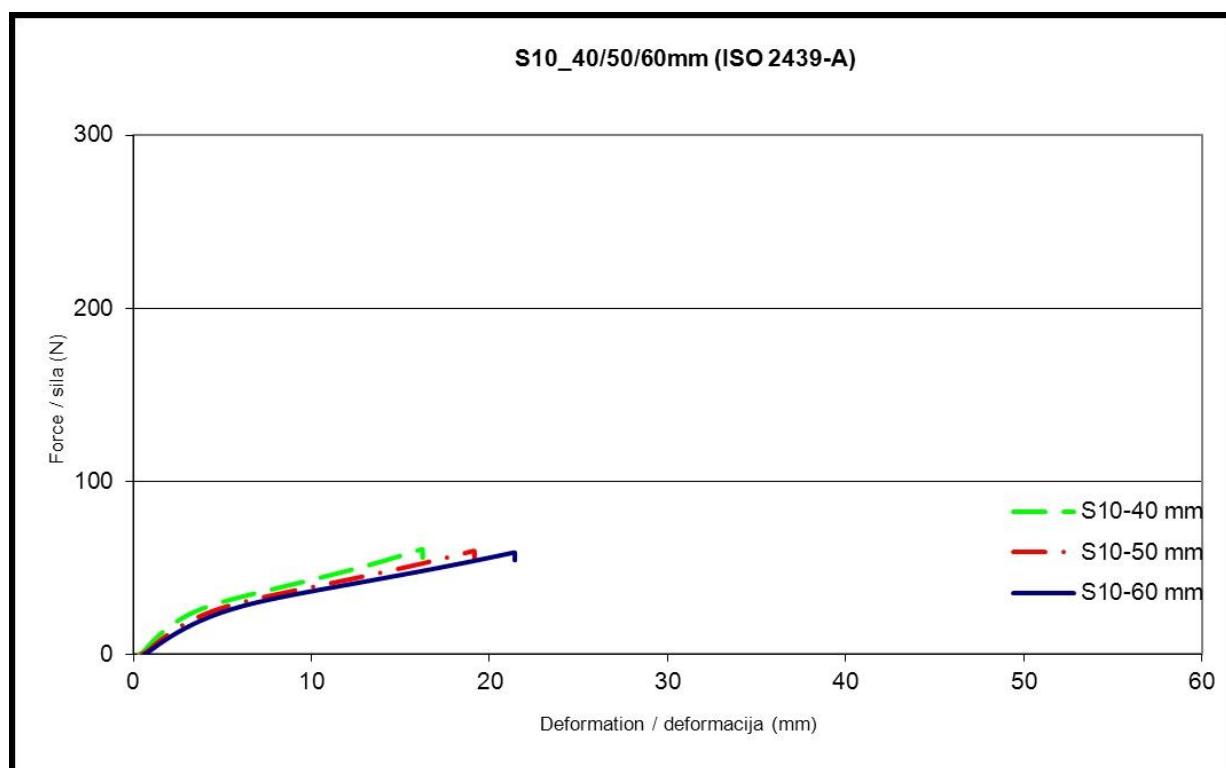
Slika 25. Grafički prikaz mjerjenja IFD testom Metodom A, za tri debljine na uzorku CELLPUR R 5225



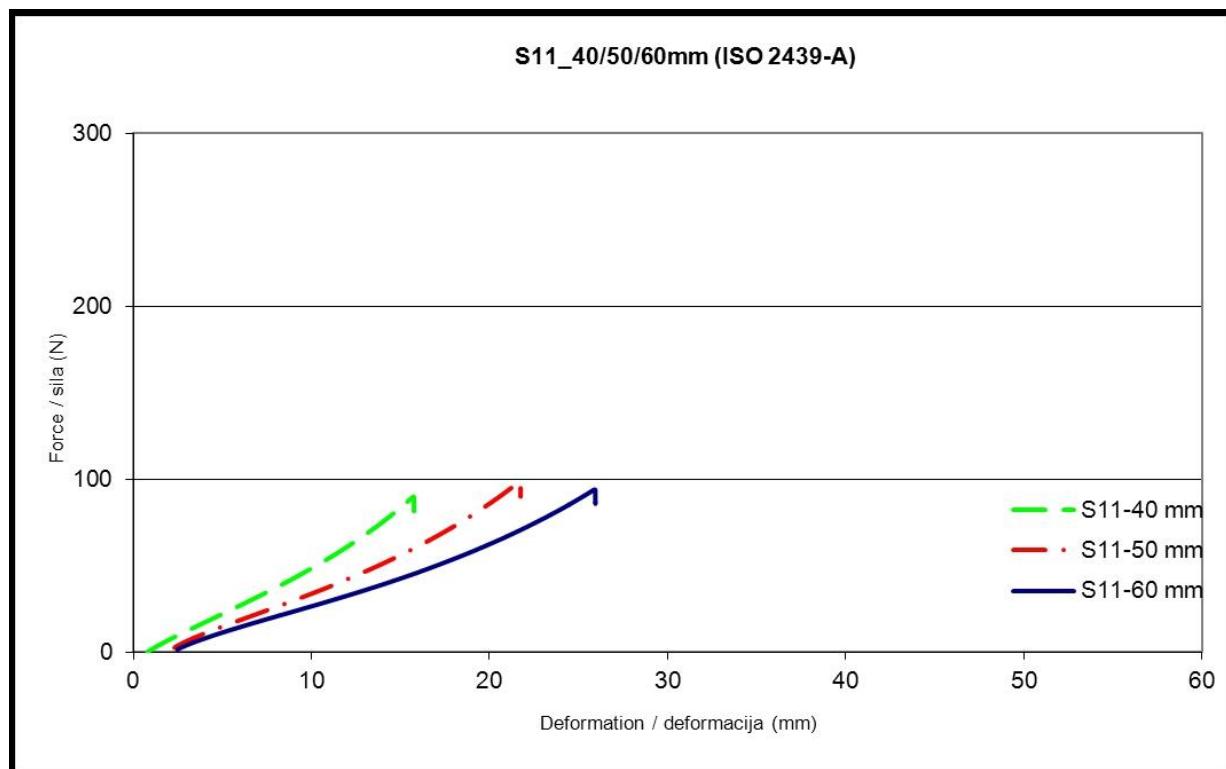
Slika 26. Grafički prikaz mjerjenja IFD testom Metodom A, za tri debljine na uzorku CELLPUR R 5235



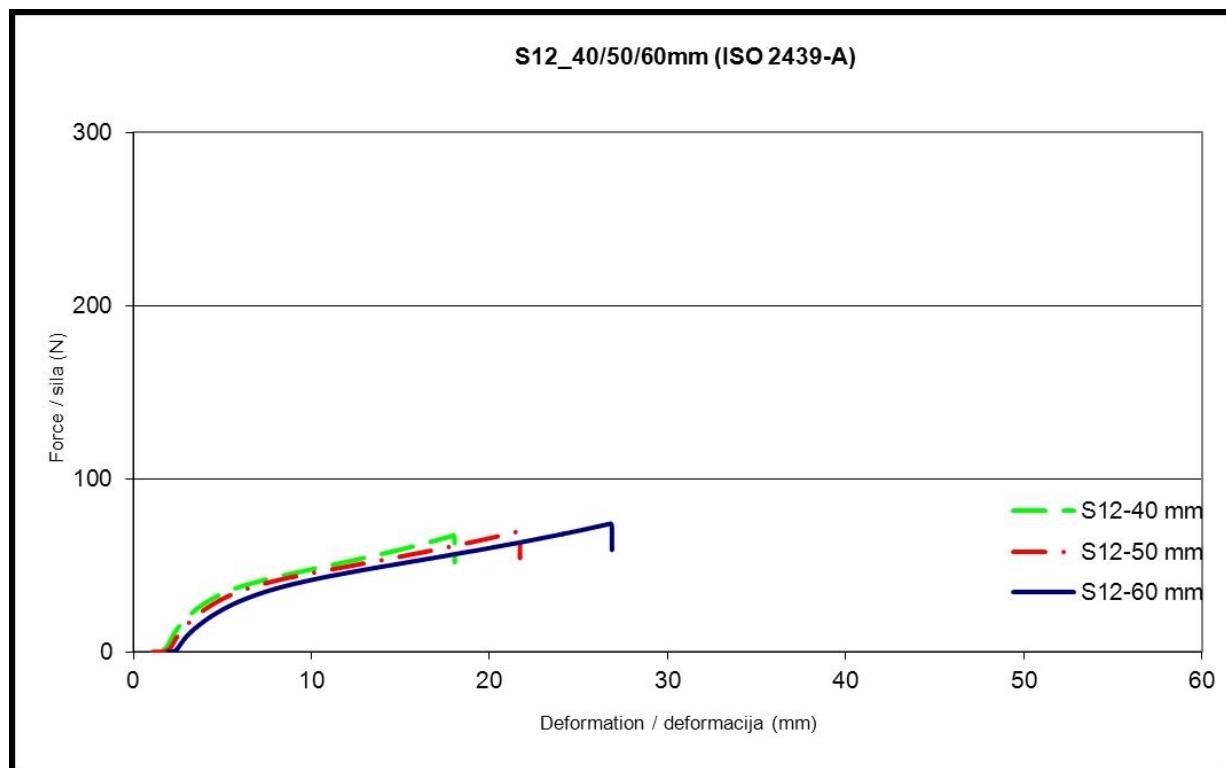
Slika 27. Grafički prikaz mjerenja IFD testom Metodom A, za tri debljine na uzorku CELLPUR R 5245



Slika 28. Grafički prikaz mjerenja IFD testom Metodom A, za tri debljine na uzorku PURLATEX 60



Slika 29. Grafički prikaz mjerjenja IFD testom Metodom A, za tri debljine na uzorku LATEX 65



Slika 30. Grafički prikaz mjerjenja IFD testom Metodom A, za tri debljine na uzorku VISCO V 5015

Uzorci od S1 do S9 u početku bilježe veliki porast sile, odnosno imaju veliku tvrdoću uz malu početnu deformaciju (oko 5 mm), a nakon toga dolazi do njenog povećanja deformacije uz mali porast sile, tj. tvrdoće. Za uzorke S10 (PURLATEX 60), S11 (LATEX 65) i S12 (VISCO V 5015) može se reći da su vrlo mekani materijali, na što ukazuje velika početna deformacija uz malu silu. Kod svih uzoraka, povećanjem debljine, spužve gube tvrdoću tj. postaju mekše, na što ukazuje manji kut nagiba krivulje.

Kod određivanja tvrdoće pri 40% deformacije sa zadržavanjem od 30 sekundi, na uzorcima S1 (PN 2534), S6 (HR 3536) i pogotovo na S2 (PN 3038), došlo je do značajnog pada sile, a pri tome se deformacija nije mijenjala. Drugim riječima, to se može objasniti gubitkom nosivosti spužve, odnosno ona više ne pruža potporu težini tijela tijekom upotrebe. S porastom debljine kod svih uzoraka spužvi svojstvo nosivosti ostaje ne promijenjeno. Najmanji gubitak nosivosti zabilježen je kod uzorka S10 (PURLATEX 60) i S11 (LATEX 65).

5.2. Rezultati Metode B

Prema Metodi B ispitana je tvrdoća uzorka i određen je indeks udobnosti (*support factor*) pri utiskivanju (deformaciji) na 25%, 40% i 65% početne debljine uzorka. Ukupni rezultati izmjerениh vrijednosti dani su u tablicama 7. i 8.

Tablica 7. Izmjerene vrijednosti pomoću IFD testa za mehanička svojstva prema Metodi B

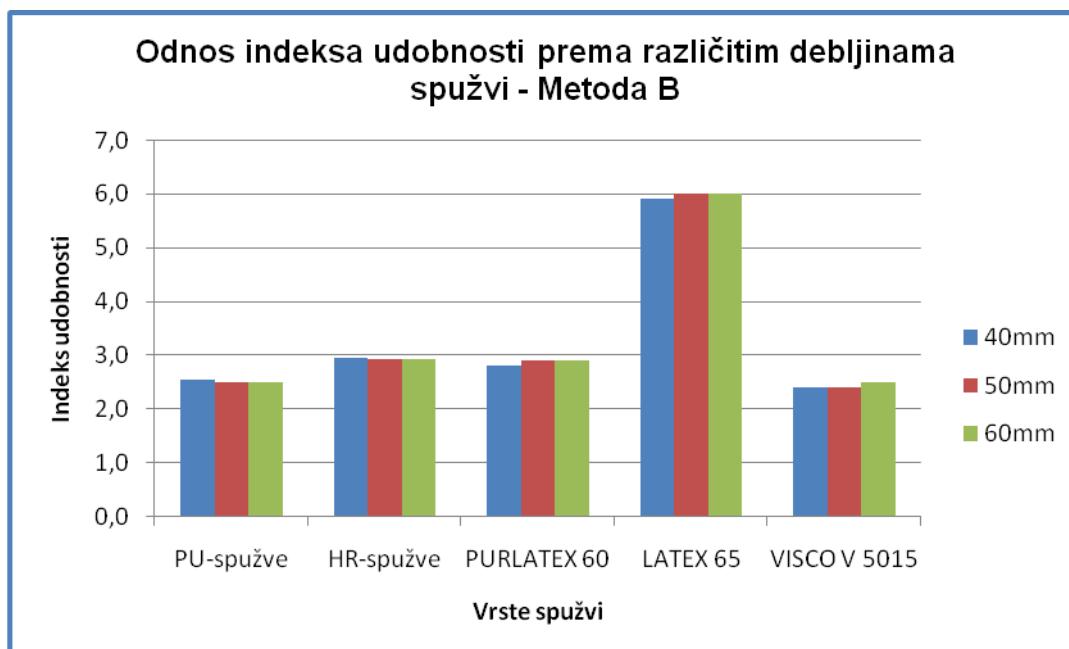
	Uzorci	h0 [mm]	hB25% [mm]	hB40% [mm]	hB65% [mm]	HB25% [N]	HB40% [N]	HB65% [N]	Indeks-B
Debljina uzorka 40 mm	S1	40,3	9,7	15,8	26,1	118,3	148,4	301,7	2,6
	S2	38,9	9,4	15,3	25,2	134,2	166,5	323,7	2,4
	S3	41,1	9,6	15,9	26,5	105,2	140,7	267,7	2,5
	S4	41,4	9,8	16,1	26,7	153,2	204,6	407,6	2,7
	S5	38,7	8,9	14,9	24,9	91,1	125,7	265,5	2,9
	S6	38,6	8,9	14,9	24,8	125,4	176,2	383,3	3,1
	S7	38,6	9,4	15,3	25,0	87,9	120,6	271,9	3,1
	S8	43,2	10,5	17,1	28,0	112,4	150,5	323,2	2,9
	S9	40,3	9,8	15,9	26,1	136,1	180,0	381,4	2,8
	S10	39,9	9,5	15,6	25,8	40,8	56,5	116,1	2,8
	S11	37,7	8,6	14,5	24,2	43,5	80,9	255,7	5,9
	S12	43,0	9,3	16,1	27,3	39,7	52,5	96,0	2,4
Debljina uzorka 50 mm	S1	49,2	12,0	19,4	31,9	118,5	148,4	302,5	2,6
	S2	49,2	11,7	19,2	31,8	144,3	177,6	337,3	2,3
	S3	50,6	11,7	19,5	32,6	113,0	151,0	283,5	2,5
	S4	51,0	11,9	19,8	32,8	160,6	213,9	420,6	2,6
	S5	48,1	10,9	18,3	30,8	95,7	132,2	275,6	2,9
	S6	48,1	10,9	18,4	30,8	131,6	184,7	397,2	3,0
	S7	47,7	11,5	18,8	30,9	88,4	122,6	274,3	3,1
	S8	50,0	12,0	19,7	32,4	114,2	153,8	328,0	2,9
	S9	49,0	11,7	19,2	31,7	139,7	185,7	387,2	2,8
	S10	49,8	11,8	19,4	32,1	41,7	58,6	120,5	2,9
	S11	47,0	10,7	18,0	30,2	40,5	76,9	242,4	6,0
	S12	52,3	11,1	19,4	33,2	40,2	54,1	98,2	2,4
Legenda:		h0[mm] – početna visina, hB25%[mm] – visina uzorka na 25% deformacije, hB40%[mm] – visina uzorka na 40% deformacije, hB65%[mm] – visina uzorka na 65% deformacije, HB25%[N] – izmjerena tvrdoća pri 25% deformaciji, HB40%[N] – izmjerena tvrdoća pri 40% deformaciji, HB65%[N] – izmjerena tvrdoća pri 65% deformaciji Indeks B – indeks udobnosti prema Metodi B							

Tablica 7. Izmjerene vrijednosti pomoću IFD testa za mehanička svojstva prema Metodi B - nastavak

	Uzorci	h0 [mm]	hB25% [mm]	hB40% [mm]	hB65% [mm]	HB25% [N]	HB40% [N]	HB65% [N]	Indeks B
Debljina uzorka 60 mm	S1	58,4	14,0	22,9	37,7	124,5	161,3	312,0	2,5
	S2	59,4	14,0	23,1	38,3	152,2	192,0	360,4	2,4
	S3	60,5	13,9	23,3	38,8	120,7	162,4	301,3	2,5
	S4	60,9	13,9	23,4	39,1	167,9	225,7	437,3	2,6
	S5	58,2	12,7	21,8	37,0	98,6	138,8	285,5	2,9
	S6	58,0	12,7	21,8	36,9	135,4	193,2	411,6	3,0
	S7	56,7	13,5	22,2	36,6	89,3	125,0	277,5	3,1
	S8	57,0	13,6	22,3	36,8	115,1	156,5	329,8	2,9
	S9	57,3	13,6	22,3	37,0	143,0	191,9	396,6	2,8
	S10	59,8	14,0	23,2	38,5	42,7	60,7	123,8	2,9
	S11	56,5	12,7	21,5	36,1	39,6	75,6	235,9	6,0
	S12	62,4	13,2	23,1	39,5	41,4	56,6	102,3	2,5
Legenda:		h0[mm] – početna visina, hB25%[mm] – visina uzorka na 25% deformacije, hB40%[mm] – visina uzorka na 40% deformacije, hB65%[mm] – visina uzorka na 65% deformacije, HB25%[N] – izmjerena tvrdoća pri 25% deformacije, HB40%[N] – izmjerena tvrdoća pri 40% deformacije, HB65%[N] – izmjerena tvrdoća pri 65% deformacije, Indeks B - indeks udobnosti prema Metodi B							

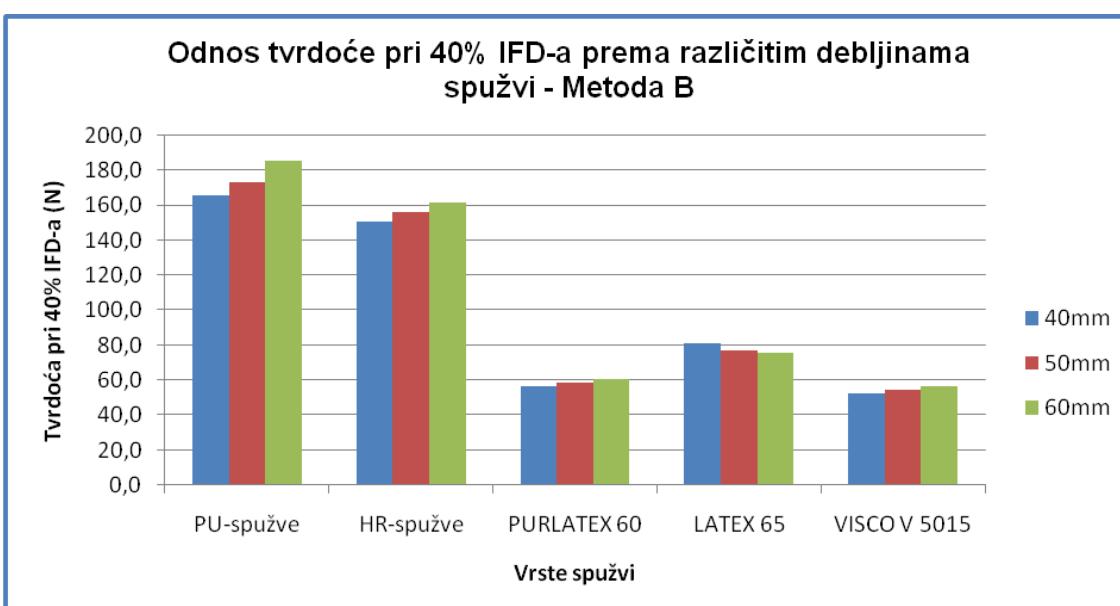
S obzirom na rezultate, za 11 uzoraka može se reći da s porastom debljine uzoraka tvrdoća pri 25, 40 i 65% deformacije raste, osim kod uzorka S11 (LATEX 65) gdje tvrdoća opada s povećanjem debljine. Najveća tvrdoća izmjerena je na uzorku S4 (PT 4048) kod svih triju debljin. Indeks udobnosti kreće se od 2,4 do 3,1 pri čemu uzorak S11 (LATEX 65) naveliko odskače od svih ostali uzoraka i to s vrijednošću od 6,0. Na uzorcima S1 (PN 2534) do S9 (CELLPUR R 5245) indeks udobnosti se smanjuje kako se povećava debljina, a na uzorcima S10 (PURLATEX 60), S11 (LATEX 65) i S12 (VISCO V 5015) indeks udobnosti raste s debljinom.

U nastavku je grafički prikaz odnosa triju debljina i indeksa udobnosti za sve vrste spužvi koje su ispitivane. Valja napomenuti da je za poliuretanske i HR spužve uzeta srednja vrijednost indeksa udobnosti za sve tri debljine te na takav način uspoređivana s ostalim spužvama.



