

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ŠPORT

DIPLOMSKO DELO

SAŠO JARC

Ljubljana, 2012

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ŠPORT

Športno treniranje
Alpsko smučanje

OSNOVNI MEHANSKI PARAMETRI STORITEV SLOVENSKE ŠOLE ALPSKEGA SMUČANJA

DIPLOMSKO DELO

MENTOR

izr. prof. dr. Matej Supej

SOMENTOR

doc. dr. Blaž Lešnik

RECENZENT

prof. dr. Milan Žvan

Avtor dela

SAŠO JARC

Ljubljana, 2012

ZAHVALA

Staršem, ki so mi omogočili študij na Fakulteti za šport.

*Življenjski sopotnici in sinovoma za podporo ter potrpežljivost v času pisanja
diplomskega dela.*

Dr. Blažu Lešniku in dr. Mateju Supeju. Brez vaju tega dela ne bi bilo.

Ključne besede: šola smučanja, osnovne storitve, mehanski parametri

OSNOVNI MEHANSKI PARAMETRI STORITEV SLOVENSKE ŠOLE ALPSKEGA SMUČANJA

Sašo Jarc

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, 2012

Športno treniranje, alpsko smučanja

Strani 177 ; preglednic 15; diagramov 33 ; število virov 11 ; število prilog 226.

IZVLEČEK

V zadnjih 15. letih sta se oprema in tehnika alpskega smučanja močno spremenili. Tem spremembam je sledila tudi slovenska šola alpskega smučanja. V diplomskem delu so na kratko predstavljene osnovne storitve šole smučanja ter glavne spremembe v tehniki in opremi alpskega smučanja. Na področju tekmovalnega smučanja je bilo opravljenih že veliko meritev na področju biomehanike, ni pa jih zaslediti na področju šole smučanja. Zato smo se odločili preveriti ali je le-ta pravilno zastavljena in če sledi didaktičnim načelom postopnosti in varnosti. S pomočjo meritev smo ugotavljali tudi, če prihaja do razlik med demonstratorji pri izvajanju osnovnih storitev uradne slovenske nacionalne šole smučanja. V diplomskem delu so opisani postopki, s katerimi smo preverili zastavljena problema. Za kriterije smo uporabili osnovne mehanske parametre (hitrost, sile, energijske izgube), ki smo jih pridobili preko video posnetkov in meritev z visoko ločljivim globalnim satelitskim navigacijskim sistemom (RTK GNSS), nastalih v Kranjski Gori. Merjenci so nosili RTK GNSS napravo s pomočjo katere smo pridobili podatke, ki smo jih obdelali na osnovi linearne aproksimacije in kubične spline interpolacije. Rezultati hitrosti, sil ter energijskih izgub so za vsako storitev posebej prikazani v tabelah in diagramih. Glede na dobljene vrednosti smo elemente šole smučanja primerjali med seboj. Z vsako nadaljno storitvijo so se vrednosti parametrov višale in prišli smo do zaključka, da šola smučanja sledi načelom postopnosti in varnosti. Med demonstratorji sicer prihaja do razlik pri posameznih storitvah (različna smučarska oprema), je pa pri vseh opaziti vzorec večanja velikosti mehanskih parametrov, s stopnjevanjem težavnosti storitev.

Key words: ski school, basic elements, mechanical parameters

BASIC MECHANICAL PARAMETERS OF ELEMENTS IN THE SLOVENIAN ALPINE SKIING SCHOOL

Sašo Jarc

University of Ljubljana, Faculty of sport, 2012

Sport training, alpine skiing

Pages 177 ; Tables 15 ; Diagrams 33 ; References 11 ; Enclosure 226 .

ABSTRACT

In the last 15 years the equipment and technology of alpine skiing have changed significantly. This change was followed by a Slovenian school of alpine skiing. This study outlines the basic elements of ski school and major changes in technology and equipment of alpine skiing. In the field of competitive skiing was a lot of biomechanics measurements, but not in ski school. However, since we wanted to know whether the ski school is properly followed in didactic principle of gradual and security, we check if this is so. With the help of measurements were also checked if there are differences between the demonstrators in implementation of basic elements of official Slovenian national ski school. This study describes the procedures by which we checked the problem. For the criteria we used the basic mechanic parameters (speed, force, energy loss). We have gained them through video clips and measurements with high resolution Global Navigation Satellite System (GNSS RTK), created in Kranjska Gora. Measurand carried the RTK GNSS device from which we obtained data. We have process the data with linear approximation and the cubic spline interpolation. Results for speed, forces and energy loss for individual elements are separately shown in tables and diagrams. Based on the data we compared elements of ski school between themselves. With each additional element the values of parameters increased, so we have come to the conclusion that the ski school follows the principle of gradual and security. Among the demonstrators are differences in the individual elements (various ski equipment), but we can see the pattern of increasing size of the mechanical parameters, with the escalation of difficulty of elements.

KAZALO

1. UVOD	9
2. PREDMET IN PROBLEM	14
2.1. Glavne storitve Slovenske šole smučanja.....	14
2.1.1. Osnovne oblike drsenja	14
2.1.1.1. Drsenje naravnost s smučmi v paralelnem položaju	14
2.1.1.2. Drsenje naravnost s smučmi v klinastem položaju.....	15
2.1.1.3. Zaustavljanje v plužnem položaju	15
2.1.1.4. Preproste spremembe smeri drsenja	15
2.1.2. Začetne oblike smučanja	16
2.1.2.1. Smučarski loki	16
2.1.2.2. Smučarski loki s klinastimi zavoji.....	16
2.1.2.3. Zavoj s klinastim odzivom/vbod palice	17
2.1.2.4. Osnovno vijuganje.....	19
2.1.3. Nadaljevalne oblike smučanja	20
2.1.3.1. Terensko vijuganje	20
2.1.3.2. Terensko vijuganje v širšem hodniku.....	21
2.1.3.3. Terensko vijuganje v ožjem hodniku.....	22
2.1.4. Tekmovalne oblike alpskega smučanja	23
2.1.5. Izpeljanke (alpskega) smučanja.....	23
2.2. Osnovni mehanski parametri pri alpskem smučanju.....	24
2.2.1. Hitrost.....	24
2.2.2. Osnovne sile, ki delujejo na smučarja	24
2.2.3. Specifična mehanska energija	27
3. CILJI IN NAMEN NALOGE	28
4. HIPOTEZE.....	28
5. METODE DELA.....	28
6. REZULTATI.....	33
6.1. Smučarski loki s klinastimi zavoji.....	33
6.2. Zavoj s klinastim odzivom/vbod palice	38
6.3. Osnovno vijuganje.....	42
6.4. Terensko vijuganje v širšem hodniku.....	47

6.5. Terensko vijuganje v ožjem hodniku	52
7. INTERPRETACIJA REZULTATOV	59
8. SKLEP	62
9. LITERATURA	63
10. PRILOGA	64
10.1. Smučarski loki s klinastimi zavoji.....	64
10.2. Zavoj s klinastim odrivom/vbod palice	88
10.3. Osnovno vijuganje.....	110
10.4. Terensko vijuganje v širšem hodniku.....	133
10.5. Terensko vijuganje v ožjem hodniku	155

1. UVOD

Pod besedo smučanje se v Sloveniji že dolgo ne razume le alpsko smučanje (Lešnik, Žvan, 2007). Smučanje je šport, s katerim se ukvarjajo različni ljudje, različnih subkultur, saj se pod tem pojmom skrivajo tudi deskanje, telemark, prosti slog, smučarski skoki, ... Žal mnogim ukvarjanje s to dejavnostjo preprečuje pomanjkanje denarja, kar trenutna svetovna gospodarska kriza še potencira.

Veliko talentov, ki bi utegnili postati smučarski šampioni, svoj športni potencial uresničujejo v drugih športih. Smučanje je šport, ki je primeren za vse. To dokazujejo tudi mnogi ljudje s posebnimi potrebami, ki se kljub temu z užitkom podajajo na smuči.