Slika 31. Grafički prikaz utjecaja različitih debljina i vrsta uzoraka spužvi na indeks udobnosti prema normi ISO 2349

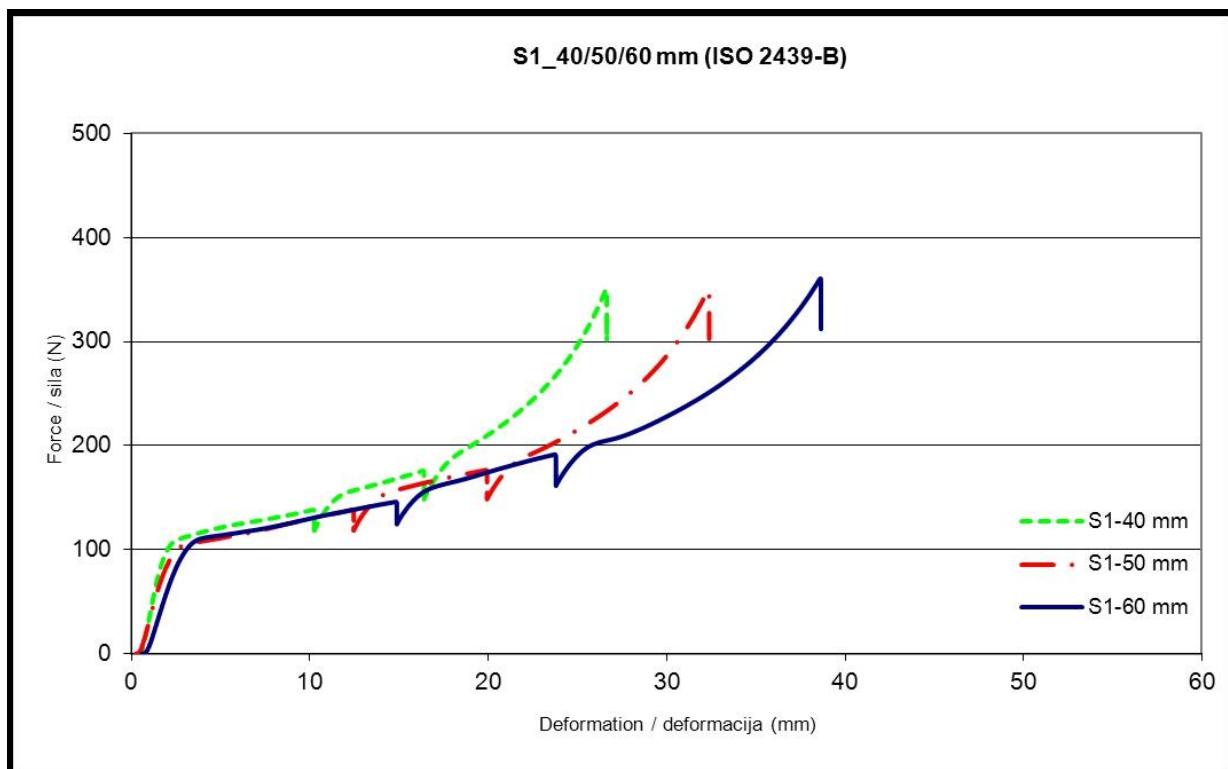
Kod PU i HR spužvi je zanimljivo da se s porastom debljine indeks udobnosti isprva malo smanjio, a s dalnjim porastom debljine ostao nepromijenjen. Na preostalim uzorcima vidljivo je da s porastom debljine indeks raste, ali veoma malo. Općenito se može reći da debljina uzorka u ovom slučaju drastično ne mijenja vrijednosti indeksa udobnosti bilo pozitivno ili negativno, no valja spomenuti da niže vrijednosti indeksa udobnosti upućuju na manju sposobnost nosivosti i udobnosti. Sljedeći grafički prikaz prikazuje utjecaj debljine na tvrdoću različitih vrsta spužvi.



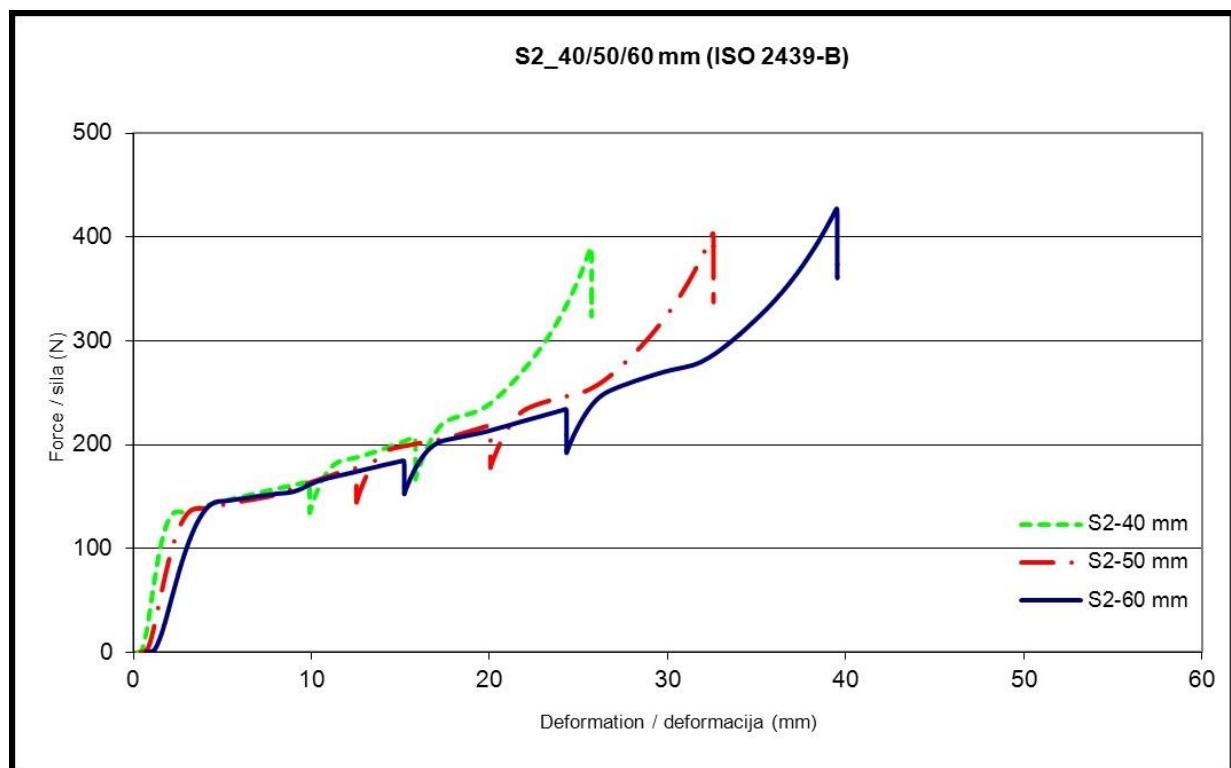
Slika 32. Grafički prikaz utjecaja različitih debljina i vrsta uzoraka spužvi na tvrdoću prema ISO 2439

Prema grafičkom prikazu debljina utječe na tvrdoću, na način da se tvrdoća povećava s porastom debljine spužvi. Zanimljivo je primjetiti da se kod LATEX 65 spužve događa obrnuti trend promjene tvrdoće s visinom u usporedbi s ostalim vrstama spužvi. Najveća tvrdoća je kod PU i HR spužvi, dok najmanju ima VISCO V 5015 spužva, a zatim je slijedi PURTEX 60. Na osnovi ove objektivne metode i ako se sagledaju gore prikazani grafikoni vidjet će se da su PU spužve najtvrdje, a VISCO V 5015 najmekša spužva. Međutim, bez obzira na tu činjenicu, indeks udobnosti za te dvije spužve približno je isti.

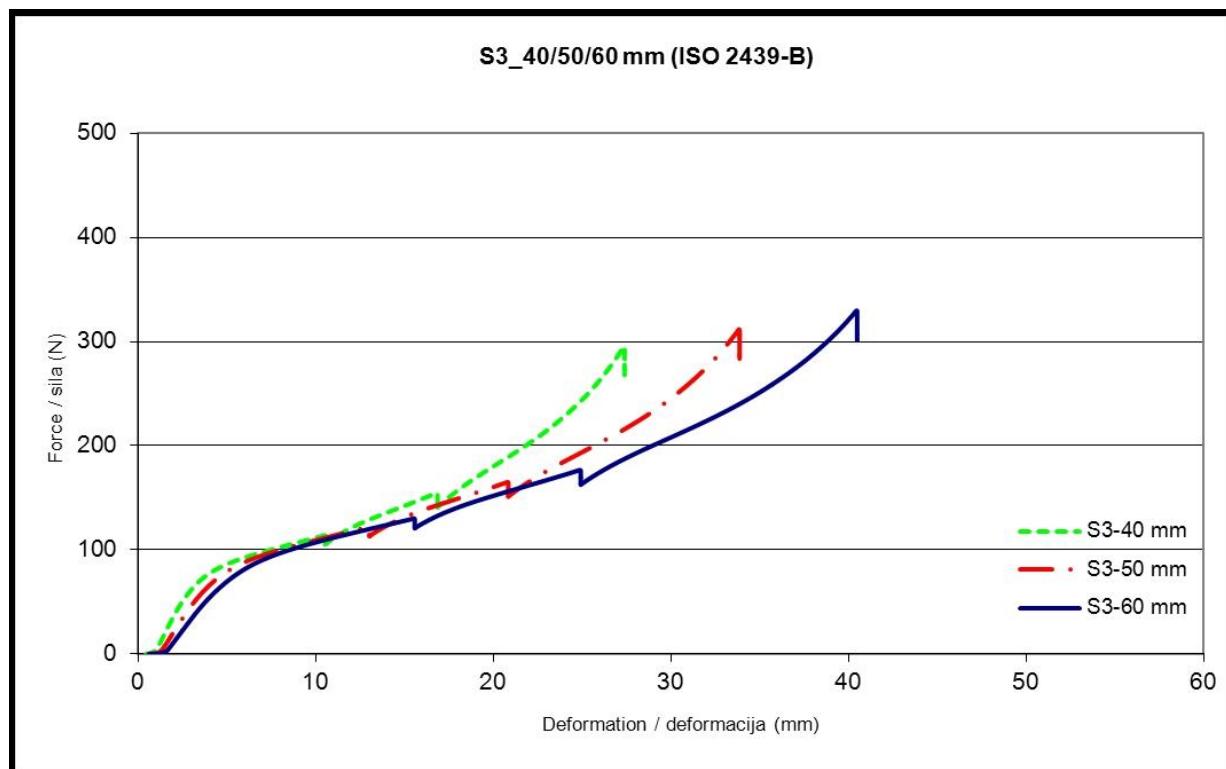
Grafički prikaz mjerjenja IFD testom za svaki uzorak i debljinu nalazi se u nastavku.



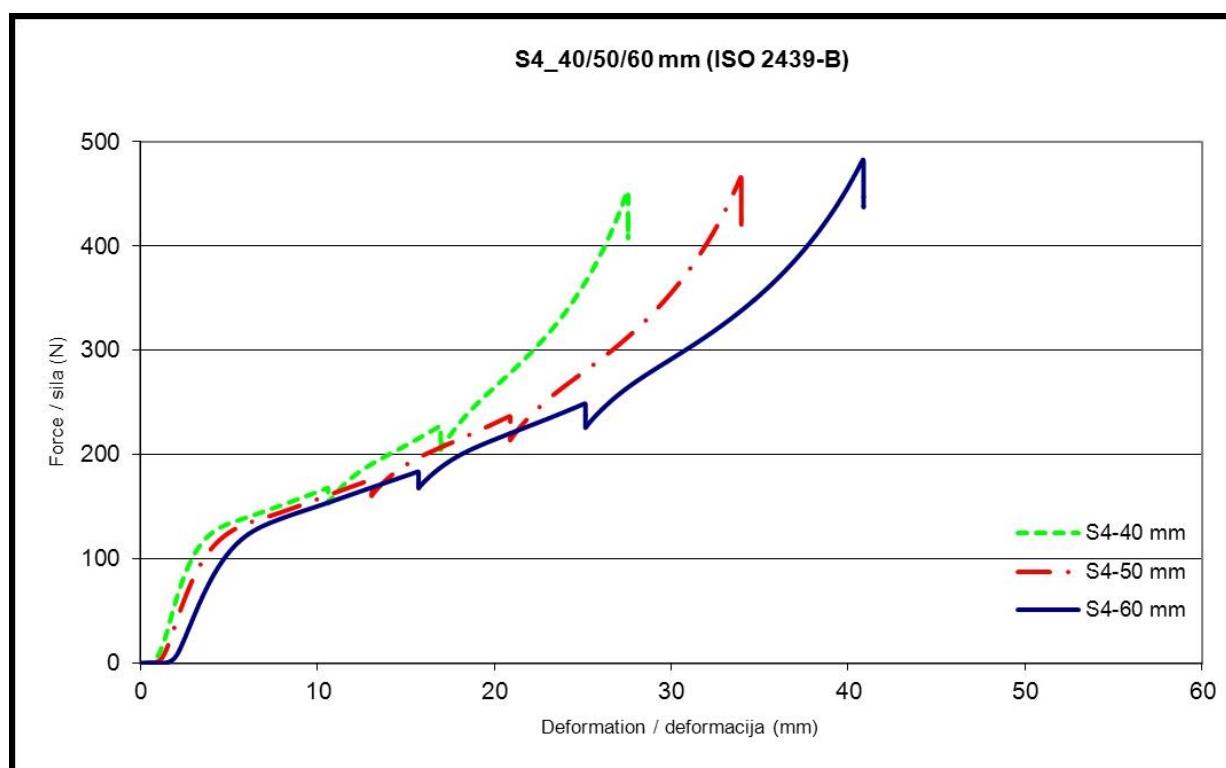
Slika 33. Grafički prikaz mjerjenja IFD testom Metodom B, za tri debljine na uzorku PU spužve PN 2534



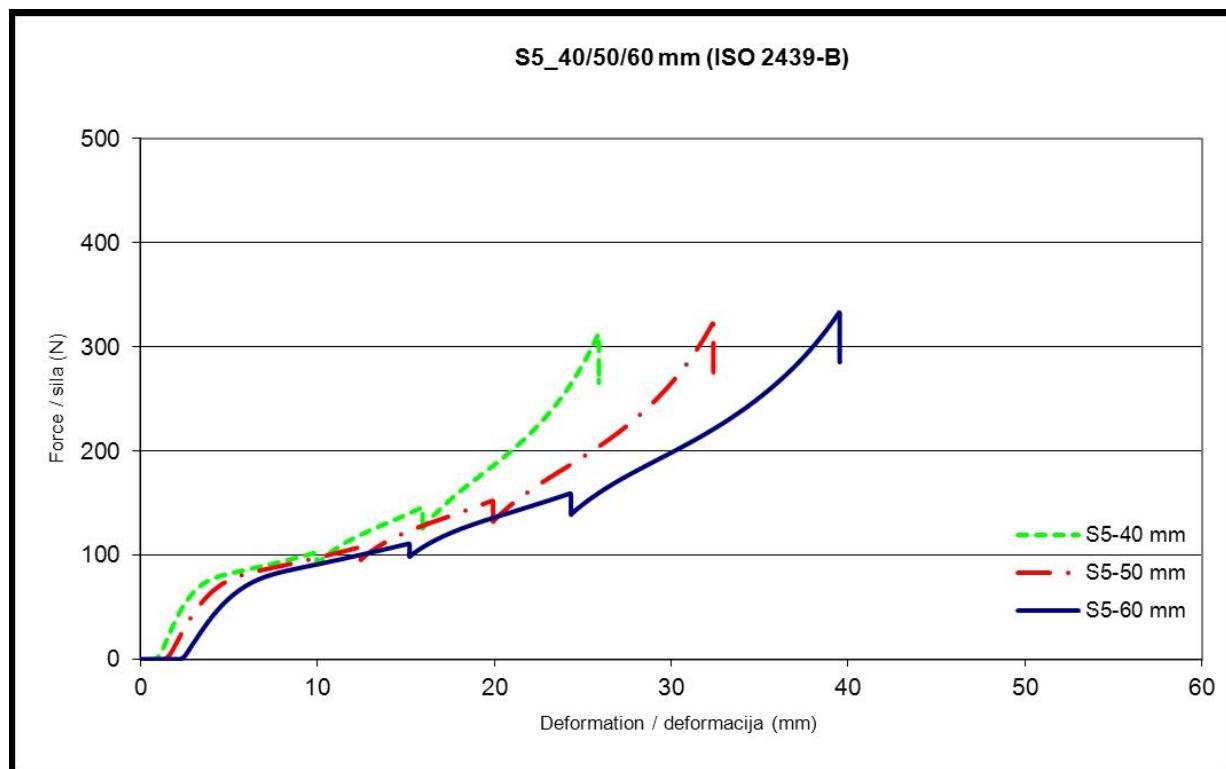
Slika 34. Grafički prikaz mjerjenja IFD testom Metodom B, za tri debljine na uzorku PU spužve PN 3038



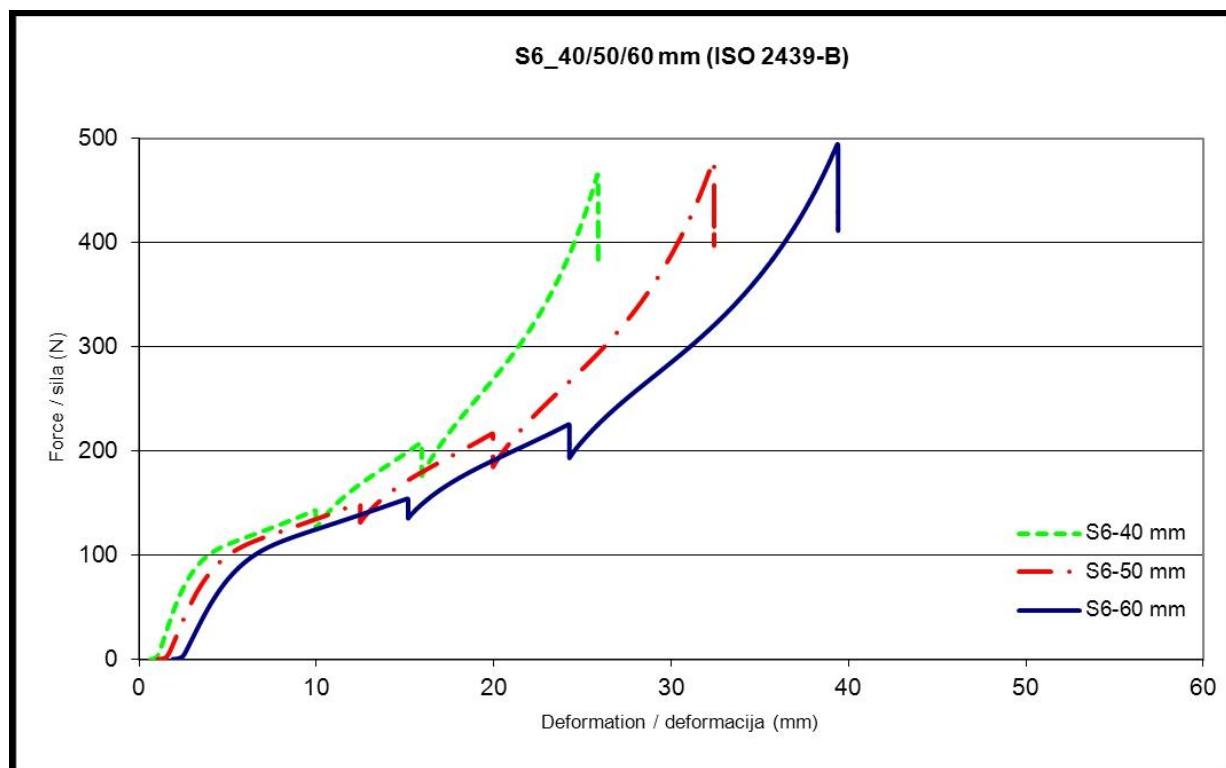
Slika 35. Grafički prikaz mjerjenja IFD testom Metodom B, za tri debljine na uzorku PU spužve VAPEN S 3534



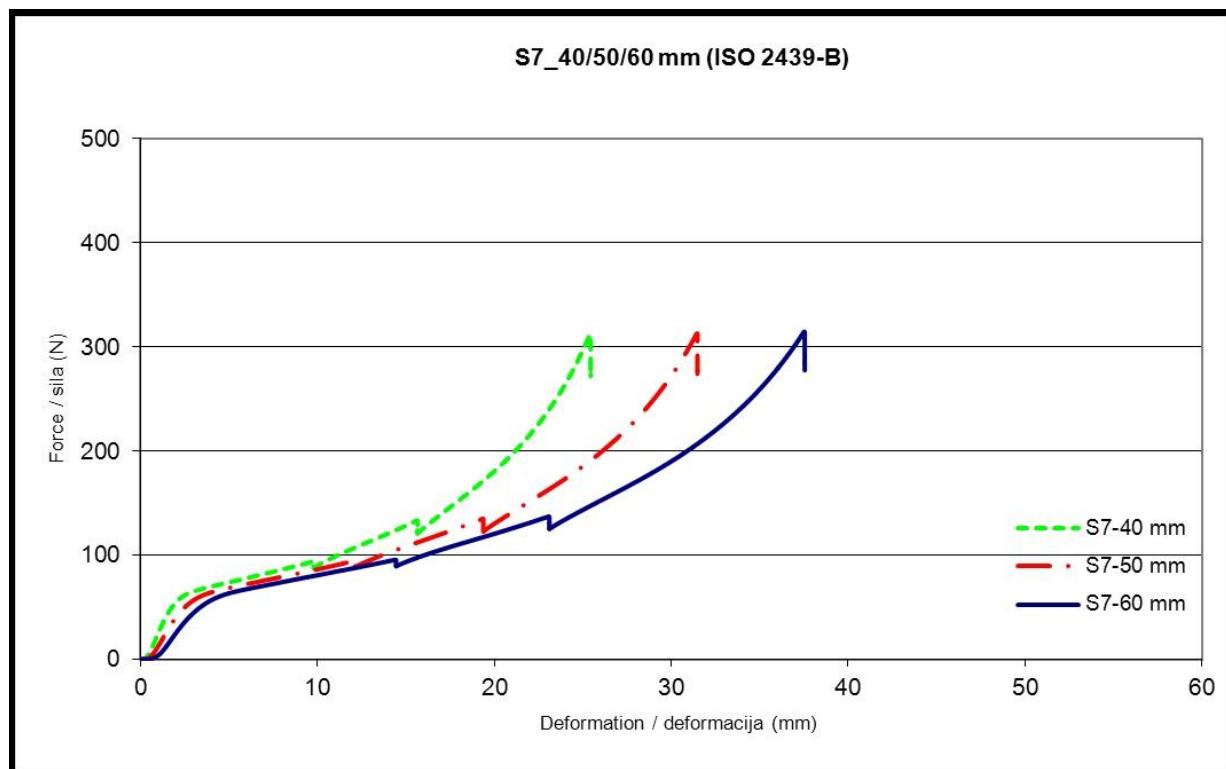
Slika 36. Grafički prikaz mjerjenja IFD testom Metodom B, za tri debljine na uzorku PU spužve PT 4048



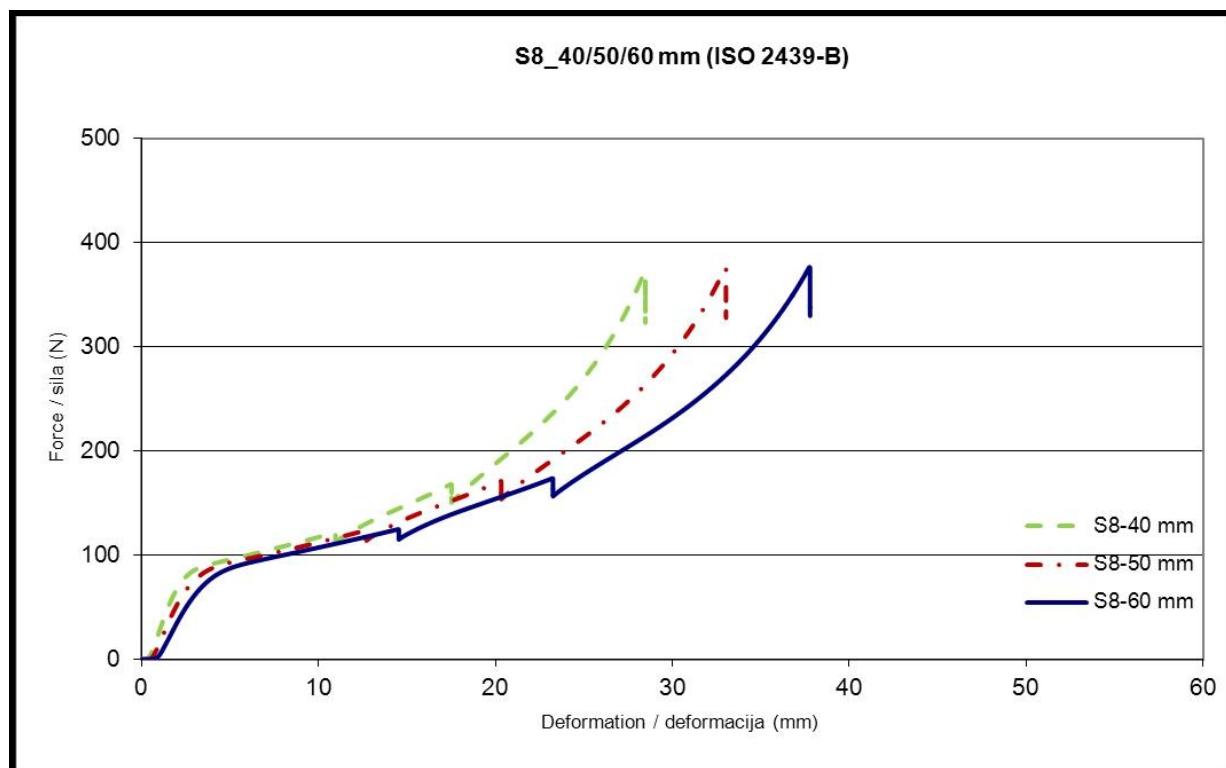
Slika 37. Grafički prikaz mjerjenja IFD testom Metodom B, za tri debljine na uzorku HR 3028



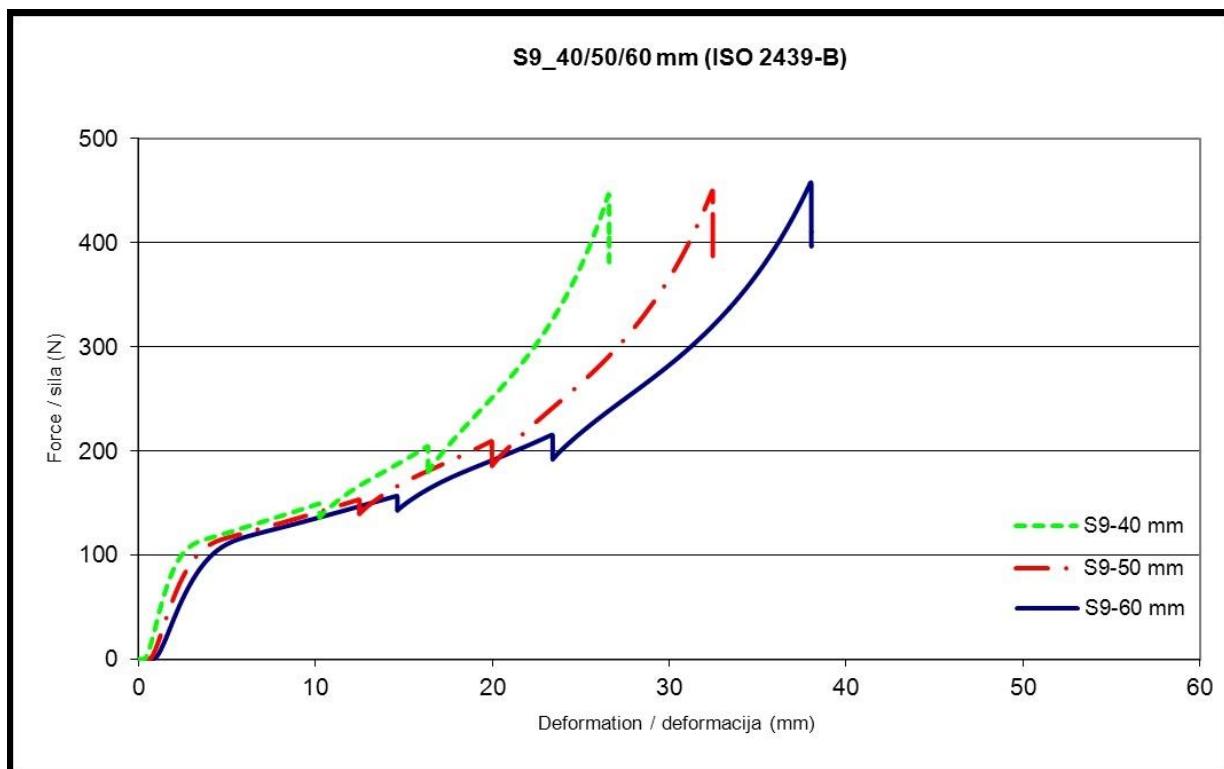
Slika 38. Grafički prikaz mjerjenja IFD testom Metodom B, za tri debljine na uzorku HR 3536



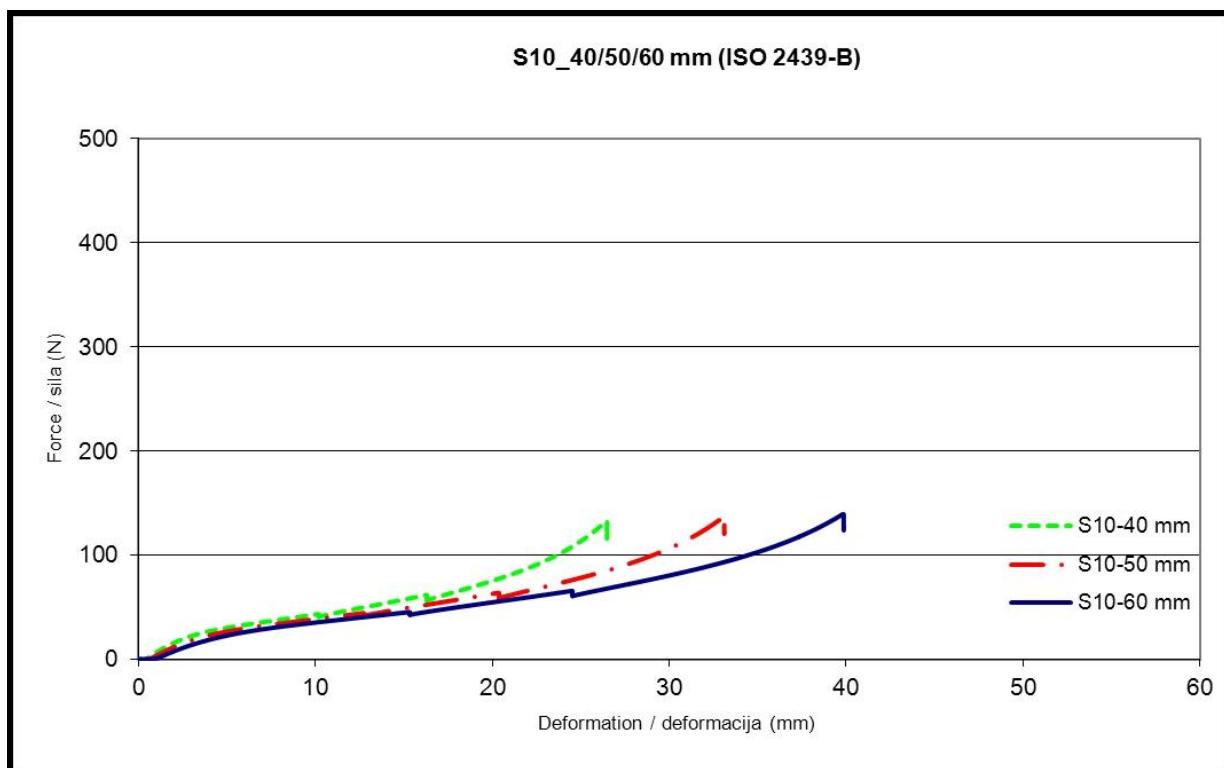
Slika 39. Grafički prikaz mjerjenja IFD testom Metodom B, za tri debljine na uzorku CELLPUR R 5225



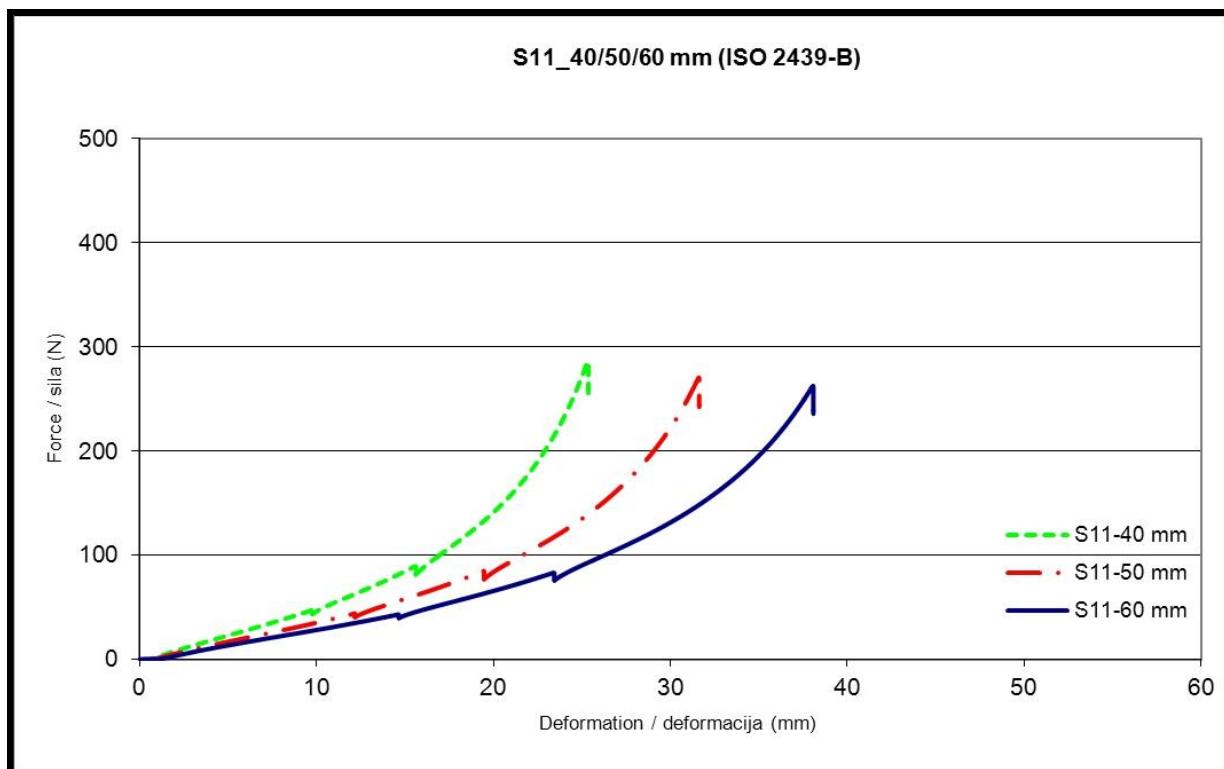
Slika 40. Grafički prikaz mjerjenja IFD testom Metodom B, za tri debljine na uzorku CELLPUR R 5235



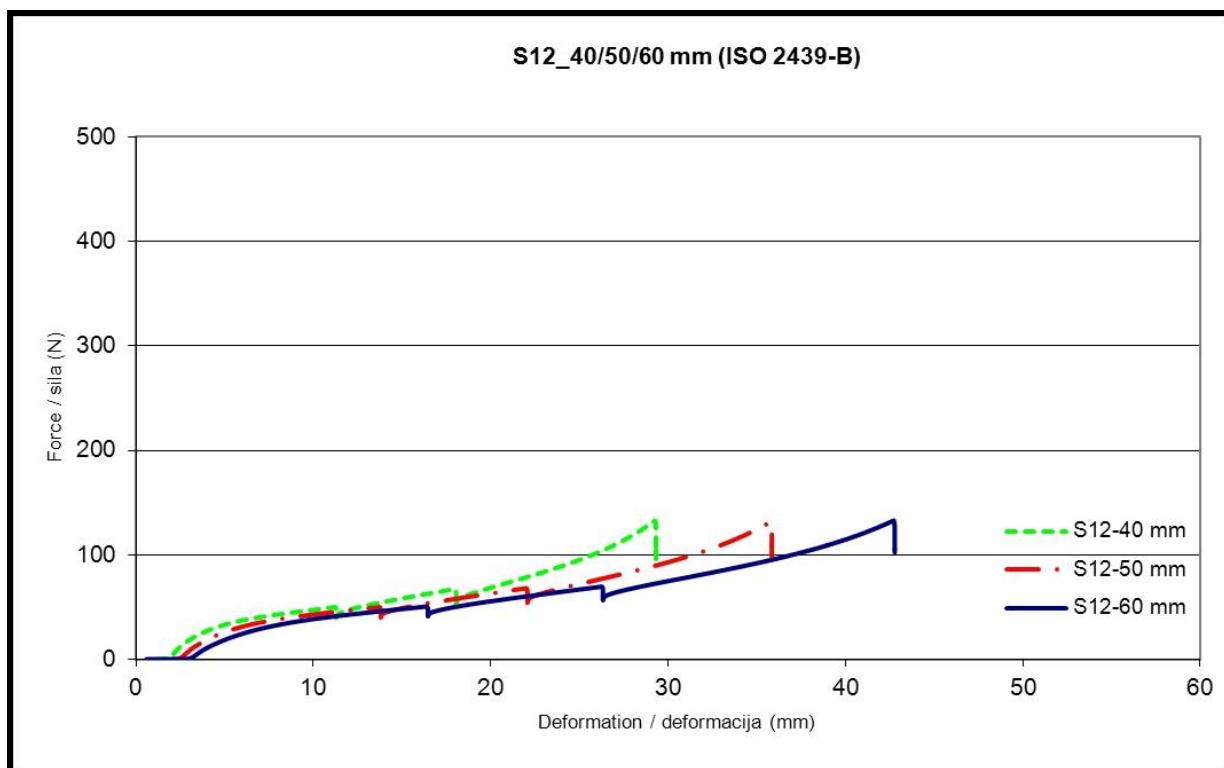
Slika 41. Grafički prikaz mjerjenja IFD testom Metodom B, za tri debljine na uzorku CELLPUR R 5245



Slika 42. Grafički prikaz mjerjenja IFD testom Metodom B, za tri debljine na uzorku PURLATEX 60



Slika 43. Grafički prikaz mjerena IFD testom Metodom B, za tri debljine na uzorku LATEX 65



Slika 44. Grafički prikaz mjerena IFD testom Metodom B, za tri debljine na uzorku VISCO V 5015

Uzorak S2 (PN 3038) ima najveći gubitak nosivosti na 25, 40 i 65% deformacije, a to se može povezati s gubitkom tvrdoće (odnosno spužva postaje mekša), dok uzorak S10 (LATEX 65) ima mali, gotovo zanemarivi, gubitak nosivosti. Postupnim porastom tlačne sile s 25% na 40% i s 40% na 65% inicijalne debljine uzorka nosivost se smanjuje kod svih uzoraka.

5.3. Rezultati Metode C

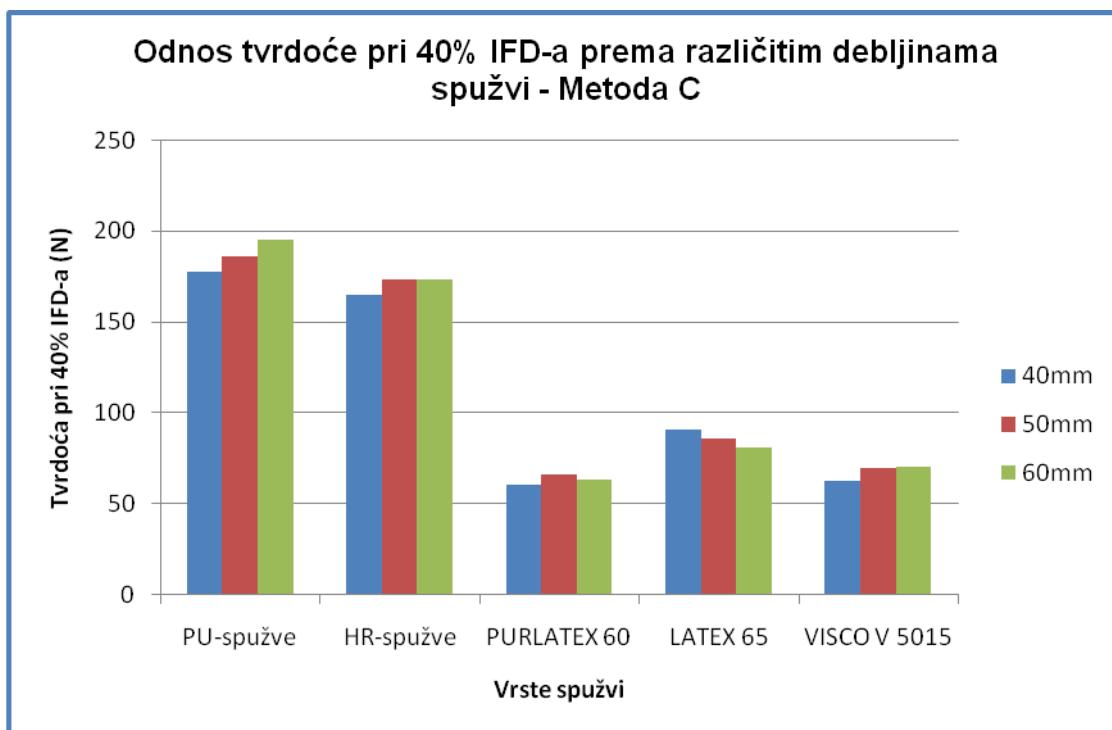
Mjerenje tvrdoće pri 40% deformacije provedeno je na svim uzorcima i na tri debljine. Ukupni rezultati izmjerene vrijednosti dani su u tablici 9. Grafički prikaz mjerenja IFD testom za svaki uzorak i debljinu nalazi se u nastavku.

Tablica 8. Izmjerene vrijednosti pomoću IFD testa za mehanička svojstva prema Metodi C

	Nazivna debljina uzorka								
	40 mm			50 mm			60 mm		
Uzorci	h0 [mm]	hC40% [mm]	HC40% [N]	h0 [mm]	hC40% [mm]	HC40% [N]	h0 [mm]	hC40% [mm]	HC40% [N]
S1	40,6	16,2	155,9	49,8	19,9	161,1	58,0	23,2	172,2
S2	38,8	15,6	193,7	49,1	19,0	200,9	59,5	21,3	203,4
S3	40,8	16,0	148,8	50,4	19,7	160,7	60,2	23,6	172,6
S4	41,3	15,7	212,0	50,9	19,4	221,4	60,7	23,1	231,5
S5	38,5	15,1	138,6	47,9	18,8	145,7	57,9	22,5	151,1
S6	38,6	14,6	193,5	48,4	18,7	207,5	57,9	21,9	210,4
S7	38,2	15,6	135,0	47,5	19,0	133,8	56,6	22,3	134,0
S8	43,5	17,4	157,5	49,9	20,0	169,2	57,0	21,8	164,8
S9	40,2	16,1	199,6	48,8	19,8	208,3	57,2	21,9	204,2
S10	39,9	15,4	60,6	49,6	20,1	65,9	59,2	23,1	63,4
S11	37,2	14,6	90,5	46,4	18,2	86,0	56,1	21,5	81,1
S12	44,3	17,7	62,5	51,8	19,2	69,6	62,3	23,5	70,4
Legenda:	h0[mm] – početna visina, hC40%[mm] – visina uzorka na 40% deformacije, HC40%[N] – izmjerena tvrdoća pri 40% deformacije								

Na temelju tabličnog prikaza može se reći da najveću tvrdoću ima uzorak S4 (PT 4048), a najmanju uzorak S10 (PURLATEX 60) kod svih debljina.