Nedvomno je alpsko smučanje v zadnjih 15. letih popolnoma zaznamovala tehnika »karving«. Razvoj nove opreme in s tem povezan slog smučanja sta nas prisilila, da smo dolge smuči, t.i. "sulice", postavili v kot in si omislili takšne, ki nam segajo komaj do brade. Z novo opremo pa se je bistveno spremenila tudi tehnika smučanja. Nič več ni prestopanja in vijuganja z nogami skupaj, to počno samo še redki nostalgiki, čeprav smučarji kljub novo oblikovanim smučem še vedno v pretežni meri smučajo s stranskim oddrsavanjem.

V zadnjem času je veliko govora o novem načinu smučanja kot t. i. posledici uporabe smuči s poudarjenim stranskim lokom. Proizvajalci smučarske opreme vseskozi iščejo nove, boljše rešitve v razvoju smučarske tehnike, posledično pa se nadgrajuje tudi tehnika smučanja. Kljub temu, da morda na prvi pogled ni videti revolucionarnih razlik, se je v izvajanju sodobne tehnike spremenilo marsikaj. Vodilno vlogo je prevzelo t. i. sledenje telesa, kjer je ramenska os pravokotna na smer gibanja težišča telesa (Supej idr., 2001). Nove smuči omogočajo izpeljavo zavoja brez oz. z minimalnim oddrsavanjem, zato si smučarji prizadevamo poiskati čim bolj optimalen položaj telesa z vidika gibalnih sposobnosti in ostalih pogojev smučanja. Sledenje telesa omogoča nemoteno vodenje obeh smuči skozi vse faze zavoja, saj je tako smučar gibalno sposoben potiskati obe smučki na robnik, prenašati večje obremenitve in bolje blažiti neravnine na terenu. Sledenje telesa ni samo posledica novih smuči, ampak tudi spremenjenega zavoja, ki ga te smuči omogočajo. Na klasičnih smučeh je smučar nujno potreboval anticipacijo, saj je bil edino tako zmožen narediti tako kratek zavoj. Zgornji del telesa je namreč prepočasen za tako hitra vrtenja, kot so jih bile deležne smuči, poleg tega je

izkoriščal anticipacijo, da je smuči lahko tako hitro vrtel. Sedaj naj bi se smuči vodilo brez ali z minimalnim oddrsavanjem in je zato vrtenje smuči bistveno počasnejše. Telo ima »čas« slediti smeri smučanja. S tem je mišljeno sledenje gibanju težišča in ne gibanje smuči (Supej idr., 2001).

Poleg tega je danes skoraj nujen razklenjen položaj smuči, vloga tega pa je naslednja:

- ob velikih hitrostih nudi ustreznejšo podporo za ohranjanje ravnotežja,
- bolj kakovostno neodvisno delo nog,
- boljša kontrola premagovanja obremenitev in
- ustreznejša razporeditev teže na zunanjo (spodnjo) in notranjo (zgornjo) smučko (Lešnik, Žvan, 2007).

Dolžina in stranski lok smuči sta v soodvisnosti in skupaj tvorita obliko smuči. Izbira dolžine smuči je odvisna predvsem od načinov in hitrosti smučanja. Daljše smuči so primernejše za drsenje v večji hitrosti, saj ostajajo stabilnejše in bolje držijo smer drsenja. Krajše smuči pa omogočajo lažji prehod (vrtenje) preko vpadnice. Pri izbiri dolžine smuči poleg interesa igrajo pomembno vlogo predvsem smučarsko znanje, telesne značilnosti in gibalne sposobnosti smučarja. Stranski lok smučke je definiran s širino sprednjega, srednjega in zadnjega dela smučke ter z njeno dolžino. Stranski lok v kombinaciji z nagibom smučke na podlago v največji meri določi polmer zavijanja (Kugovnik, Supej in Nemeč, 2003). Nastavitve robnikov, snežna podlaga in torzijska odpornost ter upogibna togost pa tudi lahko vplivajo na polmer zavijanja. Raziskave (Muller, Lindinger in Stoggl, 2009) so pokazale, da ima trdota snega velik vpliv na torzijsko odpornost smuči, kjer prihaja v pogojih trdega snega do veliko večjih torzijskih upogibov kot v pogojih mehkega snega. Na upogib smuči pa bolj kot trdota snega, vpliva težišče smučarja. Zaradi mehkejšega sprednjega dela smuči, je upogib smuči tudi do 40% večji, če je smučarjev položaj ekstremno naprej, v primerjavi s položajem ko je ekstremno nazaj. Nadaljne raziskave so pokazale tudi, da večja upogibna togost omogoča manjši polmer zavoja, ter da se z večjo upogibno togostjo zmanjšata tako upogib smuči kot torzijski upogib smuči. Se pa vpliv upogibne togosti veča z višanjem hitrosti.