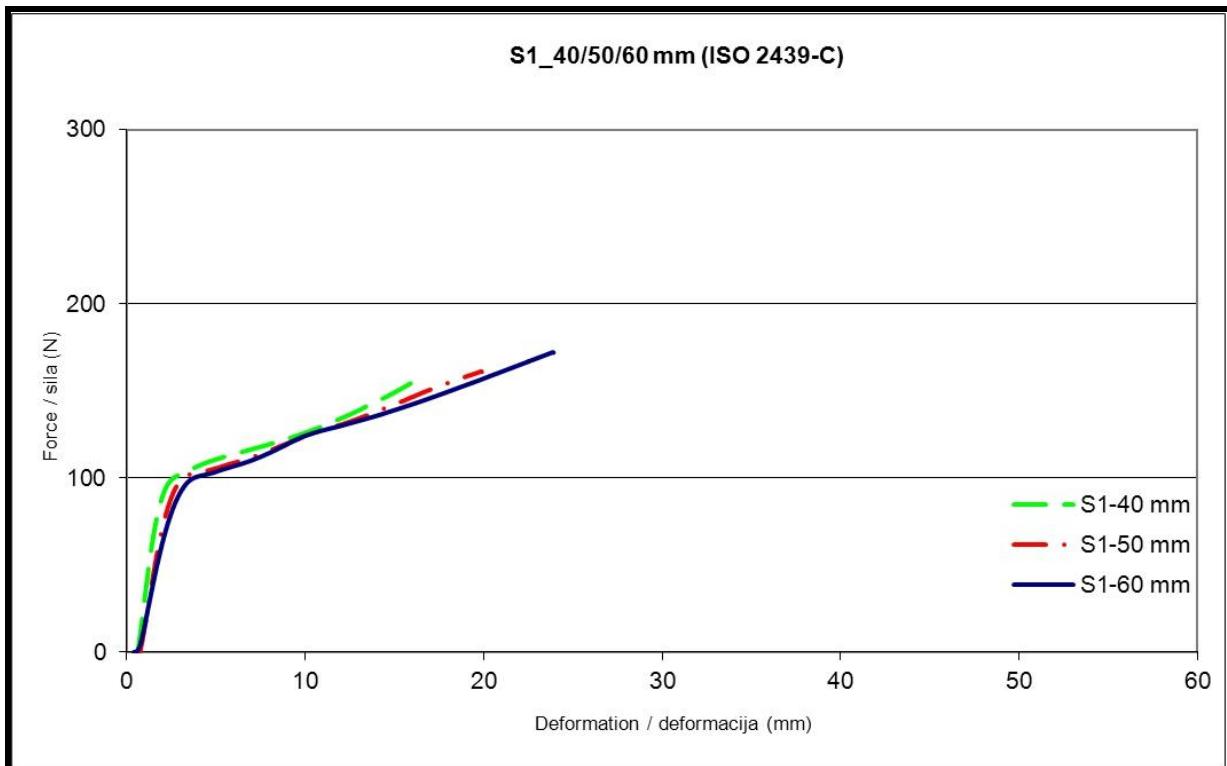
U nastavku slijedi grafički prikaz odnosa triju debljina i tvrdoće za sve ispitane vrste spužvi. Valja napomenuti da je za poliuretanske i HR spužve uzeta srednja vrijednost tvrdoće radi lakšeg uspoređivanja s ostalim uzorcima.



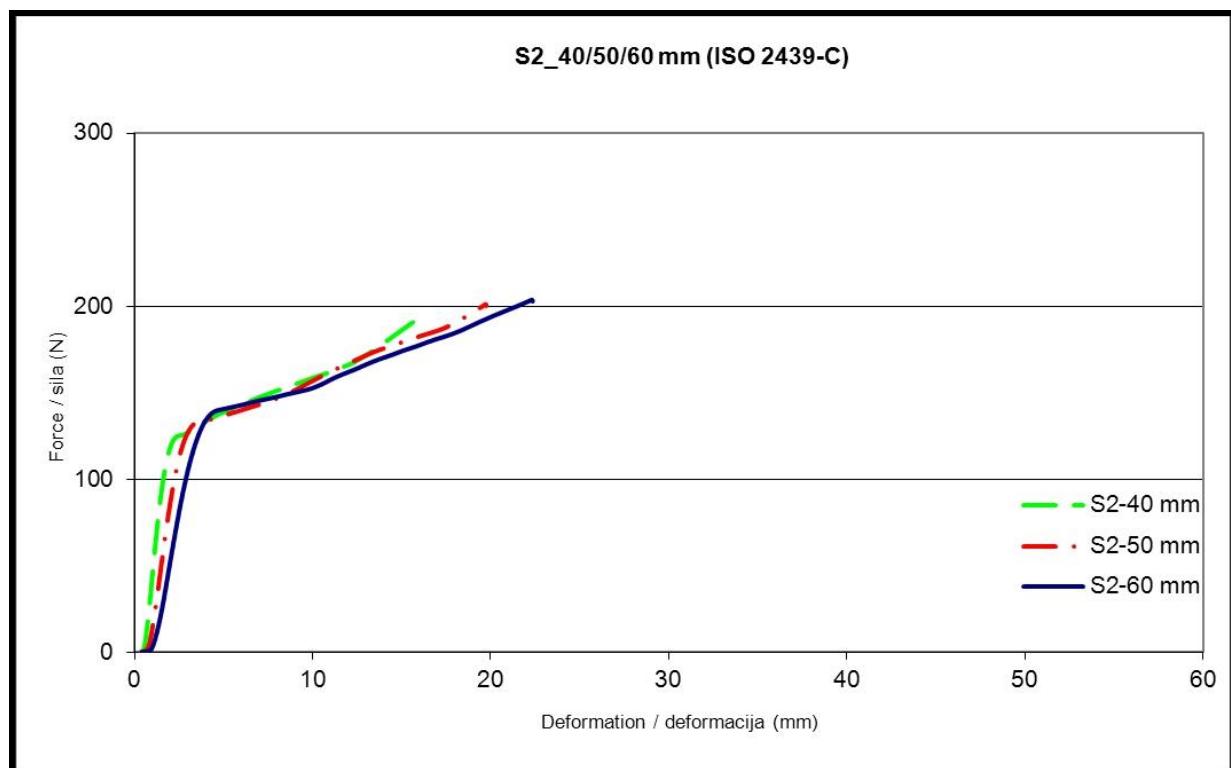
Slika 45. Grafički prikaz utjecaja različitih debljina i vrsta uzorka sružvi na tvrdoću prema ISO 2439

Kod PU sružvi i VISCO V 5015 može se reći da s porastom debljine uzorka povećava se i tvrdoća, dok kod HR sružvi i PURLATEX 60 tvrdoća raste s povećanjem debljine s 40 na 50 mm, ali s dalnjim povećanjem debljine ona ostaje ista ili pada. Na uzorku sružve LATEX 65 vidljivo je da kod porasta debljine tvrdoća opada. Grafikon jasno pokazuje da PU sružve dosežu najveću tvrdoću, mada su im se dosta približile HR sružve. Najmanju tvrdoću prema grafičkom prikazu imaju sružve VISCO V 5015 i PURLATEX 60.

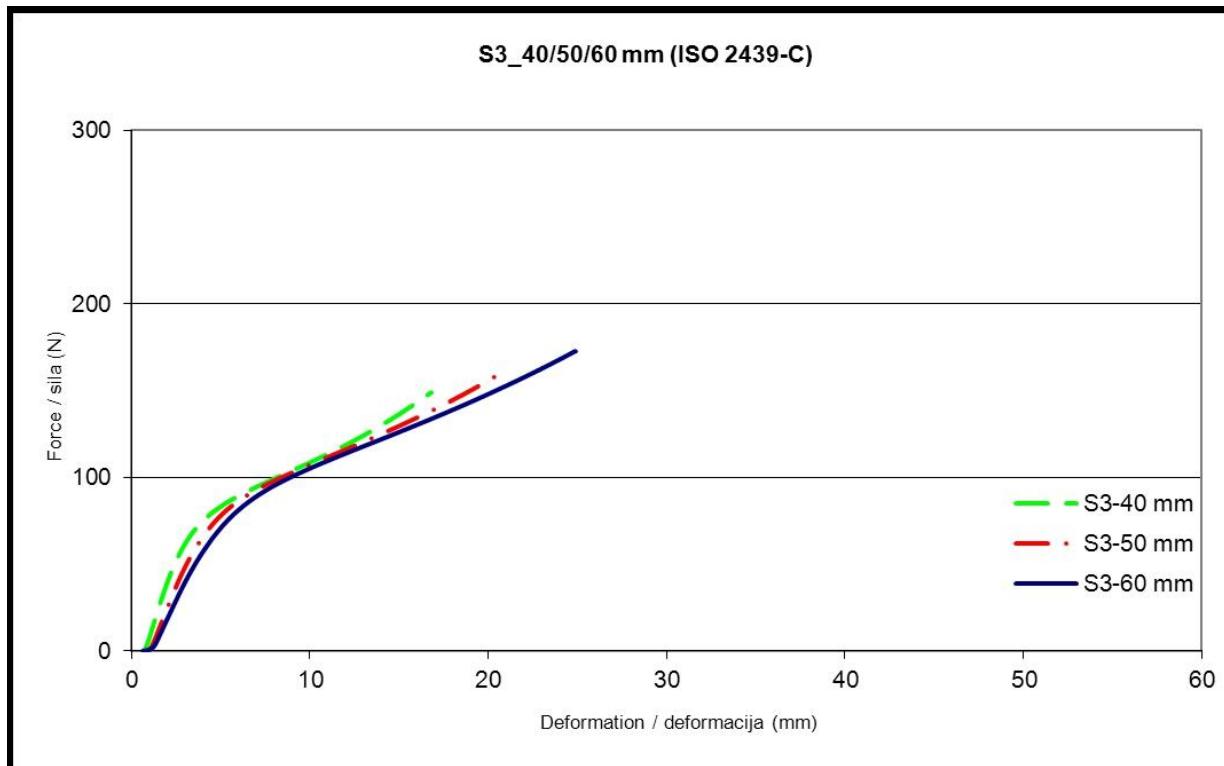
Grafički prikazi mjerenja IFD testom za svaki uzorak i debljinu nalaze se u nastavku.



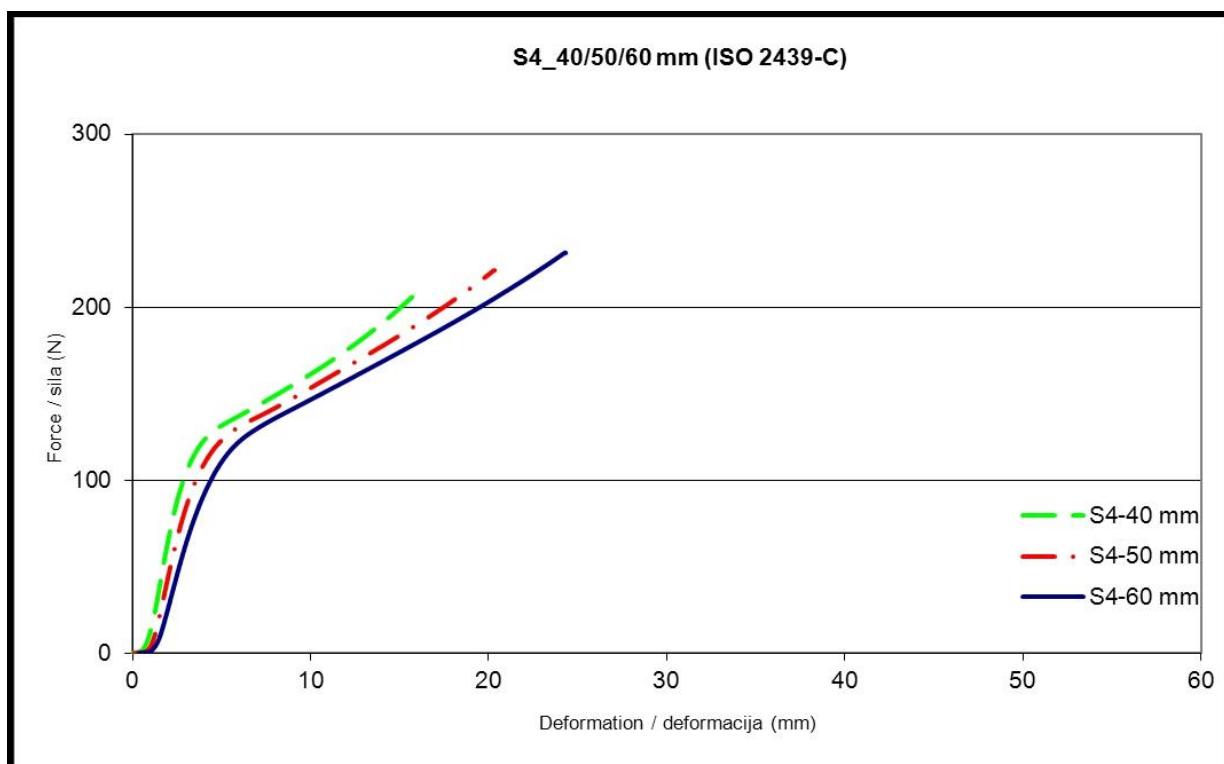
Slika 46. Grafički prikaz mjerena IFD testom Metodom C, za tri debljine na uzorku PU spužve PN 2534



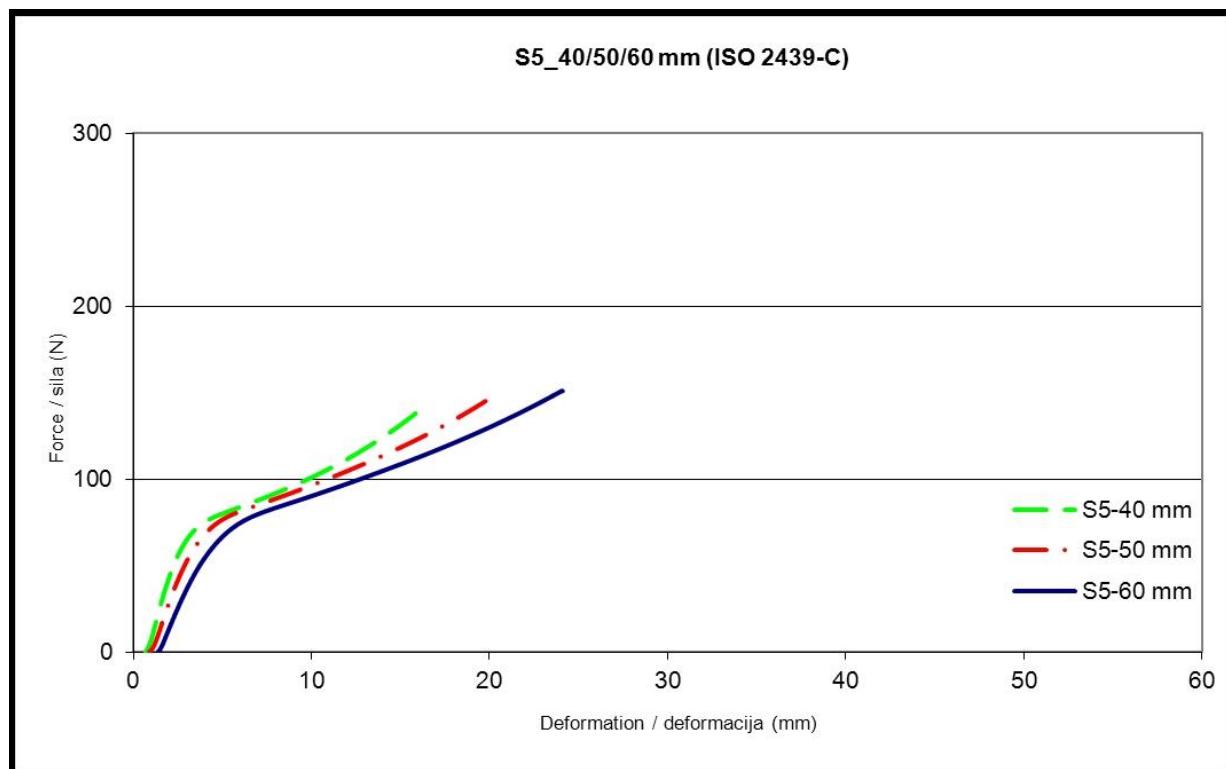
Slika 47. Grafički prikaz mjerena IFD testom Metodom C, za tri debljine na uzorku PU spužve PN 3038



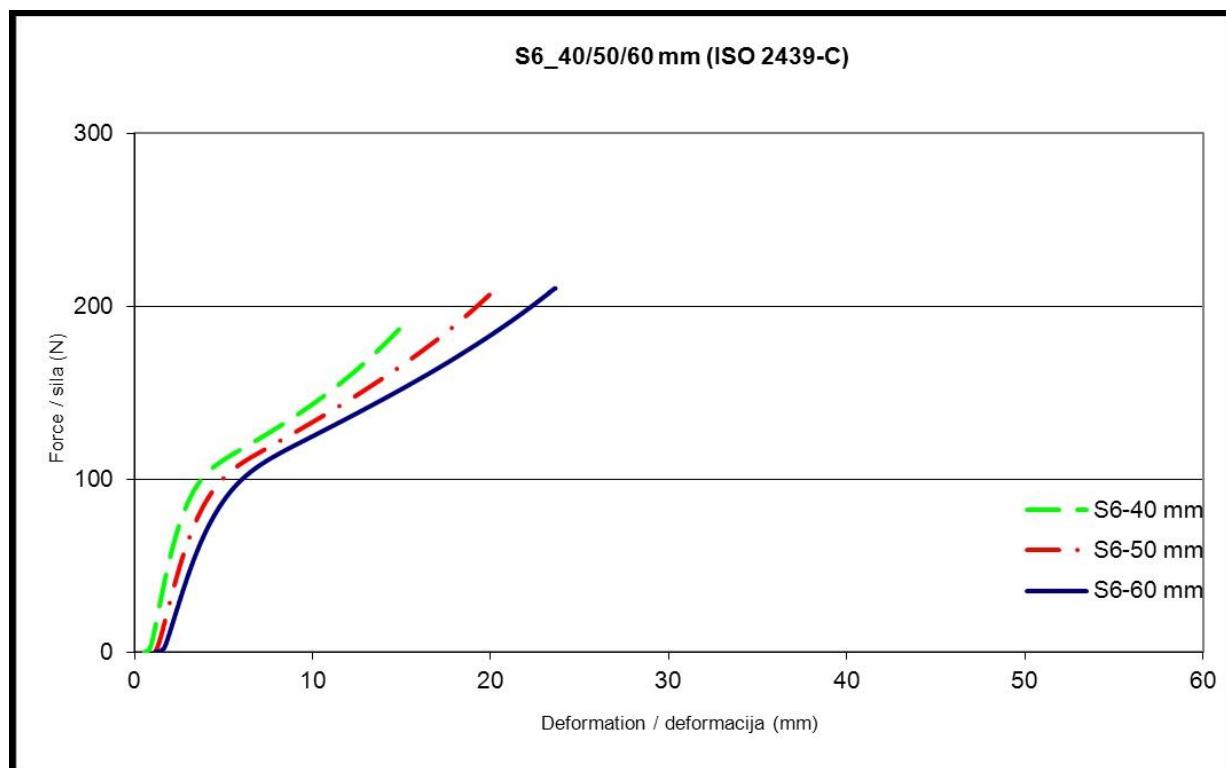
Slika 48. Grafički prikaz mjerena IFD testom Metodom C, za tri debljine na uzorku PU spužve VAPEN S 3534



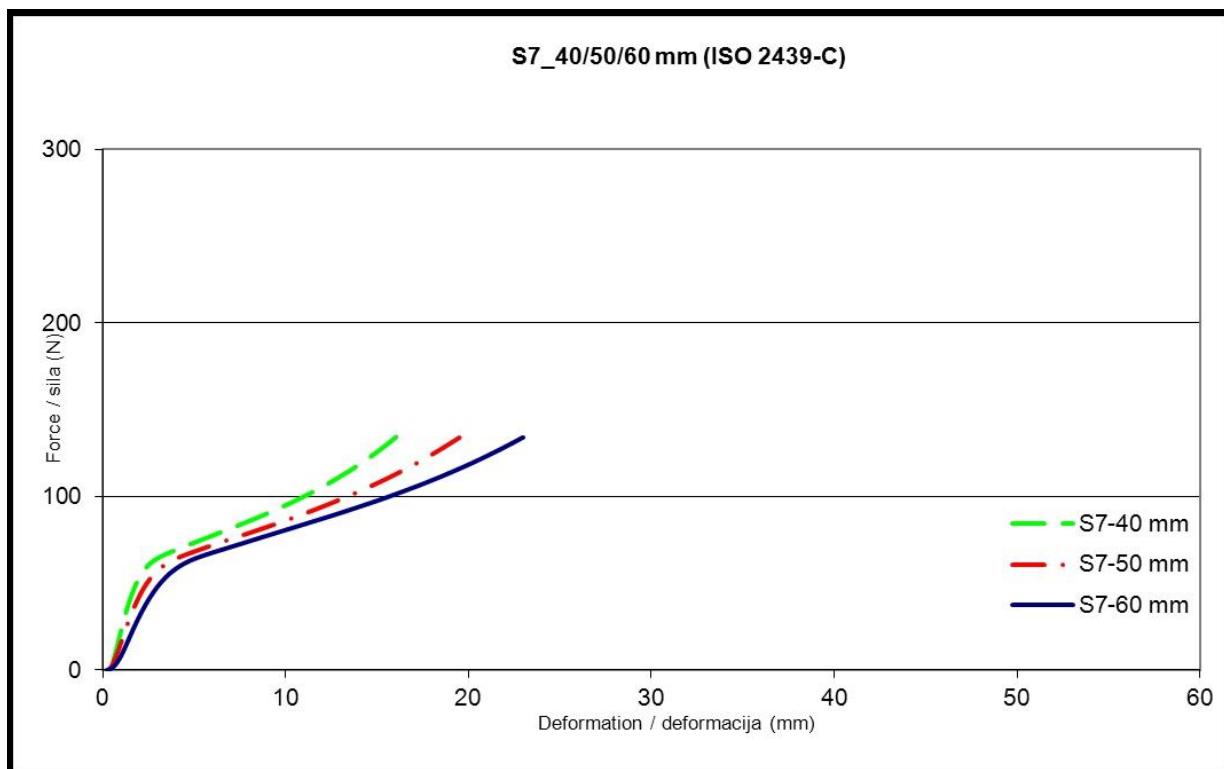
Slika 49. Grafički prikaz mjerena IFD testom Metodom C, za tri debljine na uzorku PU spužve PT 4048



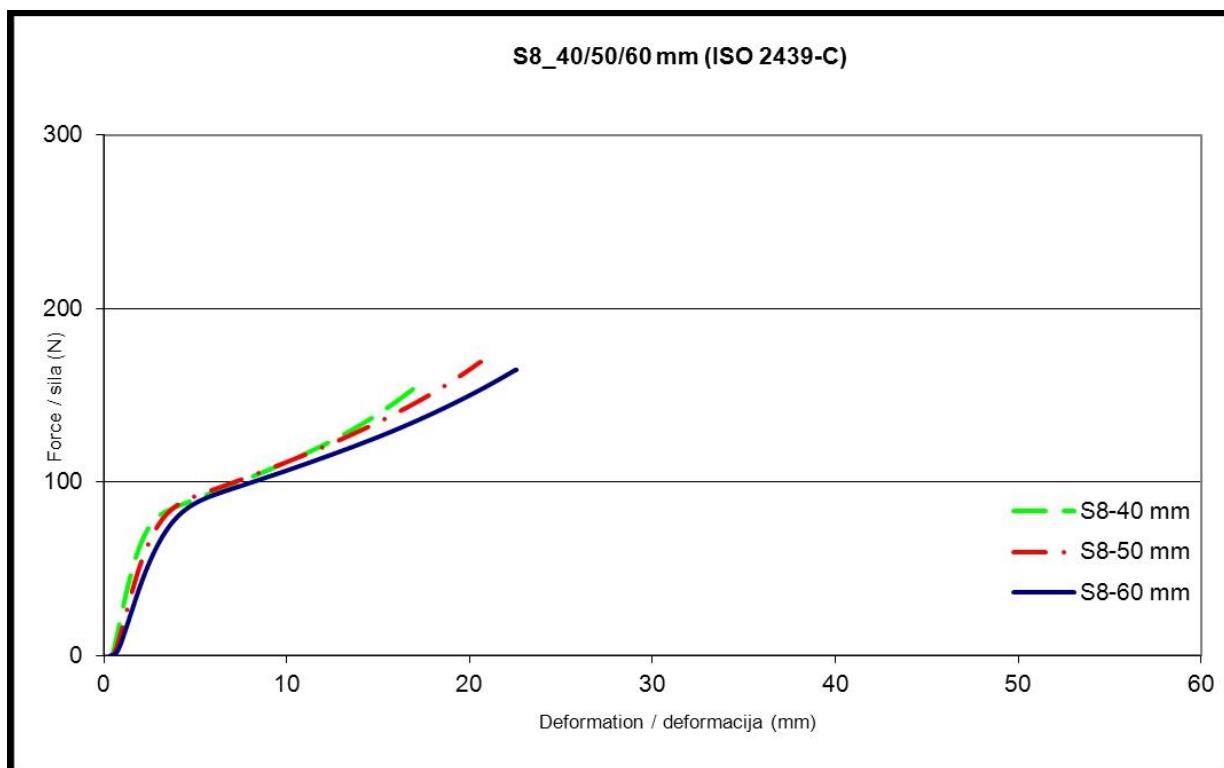
Slika 50. Grafički prikaz mjerjenja IFD testom Metodom C, za tri debljine na uzorku HR 3028



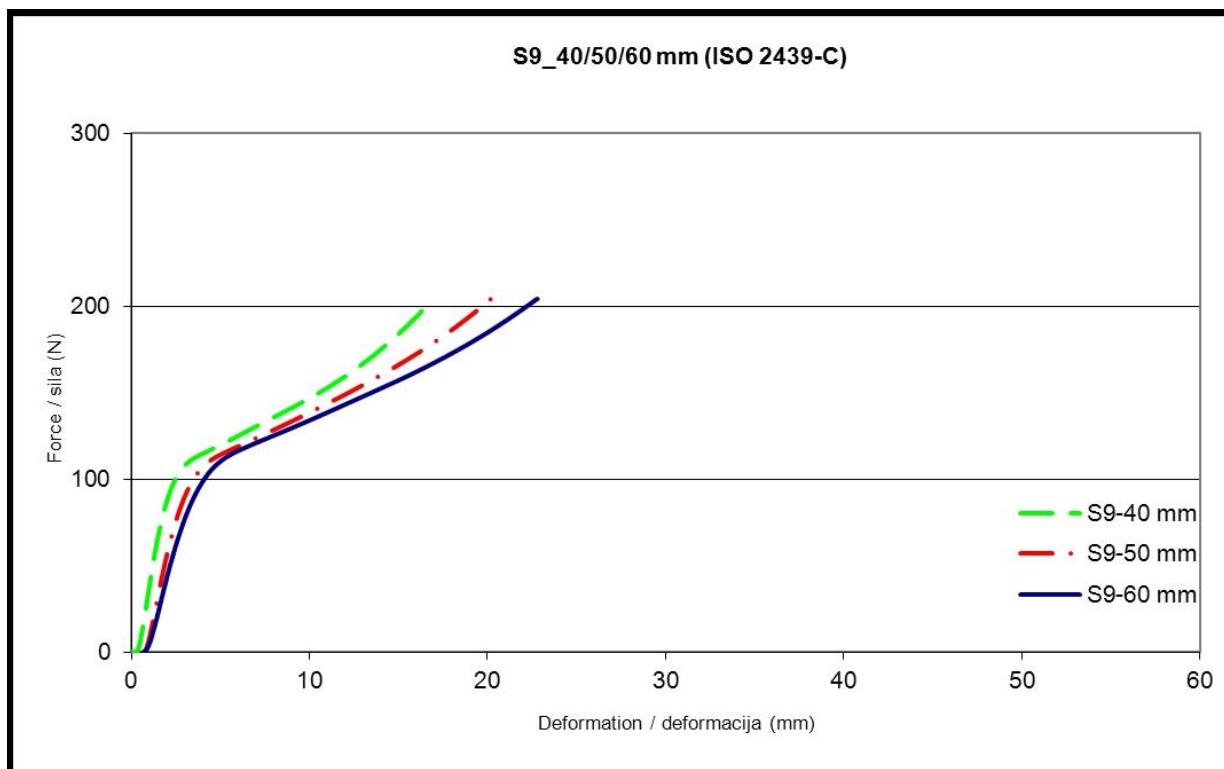
Slika 51. Grafički prikaz mjerjenja IFD testom Metodom C, za tri debljine na uzorku HR 3536



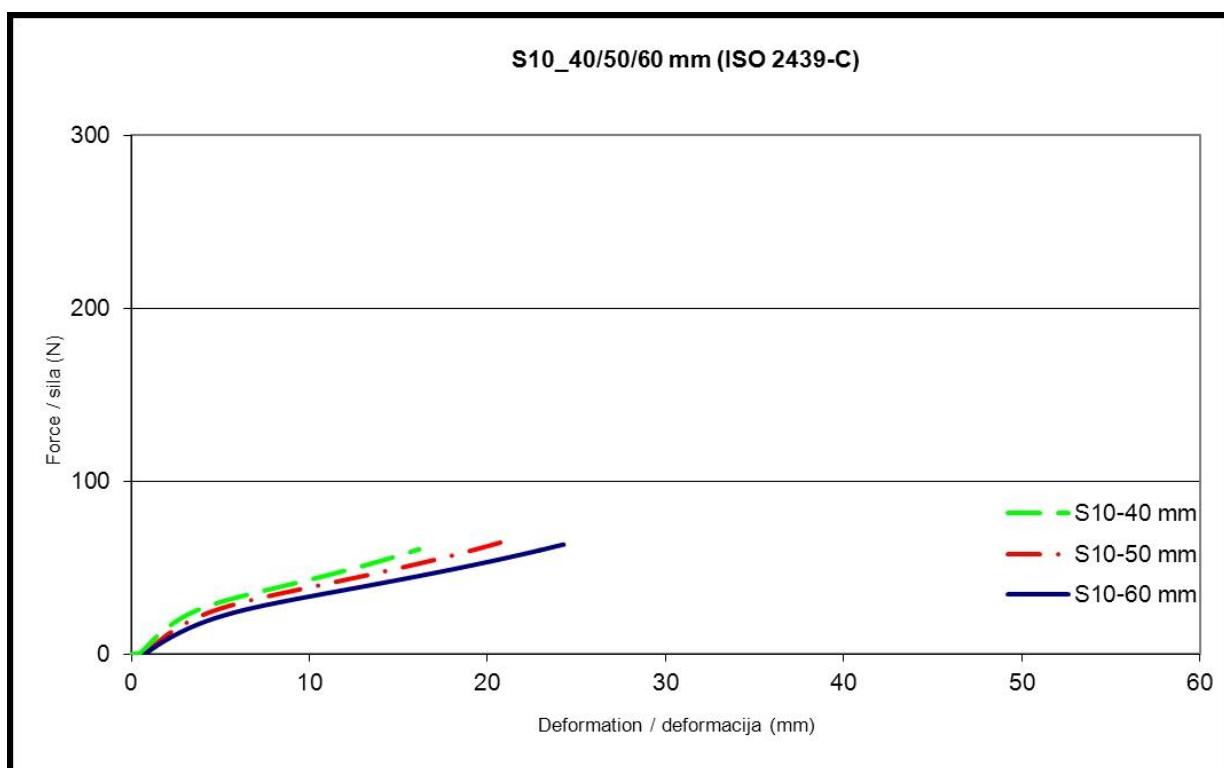
Slika 52. Grafički prikaz mjerjenja IFD testom Metodom C, za tri debljine na uzorku CELLPUR R 5225



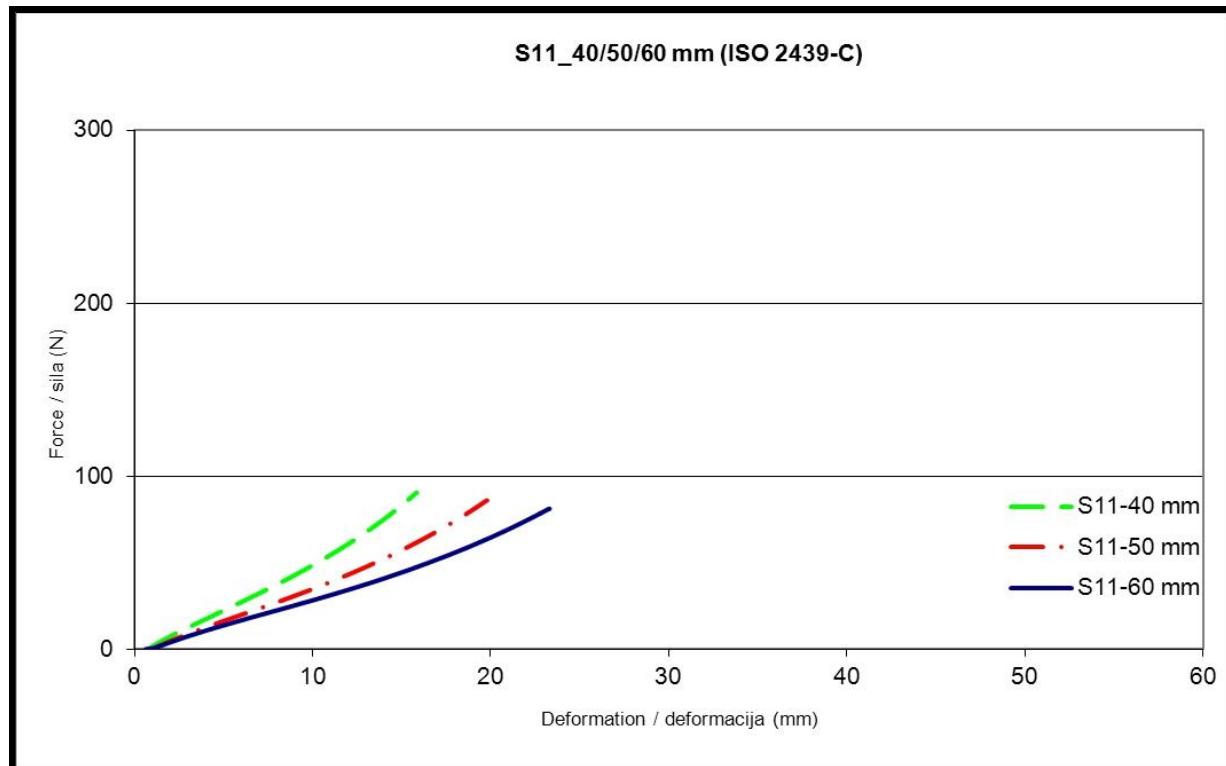
Slika 53. Grafički prikaz mjerjenja IFD testom Metodom C, za tri debljine na uzorku CELLPUR R 5235



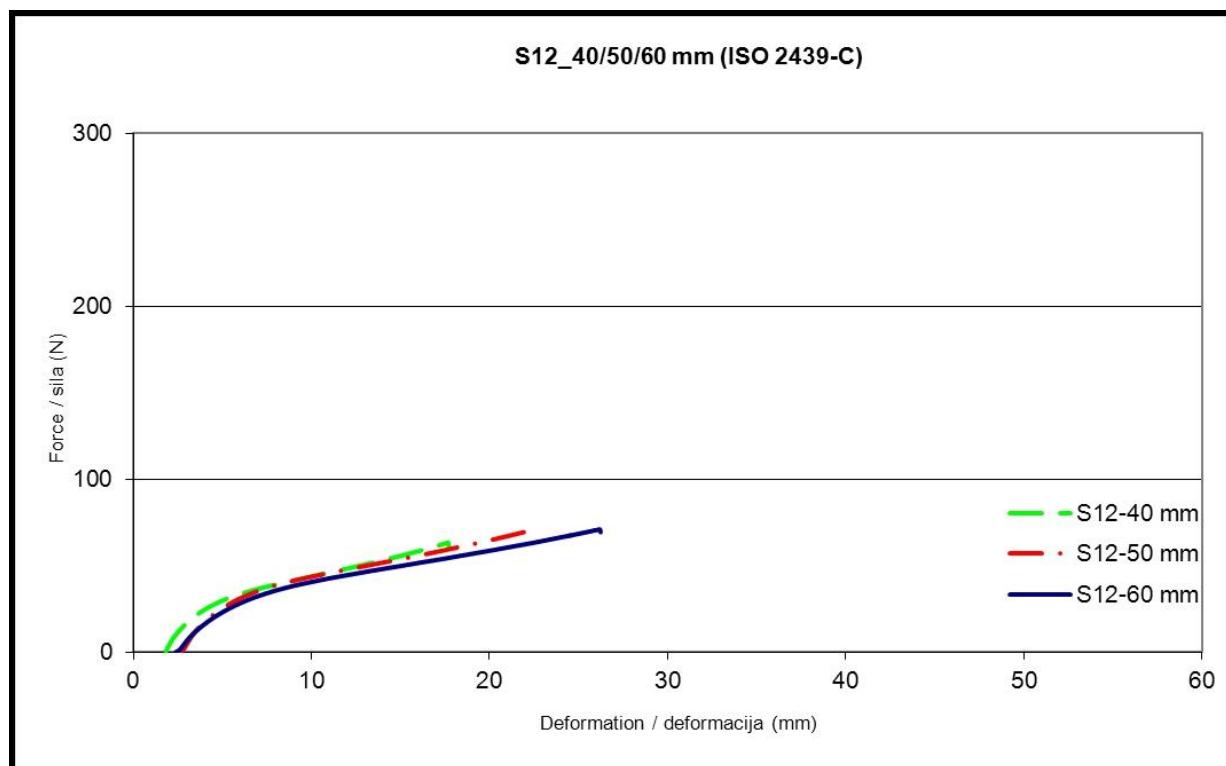
Slika 54. Grafički prikaz mjerjenja IFD testom Metodom C, za tri debljine na uzorku CELLPUR R 5245



Slika 55. Grafički prikaz mjerjenja IFD testom Metodom C, za tri debljine na uzorku PURLATEX 60



Slika 56. Grafički prikaz mjerena IFD testom Metodom C, za tri debljine na uzorku LATEX 65



Slika 57. Grafički prikaz mjerena IFD testom Metodom C, za tri debljine na uzorku VISCO V 5015

Kod svih uzoraka, u početnom dijelu krivulje, u dijelu proporcionalnosti, može se reći da s povećanjem debljine uzorka, kut nagiba krivulje se smanjuje što ukazuje na postupnu mekoću materijala.

5.4. Rezultati Metode E

Mjerenje indeksa udobnosti (*support factor* ili *SAG factor*), zatim vrijednost histereze (*Hysteresis loss*) te povrata histereze (*Hysteresis return*) obavljeno je pomoću IFD postupka za sve uzorke i za sve tri debljine. Ukupni rezultati izmjerениh vrijednosti dani su u tablici 10.

Tablica 9. Izmjerene vrijednosti pomoću IFD testa za mehanička svojstva prema Metodi E

	Uzorci	h_0 [mm]	$h_{Eo25\%}$ [mm]	$h_{Eo65\%}$ [mm]	$h_{Eo75\%}$ [mm]	$h_{Er25\%}$ [mm]	$HE_{o25\%}$ [N]	$HE_{o65\%}$ [N]	$HE_{o75\%}$ [N]	$HE_{r25\%}$ [N]	Rec-E[%]	Indeks-E	Hyst-E[%]
Debljina uzorka 40 mm	S1	40,6	10,1	26,4	30,5	10,2	165,4	319,4	532,9	74,4	45,0	1,9	42,0
	S2	39,3	9,8	25,6	29,5	9,8	203,0	364,2	649,5	76,4	37,6	1,8	47,7
	S3	41,8	10,4	27,2	31,4	10,4	127,3	285,3	477,7	84,8	66,6	2,2	24,6
	S4	42,0	10,4	27,3	31,5	10,4	184,8	423,1	743,0	117,0	63,3	2,3	27,2
	S5	39,3	9,7	25,5	29,5	9,7	120,5	294,5	523,1	68,5	56,8	2,4	31,9
	S6	39,4	9,8	25,6	29,6	9,8	170,8	443,4	819,8	92,5	54,1	2,6	34,5
	S7	38,9	9,7	25,3	29,2	9,7	102,4	306,5	570,2	77,2	75,4	3,0	20,0
	S8	43,5	10,9	28,3	32,7	10,9	135,0	366,1	671,2	96,6	71,6	2,7	22,8
	S9	40,7	10,2	26,5	30,6	10,2	168,9	439,2	805,2	114,5	67,8	2,6	25,6
	S10	40,5	10,1	26,3	30,4	10,1	47,9	132,6	247,3	36,3	75,9	2,8	20,1
	S11	38,7	9,5	25,1	29,0	9,6	53,0	278,8	615,2	32,4	61,0	5,3	25,7
	S12	44,4	10,8	28,7	33,2	10,8	57,4	131,8	234,5	21,3	37,1	2,3	57,5
Debljina uzorka 50 mm	S1	49,7	12,4	32,3	37,3	12,4	168,6	320,5	529,4	75,2	44,6	1,9	43,0
	S2	49,8	12,4	32,4	37,3	12,4	208,5	372,2	665,8	78,0	37,4	1,8	47,7
	S3	51,6	12,7	33,5	38,7	12,8	135,0	300,2	501,6	90,2	66,8	2,2	24,4
	S4	51,7	12,8	33,6	38,7	12,8	191,7	436,5	769,1	121,2	63,2	2,3	27,4
	S5	48,9	11,9	31,7	36,6	12,0	124,9	302,3	535,2	70,8	56,7	2,4	32,1
	S6	49,2	12,1	31,9	36,9	12,1	176,5	452,8	837,5	95,8	54,3	2,6	34,5
	S7	48,1	11,9	31,3	36,1	12,0	102,9	308,4	571,7	77,2	75,0	3,0	20,1
	S8	50,5	12,6	32,9	37,9	12,6	137,0	370,4	678,8	97,0	70,8	2,7	22,9
	S9	49,5	12,2	32,1	37,1	12,3	172,6	443,8	813,3	116,6	67,5	2,6	25,7
	S10	50,6	12,5	32,9	38,0	12,5	49,1	136,6	252,9	36,9	75,1	2,8	20,0
	S11	48,2	11,8	31,2	36,1	11,8	48,9	262,0	572,0	29,1	59,6	5,4	26,4
	S12	54,5	13,2	35,2	40,7	13,2	58,6	133,8	230,4	21,8	37,2	2,3	56,3
Legenda:		h0[mm] – početna visina, $h_{Eo25\%}$ [mm] – visina uzorka na 25% deformacije pri opterećenju, $h_{Eo65\%}$ [mm] – visina uzorka na 65% deformacije pri opterećenju, $h_{Eo75\%}$ [mm] – visina uzorka na 75% deformacije pri opterećenju, $h_{Er25\%}$ [mm] – visina uzorka na 25% deformacije pri rasterećenju, $HE_{o25\%}$ [N] – izmjerena tvrdoča na 25% deformacije pri opterećenju, $HE_{o65\%}$ [N] – izmjerena tvrdoča na 65% deformacije pri opterećenju, $HE_{o75\%}$ [N] – izmjerena tvrdoča na 75% deformacije pri opterećenju, $HE_{r25\%}$ [N] – izmjerena tvrdoča na 25% deformacije pri rasterećenju, Rec-E[%] – povrat histereze, Indeks-E – indeks udobnosti za Metodu E, Hyst-E[%] – histereza											

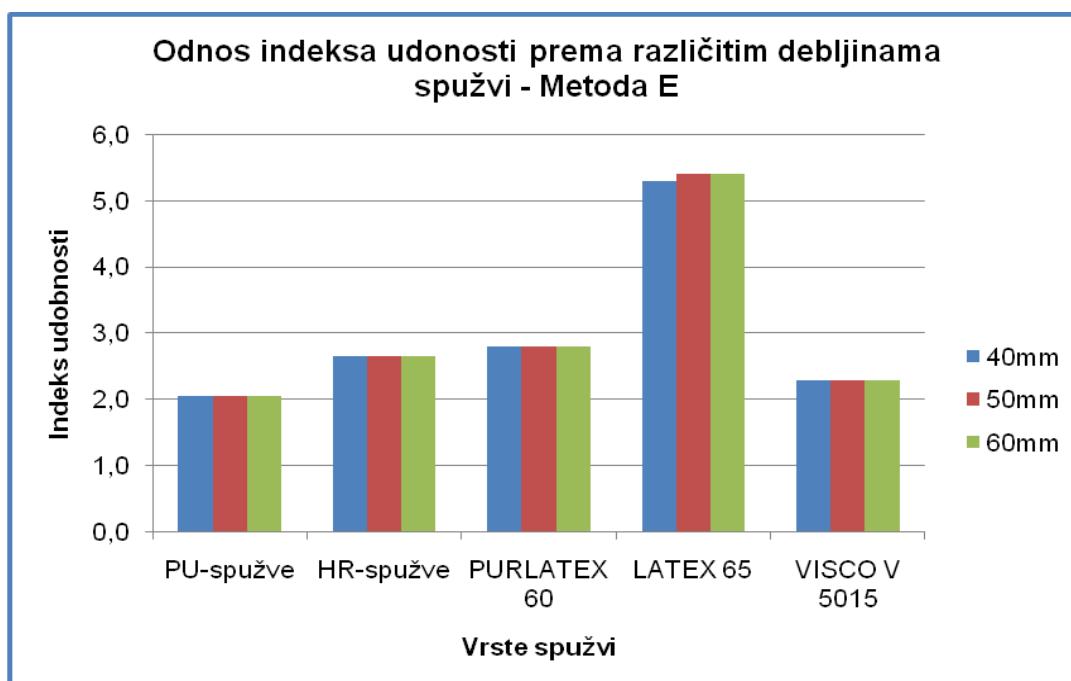
Tablica 10. Izmjerene vrijednosti pomoću IFD testa za mehanička svojstva prema Metodi E – nastavak

	Uzorci	h0[mm]	hEo25% [mm]	hEo65% [mm]	hEo75% [mm]	hEr25% [mm]	HEo25% [N]	HEo65% [N]	HEo75% [N]	HEr25% [N]	Rec-E [%]	Indeks-E	Hyst-E [%]
Debljina uzorka 60 mm	S1	59,0	14,6	38,3	44,2	14,7	172,9	330,8	550,2	75,5	43,6	1,9	43,6
	S2	60,2	14,8	39,0	45,1	14,8	218,1	398,0	695,7	81,4	37,3	1,8	47,7
	S3	61,7	15,1	40,0	46,2	15,2	143,4	319,6	529,2	95,5	66,6	2,2	24,6
	S4	61,7	15,1	40,0	46,2	15,2	200,2	456,0	794,4	126,1	63,0	2,3	27,6
	S5	59,3	14,4	38,4	44,3	14,4	131,3	318,7	560,0	74,2	56,5	2,4	32,2
	S6	59,2	14,4	38,4	44,3	14,5	185,5	476,3	873,2	100,0	53,9	2,6	34,7
	S7	57,2	14,1	37,2	42,9	14,2	104,7	311,7	573,1	78,0	74,5	3,0	20,5
	S8	57,7	14,3	37,5	43,2	14,3	139,8	377,2	686,5	98,2	70,2	2,7	23,3
	S9	57,9	14,2	37,5	43,4	14,3	178,0	457,2	829,2	119,6	67,2	2,6	25,7
	S10	60,8	15,0	39,5	45,6	15,1	50,8	140,9	258,4	38,1	75,1	2,8	20,0
	S11	57,9	14,0	37,5	43,3	14,1	47,8	255,9	552,3	28,0	58,5	5,4	27,0
	S12	64,4	15,1	41,5	48,0	15,2	58,5	135,2	229,9	22,7	38,9	2,3	53,5
Legenda:	h0[mm] – početna visina, hEo25%[mm] – visina uzorka na 25% deformacije pri opterećenju, hEo65%[mm] – visina uzorka na 65% deformacije pri opterećenju, hEo75%[mm] – visina uzorka na 75% deformacije pri opterećenju, hEr25%[mm] – visina uzorka na 25% deformacije pri rasterećenju, HEo25%[N] – izmjerena tvrdoča na 25% deformacije pri opterećenju, HEo65%[N] – izmjerena tvrdoča na 65% deformacije pri opterećenju, HEo75%[N] – izmjerena tvrdoča na 75% deformacije pri opterećenju, HEr25%[N] – izmjerena tvrdoča na 25% deformacije pri rasterećenju, Rec-E[%] – povrat histereze, Indeks-E – indeks udobnosti za Metodu E, Hyst-E[%] – histereza												

Kod uzorka S11 (LATEX 65) tvrdoča pri opterećenju na 25% i 65% IFD-a se smanjuje s porastom debljine uzorka, a kod svih ostalih uzoraka tvrdoča se povećava. Najveća tvrdoča pri opterećenju na 25% IFD-a zabilježena je kod uzorka S2 (PN 3038) na svim debljinama. Najmanja tvrdoča pri opterećenju na 25% IFD-a postignuta je na uzorku S10 (PUR LATEX 60) debljine 40 mm i uzorku S11 (LATEX 65) na debljinama 50 i 60 milimetara. Najveću tvrdoču pri opterećenju na 65% IFD-a ima uzorak S6 (HR 3536), a najmanju uzorak S12 (VISCO V 5015) za sve tri debljine. Tvrdoča pri rasterećenju na 25% IFD-a raste s debljinom uzorka. Relativna tvrdoča ili povrat histereze (*Rec-E*) se smanjuje s obzirom na povećanje debljine uzorka, osim kod uzorka S12 (VISCO V 5015) gdje je obrnuta situacija. Vrlo nizak postotak povrata histereze dao je uzorak S12 (VISCO V 5015), a najveći uzorak S10 (PUR LATEX 60) za sve tri debljine s time da je uzorak S7 (CELLPUR R 5225) odmah do njega. Uzrok malog postotka povrata histereze može se povezati s tromošću materijala. Indeks udobnosti kreće se od 1,9 do 3,0, osim kod uzorka S11 (LATEX 65) gdje indeks udobnosti iznosi 5,4. Histereza raste s povećanjem debljine uzorka, osim kod uzorka

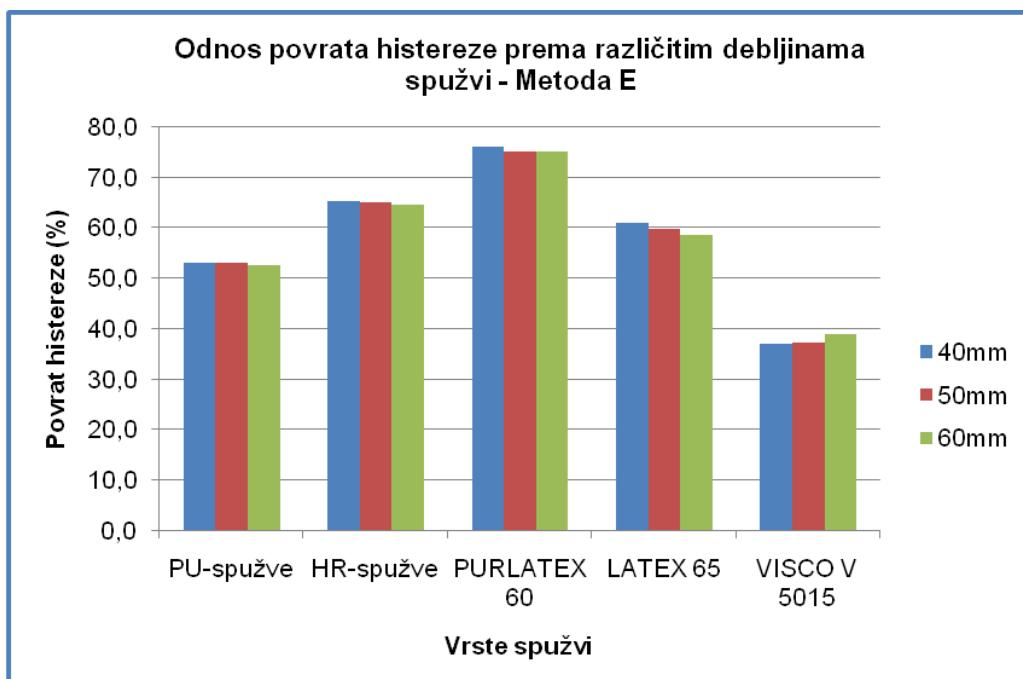
S12 (VISCO V 5015) gdje pada, ali ujedno taj uzorak ima najveću histerezu. Uzorci s najmanjom histerezom su S7 (CELLPUR R 5225) i S10 (PURLATEX 60).

U tablici 10. prikazane su vrijednosti dobivene mjerjenjem mehaničkih svojstava i to za svaki uzorak spužve posebno. U nastavku je grafički prikaz odnosa triju debljina i indeksa udobnosti za sve vrste ispitivanih spužvi. Valja napomenuti da je za poliuretanske i HR spužve uzeta srednja vrijednost indeksa udobnosti za sve tri debljine te na takav način uspoređivana s ostalim spužvama.



Slika 58. Grafički prikaz utjecaja različitih debljina i vrsta uzorka spužvi na indeks udobnosti prema normi ISO 2349

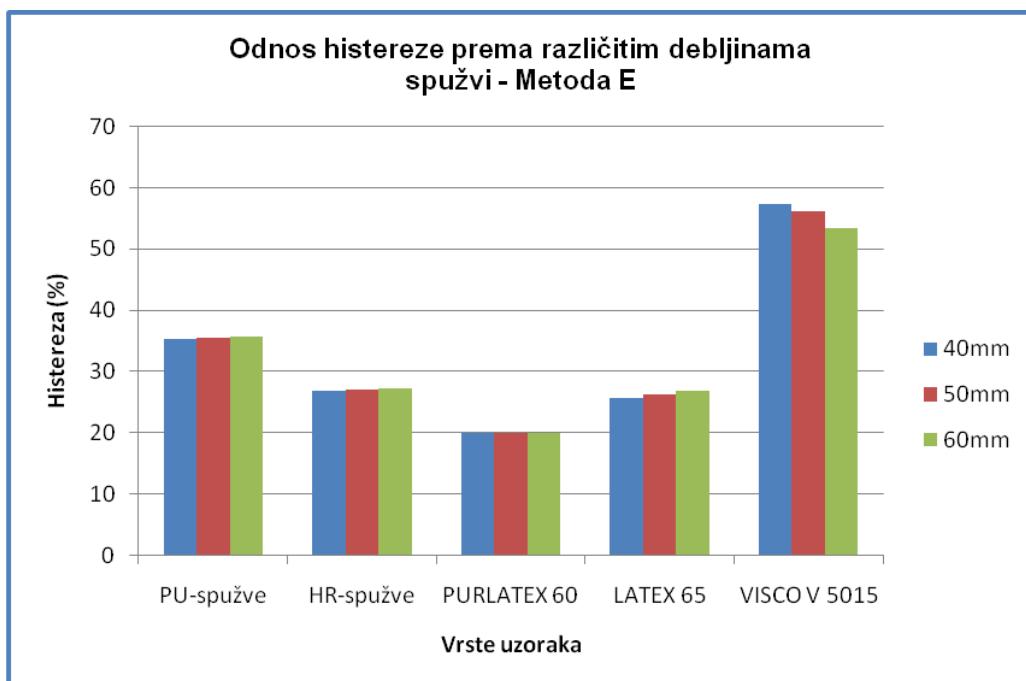
Analizom odnosa indeksa udobnosti prema različitim debljinama, uočljivo je da se indeks udobnosti ne mijenja s porastom debljine uzorka. Jedino kod uzorka LATEX 65, koji bilježi lagani porast indeksa udobnosti s porastom debljine. Razlog zbog čega LATEX 65 tako visoko odstupa od ostalih spužvi je njegova linearna karakteristika elastičnosti. PU spužve i VISCO V 5015 pokazale su najmanje koeficijente udobnosti, a zatim ih slijede HR spužve i PURLATEX 60.



Slika 59. Grafički prikaz utjecaja različitih debljina i vrsta uzoraka sružvi na povrat histereze prema normi ISO 2349

Povrat histereze je pokazatelj relativne tvrdoće, odnosno koliko se postroj sružva uspjela oporaviti nakon tlačenja, a s obzirom na početno stanje. Ispitivanje mehaničkih svojstava sružvi pokazalo je da debljina uzorka utječe na vrijednosti povrata histereze. Ako se povećava debljina uzorka, povrat histereze se smanjuje—što nije dobro, osim kod VISCO V 5015 gdje se povrat histereze povećava. Iz ove činjenice može se zaključiti da se uporabom debljih visco-sružvi u sjedalima (u ovom slučaju VISCO V 5015) postižu bolji iznosi povrata histereze.

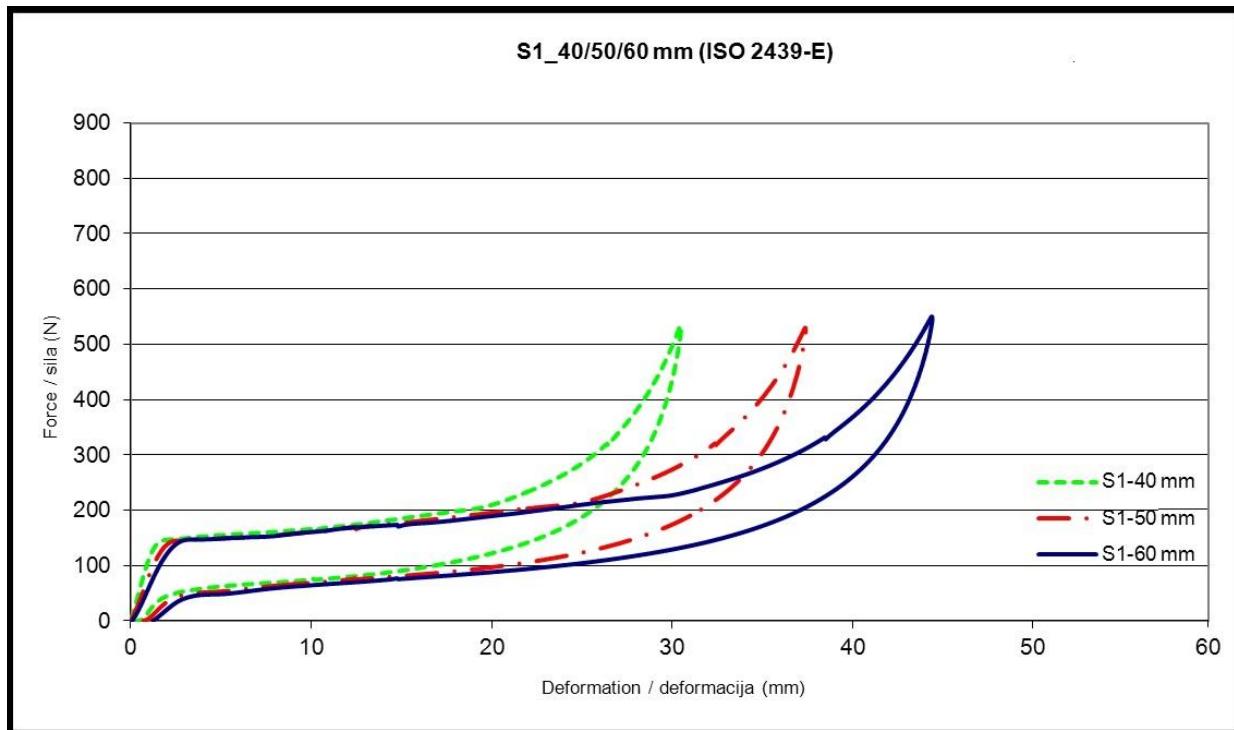
Histereza je omjer površina ispod krivulja opterećenja i rasterećenja pri djelovanju sile. Razlika tih površina predstavlja energiju koja se javlja u obliku topline i koja se neprestano gubi. Histereza se izražava postotkom i što su manje vrijednosti postotka gubitka histereze, to je veći stupanj doživljene udobnosti, odnosno manje je bolje. Grafikon na slici 60. prikazuje utječe li debljina na povećanje ili na smanjenje histereze.



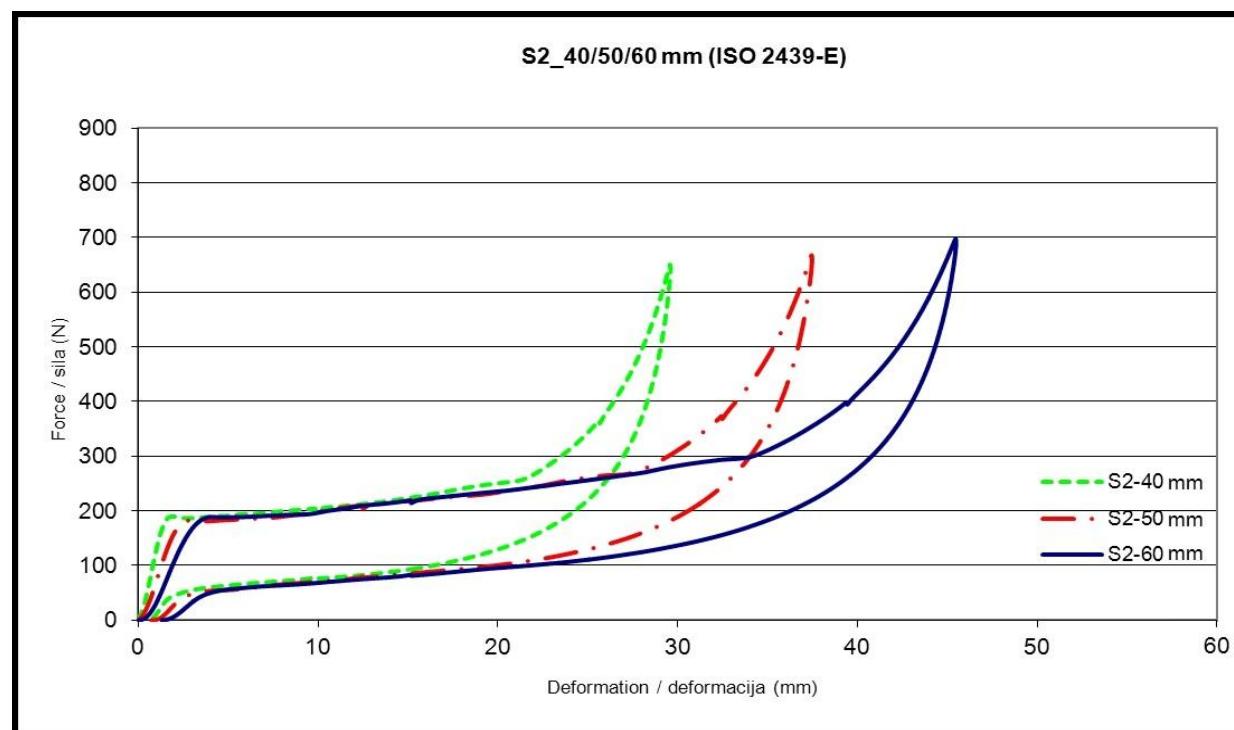
Slika 60. Grafički prikaz utjecaja različitih debljina i vrsta uzorka spužvi na histerezu prema normi ISO 2349

Kao što je već rečeno debljina uzorka utječe na vrijednosti histereze. S porastom debljine na uzorcima PU-spužvi, HR-spužvi i LATEX 65, dolazi do povećanja histereze (što nije dobro), a na uzorku VISCO V 5015 porast debljine smanjuje histerezu. Uzorak PURLATEX 60 ne mijenja vrijednost histereze s porastom debljine. Kao što se moglo naslutiti, spužva VISCO V 5015 ima najveći gubitak histereze, a to je upravo dokazano.

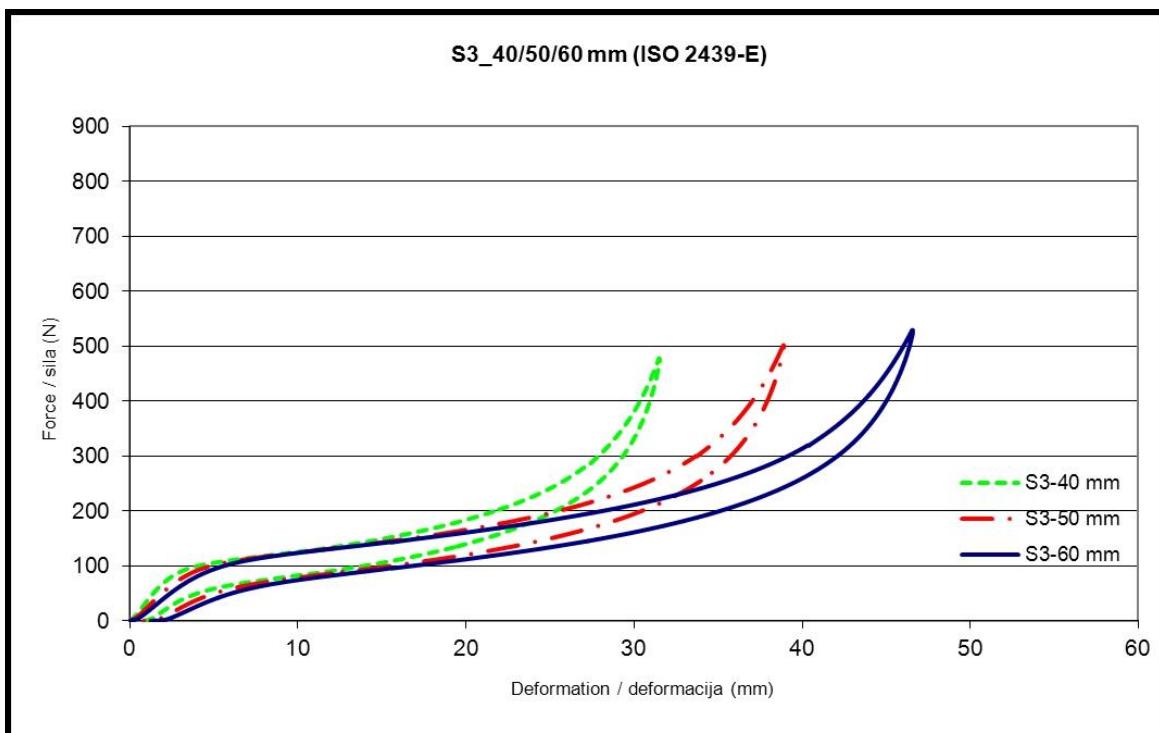
Grafički prikazi mjerjenja IFD testom za svaki uzorak i debljinu nalaze se u nastavku.



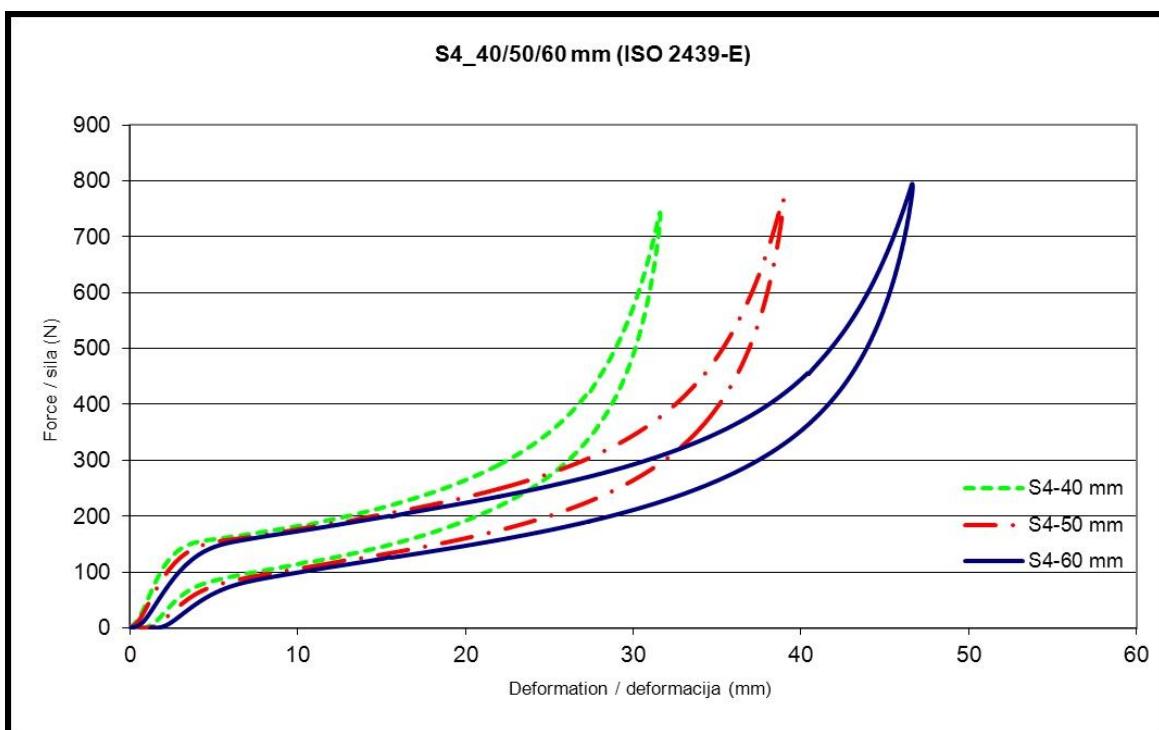
Slika 61. Grafički prikaz mjerena IFD testom Metodom E, za tri debljine na uzorku PU spužve PN2534



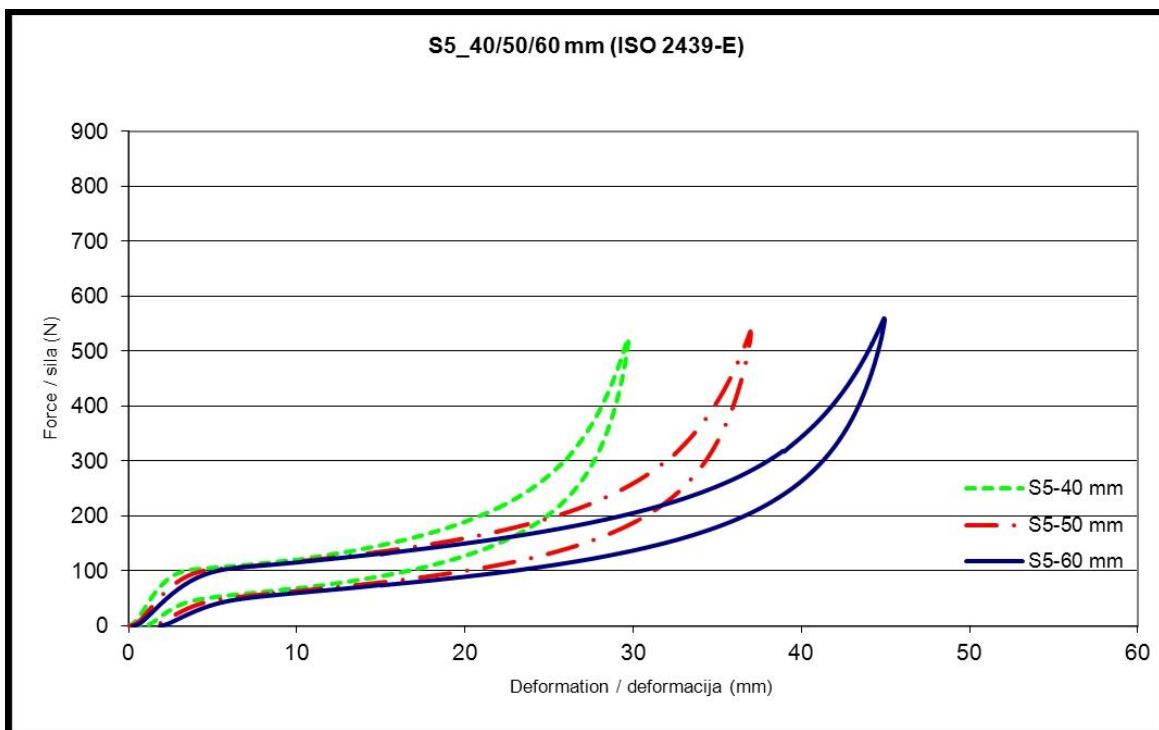
Slika 62. Grafički prikaz mjerena IFD testom Metodom E, za tri debljine na uzorku PU spužve PN3038



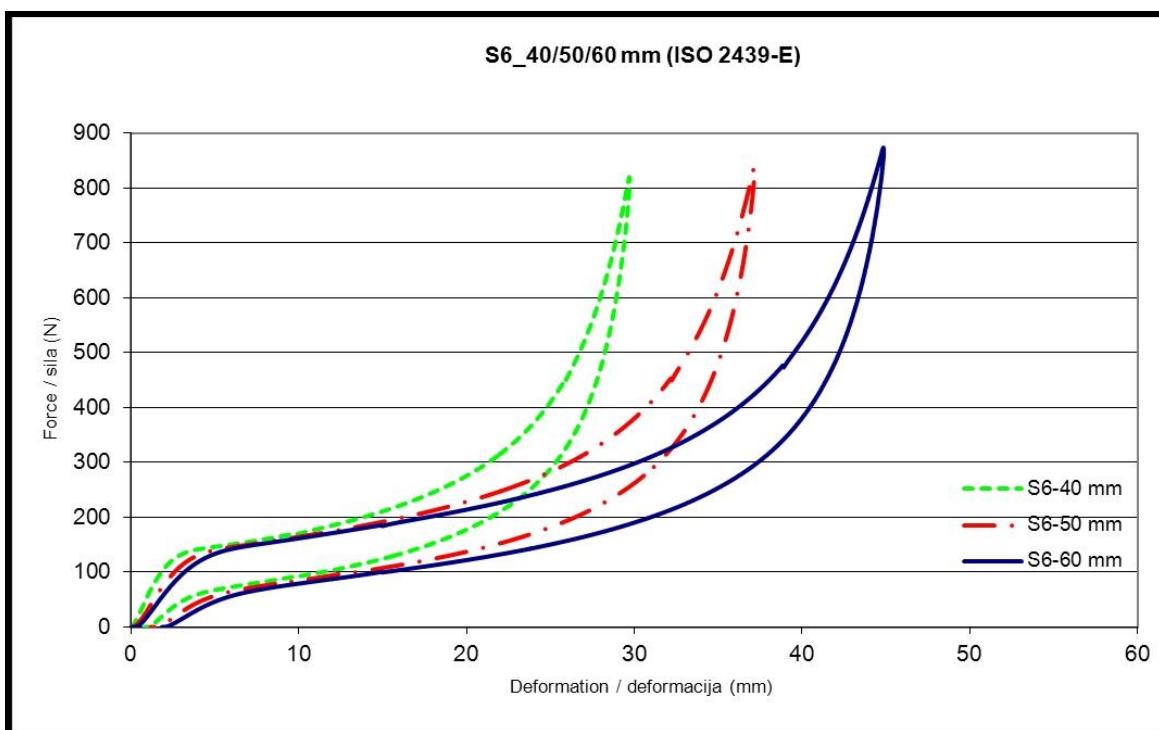
Slika 63. Grafički prikaz mjerena IFD testom Metodom E, za tri debljine na uzorku PU spužve VAPEN S 3534



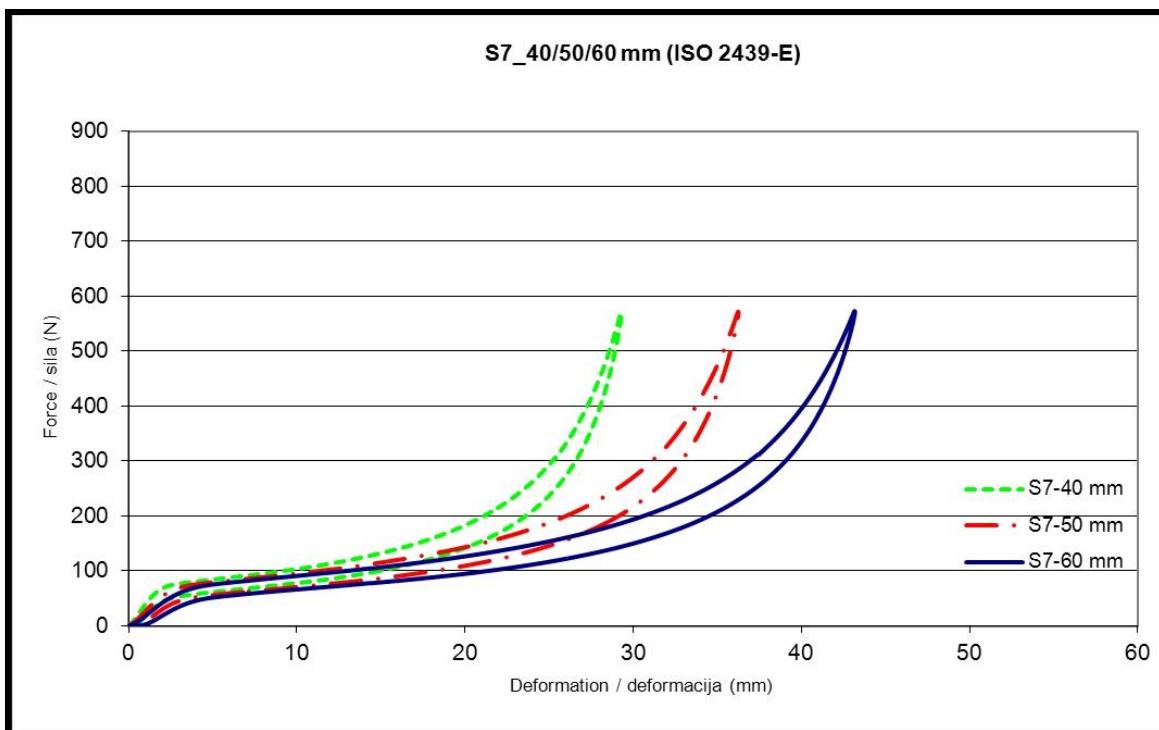
Slika 64. Grafički prikaz mjerena IFD testom Metodom E, za tri debljine na uzorku PU spužve PT 4048



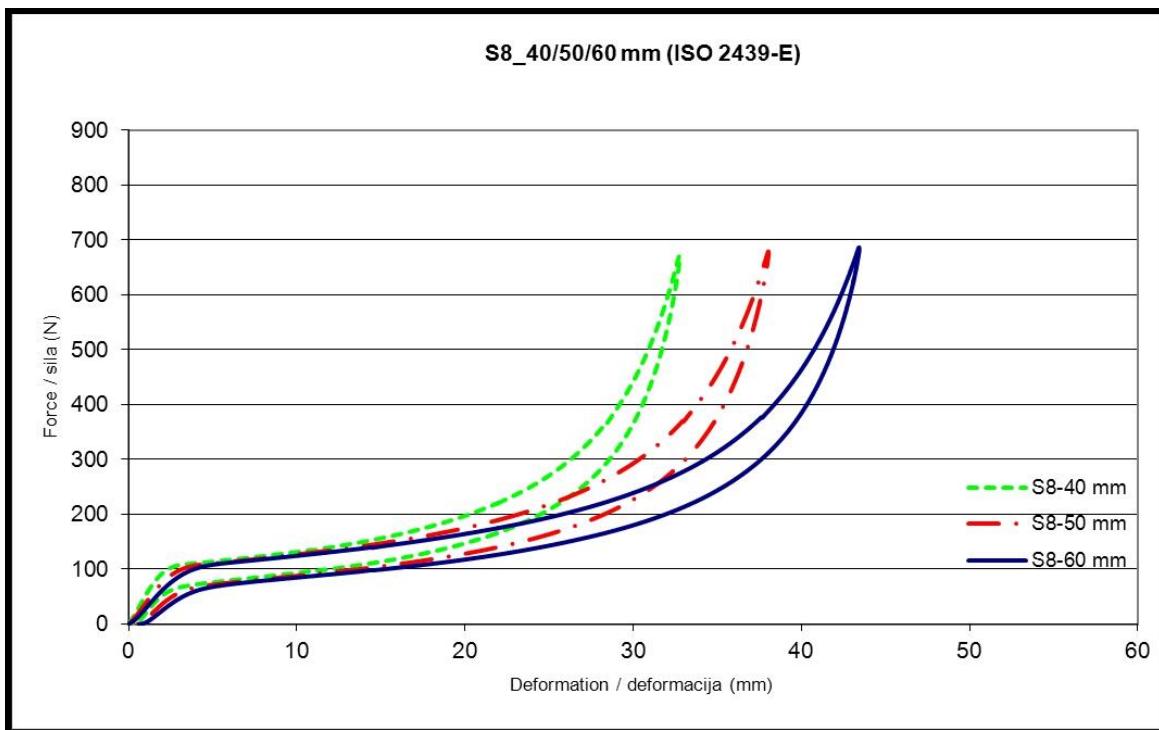
Slika 65. Grafički prikaz mjerjenja IFD testom Metodom E, za tri debljine na uzorku HR 3028



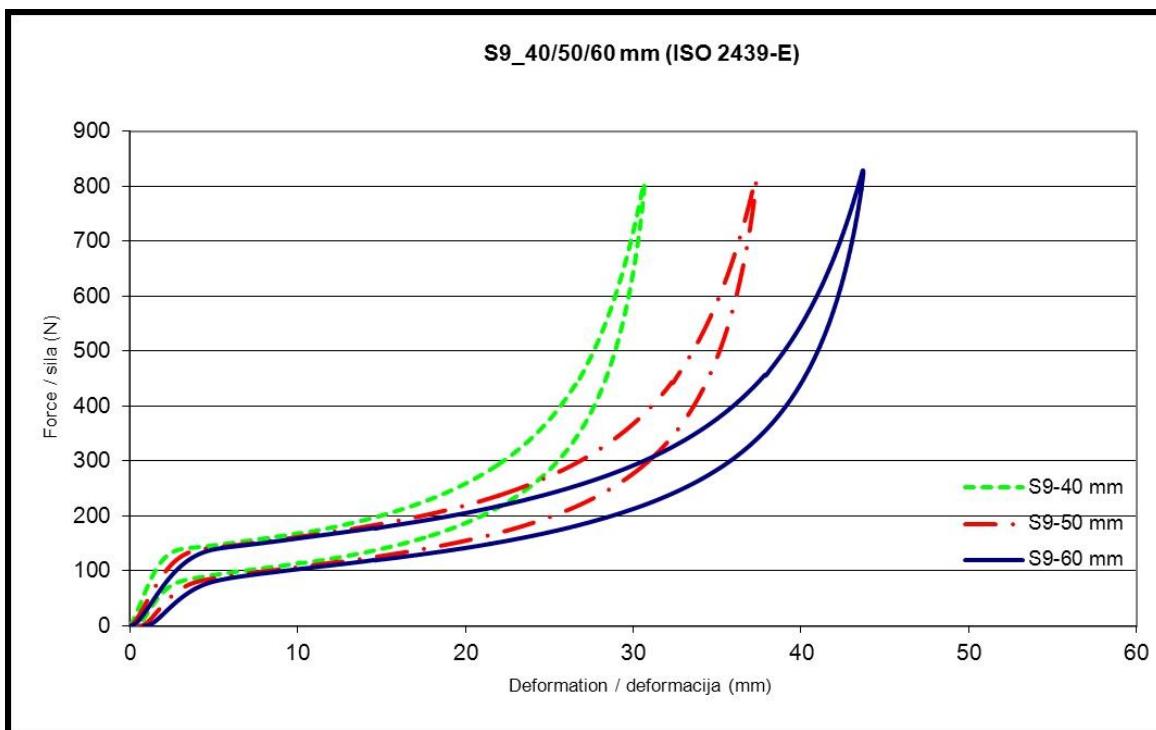
Slika 66. Grafički prikaz mjerjenja IFD testom Metodom E, za tri debljine na uzorku HR 3536



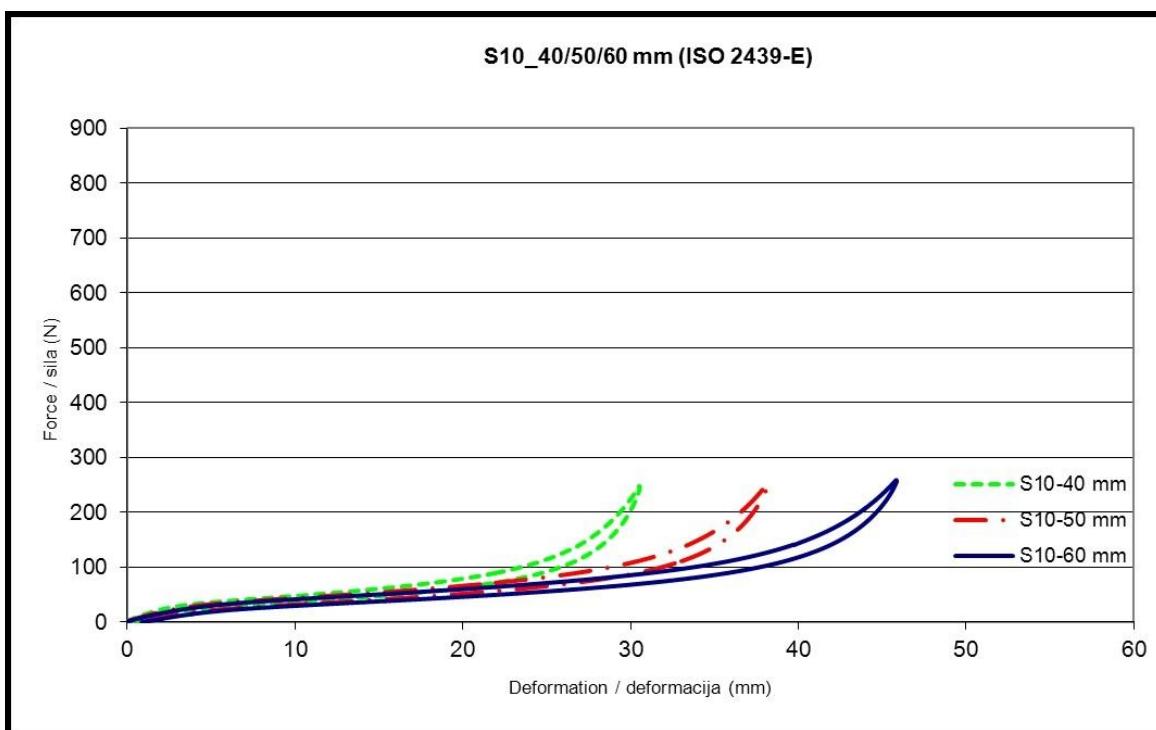
Slika 67. Grafički prikaz mjerena IFD testom Metodom E, za tri debljine na uzorku CELLPUR R 5225



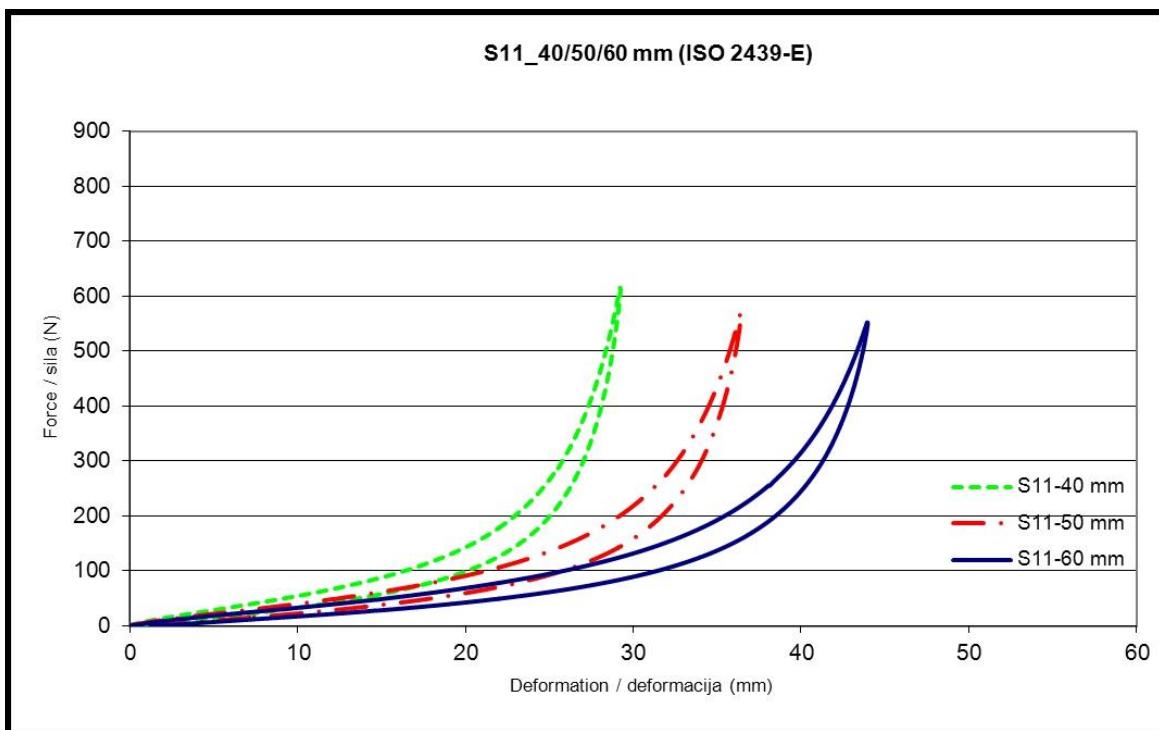
Slika 68. Grafički prikaz mjerena IFD testom Metodom E, za tri debljine na uzorku CELLPUR R 5235



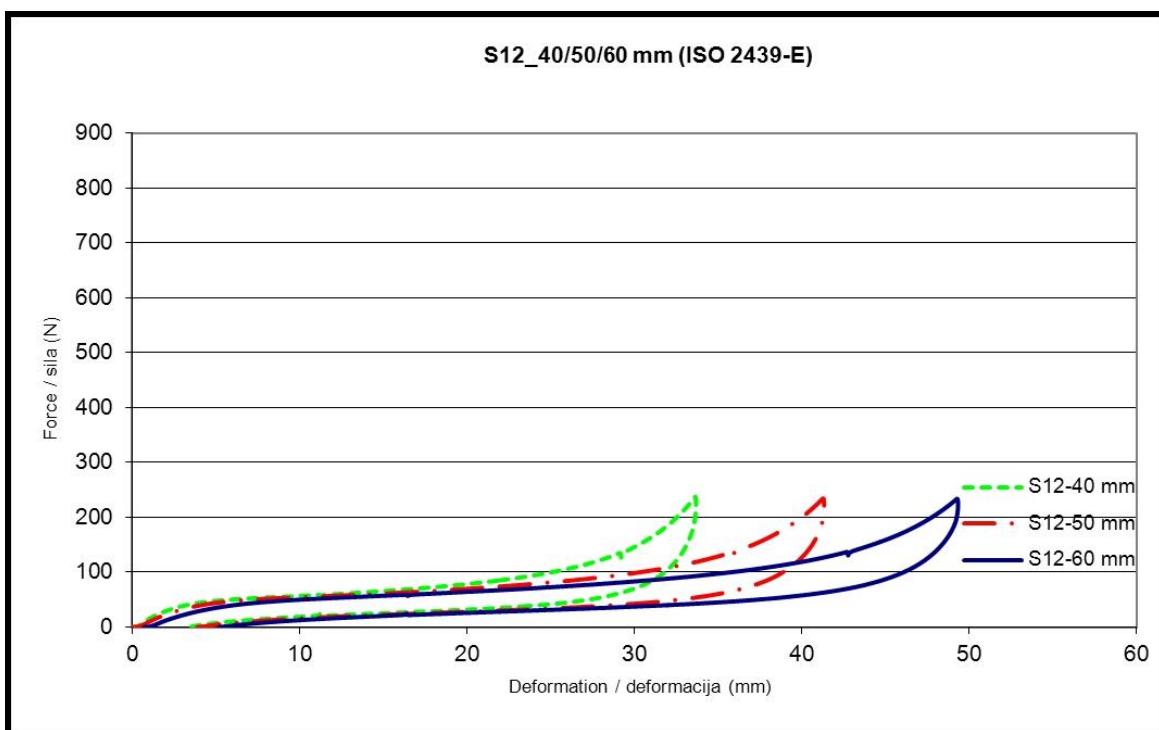
Slika 69. Grafički prikaz mjerjenja IFD testom Metodom E, za tri debljine na uzorku CELLPUR R 5245



Slika 70. Grafički prikaz mjerjenja IFD testom Metodom E, za tri debljine na uzorku PURLATEX 60



Slika 71. Grafički prikaz mjerjenja IFD testom Metodom E, za tri debljine na uzorku LATEX 65



Slika 72. Grafički prikaz mjerjenja IFD testom Metodom E, za tri debljine na uzorku VISCO V 5015

Kod svih uzoraka, u početnom dijelu krivulje, u dijelu proporcionalnosti, može se reći da s povećanjem debljine uzoraka, kut nagiba krivulje se smanjuje što ukazuje na postupnu mekoću materijala.

5.5. Rezultati kombinacije više vrsta uzoraka spužvi

Kombinacijom više vrsta uzoraka pokušalo se dobiti konstrukciju sjedala koja bi dala bolja svojstva udobnosti, nosivosti i trajnosti. Ukupno je izrađeno šest konstrukcija od četiri odabrane vrste uzoraka. Vrste uzoraka koje su korištene u izradi konstrukcija jesu: VAPEN S 3545, CELLPUR R 5535, LATEX 65 i VISCO V 5015. Svaka konstrukcija izrađena je od tri sloja različitih vrsta spužvi debljina 20 milimetara (20+20+20mm). Širina i dužina konstrukcija iznosi 39×39 cm, a slojevi zbog mogućnosti kombiniranja i stvaranja novih konstrukcija nisu međusobno slijepljeni. Sve kombinacije ispitane su prema normi ISO 2439 po Metodi E. Ukupni rezultati izmjerenih vrijednosti dani su u tablici 12.

Tablica 11 prikazuje kombinacije uzoraka i nazive spužvi koje su se ispitivale, pri tome su spužve 1, 2 i 3 činile grupu 1, a spužve 4, 5 i 6 grupu 2.

Tablica 10. Prikaz kombinacija uzoraka i naziva spužvi

	Redni broj	Debljina [mm]	Kombinacije uzoraka	Nazivi spužvi		
Grupa 1	1	60	S3-A1_S11-A2_S8-A2	VAPEN S 3545	LATEX 65	CELLPUR R 5535
	2	60	S8-A2_S3-A1_S11-A2	CELLPUR R 5535	VAPEN S 3545	LATEX 65
	3	60	S11-A2_S8-A2_S3-A1	LATEX 65	CELLPUR R 5535	VAPEN S 3545
Grupa 2	4	60	S8-A2_S12-A2_S11-A2	CELLPUR R 5535	VISCO V 5015	LATEX 65
	5	60	S11-A2_S8-A2_S12-A2	LATEX 65	CELLPUR R 5535	VISCO V 5015
	6	60	S12-A2_S11-A2_S8-A2	VISCO 5015	LATEX 65	CELLPUR R 5535

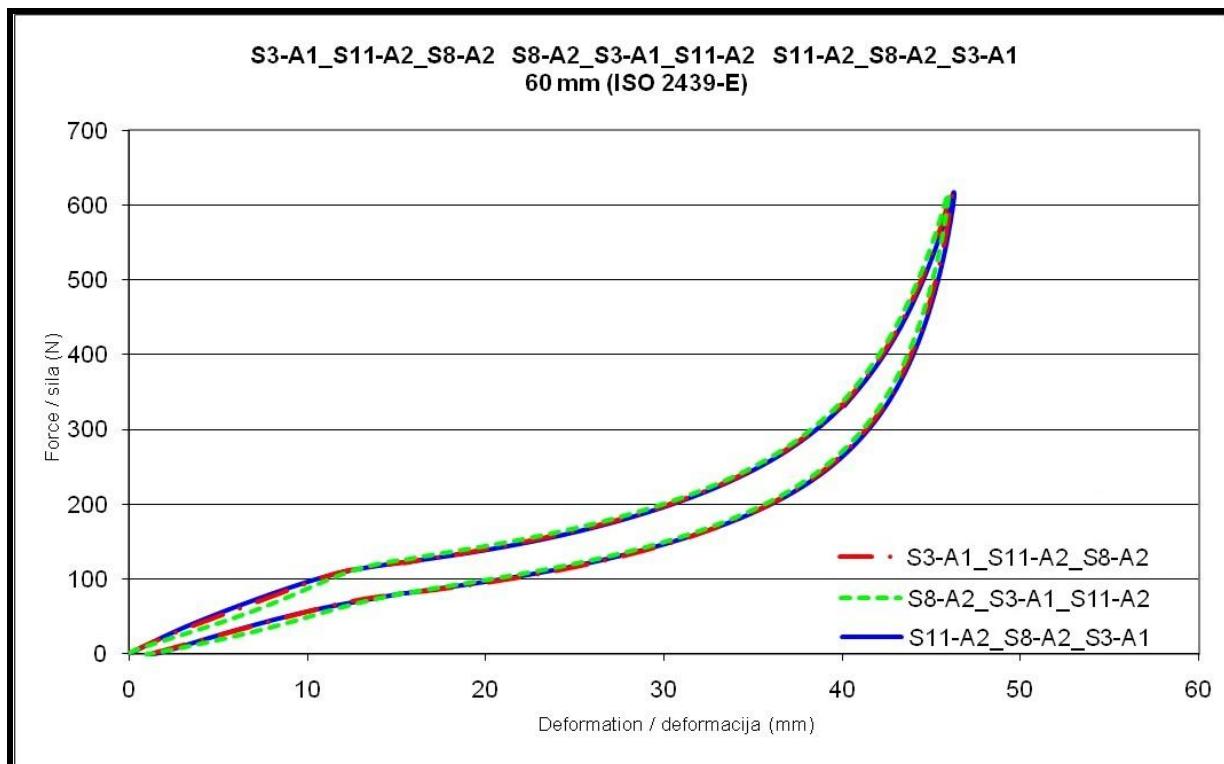
Tablica 11. Izmjerene vrijednosti kombinacija više vrsta uzoraka pomoću IFD testa za mehanička svojstva prema Metodi E

	Uzorci	$h_0[\text{mm}]$	$hE_{025\%}[\text{mm}]$	$hE_{065\%}[\text{mm}]$	$hE_{075\%}[\text{mm}]$	$hE_{r25\%}[\text{mm}]$	$HE_{025\%}[\text{N}]$	$HE_{065\%}[\text{N}]$	$HE_{075\%}[\text{N}]$	$HE_{r25\%}[\text{N}]$	Rec-E[%]	Indeks-E	Hyst-E[%]
Grupa 1	S3-A1_S11-A2_S8-A2	61,3	15,2	39,8	46,0	15,3	122,7	333,9	618,3	81,2	66,2	2,7	24,5
	S8-A2_S3-A1_S11-A2	61,0	15,2	39,7	45,8	15,2	126,2	333,7	616,6	81,1	64,3	2,6	24,3
	S11-A2_S8-A2_S3-A1	61,3	15,1	39,8	46,0	15,2	122,9	333,4	617,4	81,4	66,2	2,7	24,3
Grupa 2	S8-A2_S12-A2_S11-A2	60,9	15,1	39,6	45,7	15,2	74,1	268,1	501,7	25,7	34,7	3,6	34,2
	S11-A2_S8-A2_S12-A2	61,2	15,1	39,7	45,8	15,1	70,4	261,8	497,3	21,1	30,0	3,7	34,7
	S12-A2_S11-A2_S8-A2	61,1	15,2	39,8	45,9	15,3	85,4	260,5	493,4	39,2	45,9	3,1	33,0
Legenda:		h0[mm] – početna visina, hE _{025%} [mm] – visina uzorka na 25% deformacije pri opterećenju, hE _{065%} [mm] – visina uzorka na 65% deformacije pri opterećenju, hE _{075%} [mm] – visina uzorka na 75% deformacije pri opterećenju, hE _{r25%} [mm] – visina uzorka na 25% deformacije pri rasterećenju, HE _{025%} [N] – izmjerena tvrdoča na 25% deformacije pri opterećenju, HE _{065%} [N] – izmjerena tvrdoča na 65% deformacije pri opterećenju, HE _{075%} [N] – izmjerena tvrdoča na 75% deformacije pri opterećenju, HE _{r25%} [N] – izmjerena tvrdoča na 25% deformacije pri rasterećenju, Rec-E[%] – povrat histereze, Indeks-E – indeks udobnosti za Metodu E, Hyst-E[%] – histereza											

Grupa 1. Iz dobivenih rezultata vidljivo je da nema prevelikih razlika između triju kombinacija u usporedbi s tvrdoćom pri 25% i 65% IFD-a. Pregledom rezultata povrata histereze, indeksa udobnosti i histereze postoji mala razlika u usporedbi kombinacije S8-A2_S3-A1_S11-A2 (CELLPUR R 5535 – VAPEN S 3545 – LATEX 65) s preostalim dvjema kombinacijama, pri čemu takva kombinacija sružvi daje nešto niže vrijednost. Općenito gledano, sve tri kombinacije postižu veoma poželjne vrijednosti indeksa udobnosti, povrata histereze i histereze. Razlog tako dobrih postignutih rezultata može se pripisati izborom lateks sružve i njegovih svojstava. Najbolja svojstva za izradu konstrukcije sjedala proizlazi iz kombinacije S11-A2_S8-A2_S3-A1 (LATEX 65 – CELLPUR R 5535 – VAPEN S 3545).

Grupa 2. Iz rezultata je uočljiva mala vrijednost tvrdoće pri opterećenju na 25% IFD-a na sve tri kombinacije, a razlog tomu je uporaba LATEX 65 i VISCO V 5015 sružve. Produkt velike razlike između tvrdoće pri opterećenju na 25% i 65% IFD-a je velika vrijednost indeksa udobnosti. Kombinacija S11-A2_S8-A2_S12-A2 (LATEX 65 – CELLPUR R 5535 – VISCO V 5015) ima u usporedbi s preostalim kombinacijama najveći indeks udobnosti, ali zato najmanji postotak povrata histereze i najveći postotak histereze. Analizom triju kombinacija najbolja svojstva pokazala je kombinacija S12-

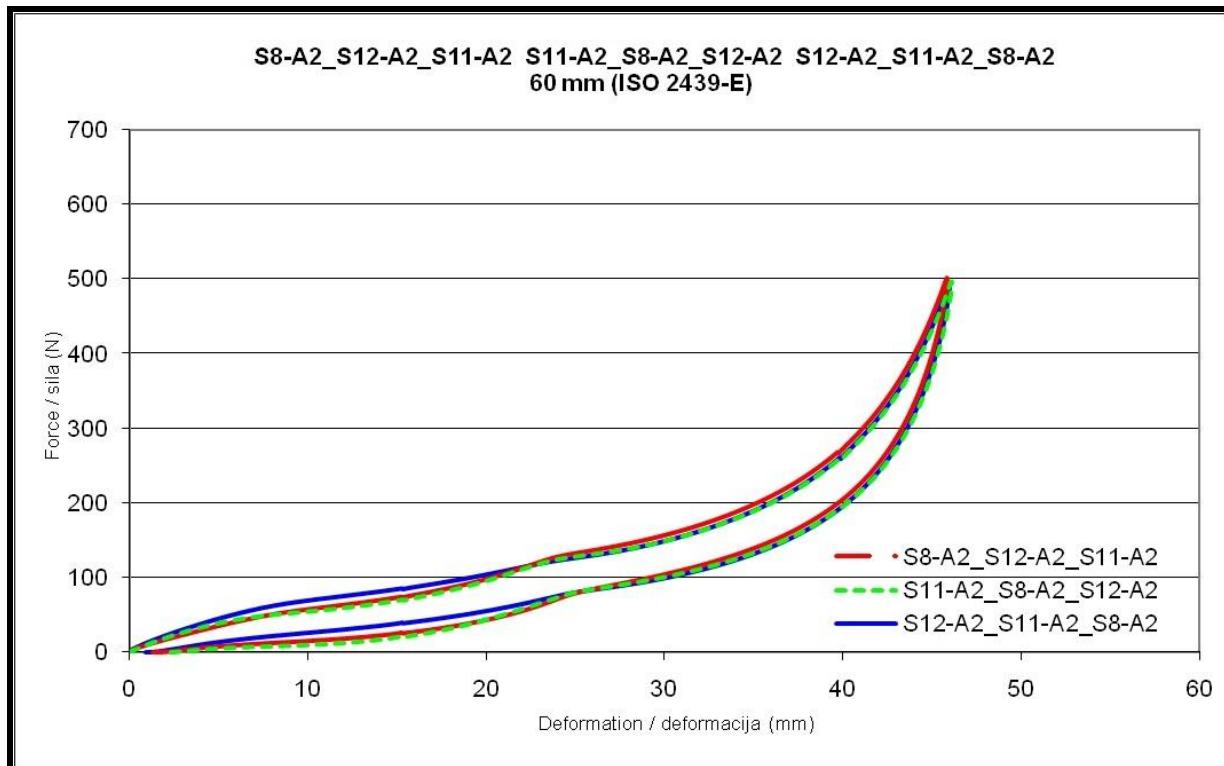
A2_S11-A2_S8-A2 (VISCO V 5015 – LATEX 65 – CELLPUR R 5235), jer ima najviši postotak povrata histereze, zatim najmanji postotak iznosa histereze i veoma dobar indeks udobnosti od 3,1, s obzirom da većina spužvi ima indeks udobnosti 1,7 – 3,0.⁵¹



Slika 73. Grafički prikaz mjerjenja kombinacija IFD testom Metodom E, za uzorke S3 – VAPEN S 3534, S8 – CELLPUR R 5235 i S11 – LATEX 65

Iz grafičkog prikaza (slika 73) vidljivo je da nema većih razlika između kombinacija, osim u početnom dijelu krivulje gdje kombinacija uzorka S8-A2_S3-A1_S11-A2 (CELLPUR R 5235 – VAPEN S 3534 – LATEX 65) ima manji nagib i time manju tvrdoću. Preostale dvije kombinacije imaju potpuno iste krivulje te ujedno veću početnu tvrdoću s obzirom na kombinaciju uzorka S8-A2_S3-A1_S11-A2 (CELLPUR R 5235 – VAPEN S 3534 – LATEX 65).

⁵¹ *** (1997): Joint industry foam standard and guidelines, Polyurethane Foam Association, Loudon USA, str. 22.



Slika 74. Grafički prikaz mjerjenja kombinacija IFD testom Metodom E, za uzorke S8 – CELLPUR R 5235, S11 – LATEX 65 i S12 – VISCO V 5015

Razlike između kombinacija S8-A2_S12-A2_S11-A2 (CELLPUR R 5235 – VISCO V 5015 – LATEX 65) i S11-A2_S8-A2_S12-A2 (LATEX 65 – CELLPUR R 5235 – VISCO V 5015) gotovo da i ne postoje. Razlika postoji kod kombinacije S12-A2_S11-A2_S8-A2 (VISCO V 5015 – LATEX 65 – CELLPUR R 5235) i to u početnom dijelu krivulje, gdje ta kombinacija ima nešto veću tvrdoću.

6. ZAKLJUČAK

Istraživanje fizikalnih i mehaničkih svojstava različitih spužvi ima za cilj pronaći poveznicu između različitih debljina i utjecaja na udobnost. Na temelju dobivenih rezultata pokušat će se donijeti zaključci i odgovoriti koja spužva ima bolja svojstva, a koja lošija. Zaključci će biti navedeni u nastavku na način da će se raspravljati prema normi ISO 2439, o svakoj metodi ispitivanja zasebno.

Zaključci na temelju Metode A

Metoda A je postupak kojim se određuje tvrdoća u svrhu laboratorijskog ispitivanja. Rezultati istraživanja pokazali su da debljina uzorka bitno utječe na tvrdoću spužvi. Ako se poveća debljina spužve povećava se i tvrdoća. PU spužve zajedno s HR spužvama spadaju u najtvrdje spužve, dok VISCO V 5015 te PURATEX 60 spadaju u najmekše. Spužva LATEX 65 spada u srednji razred tvrdoće.

Zaključci na temelju Metode B

Prema Metodi B ispitana je tvrdoća uzorka i određen je indeks udobnosti (*support factor*) pri utiskivanju (deformaciji) na 25%, 40% i 65% početne debljine uzorka. S obzirom na rezultate, također je dokazano da s porastom debljine uzorka tvrdoća pri 25, 40 i 65% deformacije raste. Najveća tvrdoća je kod PU i HR spužvi, dok najmanju ima VISCO V 5015 spužva. Nadalje s povećanjem debljina spužvi indeks udobnosti se povećava, ali veoma malo.

Zaključci na temelju Metode C

Određivanje tvrdoće (*hardness*) pri 40% utiskivanja prema metodi C je zapravo brzi postupak za provjeru kvalitete. Na uzorcima PU, HR i VISCO V 5015 spužvi, s porastom debljine raste i tvrdoća, dok kod LATEX 65 tvrdoća se smanjuje.

Zaključci na temelju Metode E

Prema metodi E iz norme ISO 2439 određuje se koeficijent deformacije uslijed utiskivanja pritisnog tijela, zatim povrat histereze (*hysteresis return*) koji je pokazatelj relativne tvrdoće, odnosno koliko se postotaka spužva uspjela oporaviti nakon pritiskivanja s obzirom na početno stanje, te vrijednost histereze (*hysteresis loss*) što daje dodatnu informaciju o svojstvima nosivosti spužve. Indeks udobnosti se ne mijenja s porastom debljine uzorka spužvi, međutim, povrat histereze se smanjuje ako se

debljina povećava. Utjecaj povećanja debljine uzorka na iznos histereze je takav da histereza raste.

Zaključci na temelju kombinacija više vrsta spužvi prema Metodi E

Općenito gledano, sve tri kombinacije za grupu 1 postižu veoma poželjne vrijednosti indeksa udobnosti, povrata histereze i histereze, s time da nema značajnih promjena u različitim rasporedima slojeva.

U različitim rasporedima slojeva kod uzorka S8-A2_S12-A2_S11-A2 i S11-A2_S8-A2_S12-A2 za grupu 2 nema značajnih promjena. Međutim, u usporedbi tih dviju kombinacija s kombinacijom S12-A2_S11-A2_S8-A2 dolazi do značajnih razlika u histerezi, indeksu udobnosti i povratu histereze.

U kombiniranju različitih vrsta spužvi da bi se dobila konstrukcija dobrih svojstava treba biti veoma pažljiv, jer ako povećamo indeks udobnosti takve konstrukcije sigurno je da će se histereza i povrat histereze umanjiti. Takovim kombiniranjem zasigurno ćemo dobiti puno bolja svojstva nego da koristimo samo jednu vrstu spužve, ali jedno je sigurno - ne postoji idealna spužva.

LITERATURA

1. Anić, V. (2004): Veliki rječnik hrvatskoga jezika, Novi liber, Zagreb.
2. De Looze, M.P., Kujit-Evers, L.F.M., van Dieen, J. (2003): Sitting comfort and discomfort and the relationships with objective measures, Ergonomics, 46 (10), str. 985-997.
3. Grbac, I. (2006): Krevet i zdravlje, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zagreb.
4. Grbac, I., Ivelić, Ž. (2005): Ojastučeni namještaj, Sveučilište u Zagrebu – Šumarski fakultet, Akademija šumarskih znanosti, Zagreb.
5. Klempner, D., Sendijarevic, V. (2004): Handbook of polymeric foams and foam technology, Second edition, Carl Hanser Verlag, München.
6. Perali, L. (1998): Ergonomics of the chairs, Published on Promosedia, December 1998, Udine, Italy.
7. Ridha, M. (2007.): Mechanical and failure properties of rigid polyurethane foam under tension, National University of Singapore, Singapore.
8. Vlaović, Z. (2009): Činitelji udobnosti uredskih stolica, disertacija, Šumarski fakultet Zagreb.
9. *** (1991): InTouch, Information on flexible polyurethane foam, Vol. 1 (1), Polyurethane Foam Association, Inc., Wayne, NJ, USA.
10. *** (1994): InTouch, Information on flexible polyurethane foam, Vol. 4 (3), Polyurethane Foam Association, Inc., Wayne, NJ, USA.
11. *** (2003): InTouch, Information on flexible polyurethane foam, Vol. 11 (1), Polyurethane Foam Association, Inc., Wayne, NJ, USA.

- 12.*** (1993): InTouch, Information on flexible polyurethane foam, Vol. 3 (1), Polyurethane Foam Association, Inc., Wayne, NJ, USA.
- 13.*** (1991): InTouch, Information on flexible polyurethane foam, Vol. 1 (2), Polyurethane Foam Association, Inc., Wayne, NJ, USA.
- 14.*** (2000): InTouch, Information on flexible polyurethane foam: Vol. 8 (1), Polyurethane Foam Association, Inc., Wayne, NJ, USA.
- 15.*** (2008): ISO 2439 Flexible cellular polymeric materials – Determination of hardness (indentation technique), International Standards Organisation, Geneva.
- 16.*** (1988): ISO 845 Cellular plastics and rubbers – Determination of apparent (bulk) density, International Standards Organisation, Geneva.
- 17.*** (1997): Joint industry foam standard and guidelines, Polyurethane Foam Association, Loudon USA.

WWW izvori:

- URL:http://media.wiley.com/product_data/excerpt/18/04708504/0470850418.pdf
(17.04.2012.).
- URL: <http://www.delibasic-poliuretani.ba/stranica/informacije> (16.07.2012.).
- URL: <http://www.dominion-oprema.com/index.php/onama.html> (06.08.2012.).
- URL: <http://www.chymist.com/polyurethane.pdf> (07.07.2012.)