Upogibna togost in torzijska odpornost predstavljata sklop karakteristik smuči, od katerih je v veliki meri odvisna kakovost in natančnost vodenja zavojev. Obe značilnosti sta v tesni povezavi in soodvisnosti z obliko in namembnostjo določenega modela. Upogibno bolj toge

smuči je mogoče upogniti le pri višjih silah, zato so smuči z večjo upogibno togostjo praviloma namenjene predvsem tekmovalcem in najboljšim smučarjem, ki smučajo z višjimi hitrostmi in za zavoje potrebujejo stabilnejše smuči. Upogibno manj toge smučke pa lahko spremenijo smer že pri delovanju nižjih sil in pri nižjih hitrostih, zato so primernejše za začetnike in slabše smučarje, ki smučajo počasneje in v zavojih ne dosegajo večjih obremenitev (Lešnik, Žvan, 2007).

Poglaviten cilj naše, zagotovo pa tudi tujih smučarskih šol, je začetnika naučiti smučati, oz. mu s pomočjo uporabe bolj ali manj ustaljenih metodičnih postopkov omogočiti napredovanje do optimalne stopnje glede na njegove psihofizične karakteristike in smučarsko predznanje. Res je, da je hierarhična ureditev in stopnjevanje temeljnih smučarskih storitev veliko pripomogla k kvalitetnejšemu delu učiteljev in trenerjev smučanja ne sme pa predstavljati dokončno definiranih poti učenja smučanja (prilagajanje slehernemu posamezniku). Pogoj za kvalitetnejše udejanjanje t.i. procesa individualizacije učenja smučanja je delo v manjših skupinah, kar učitelju omogoča boljši vpogled v znanje in napredovanje vsakega posameznika. Veliko število knjig in poudarjanje velikega števila možnosti izbire posredniških in korekturnih storitev, ki jih učitelj lahko izbira pri učenju smučanja, je kljub vsem dobrim namenom v proces učenja prineslo tudi vprašanje »kaj je bolj in kaj manj prav«? Vse je praviloma prav, le da moramo posamezne metode in posamezna sredstva posredovati ob pravem času, na pravem mestu in pravim ljudem (Lešnik, Žvan, 2007).

Izbira (najbolj učinkovite) poti učenja je pogojena predvsem z izkušnjami in znanjem učitelja. Pri tem poleg njegovih ostalih kvalitativnih ne igra vodilne vloge le njegovo pedagoško znanje in obvladanje tehnike smučanja, temveč mora biti v prvi vrsti sposoben čim bolj objektivno oceniti vse pogoje in možnosti napredovanja vsakega posameznika. Na osnovi prikazanega smučanja mora učitelj pri vsakem smučarju zaznati in ugotoviti najpomembnejše razlike med prikazano in ciljno izvedbo njegovega gibanja. Glede na analizo razlik in pomanjkljivosti mora izmed množice korekcijskih vaj izbrati najbolj učinkovito, ki bo učencu glede na njegovo znanje in sposobnosti omogočala najhitrejše približanje želeni izvedbi. T.i. **konvencionalna pot učenja** je namenjena širšemu krogu učencev s slabšim ali povprečnim (pred)znanjem in sposobnostmi in je torej vezana na bolj postopno osvajanje smučarskih sklopov in sicer od osnovnih oblik drsenja do vrhunskih oblik smučanja. Postavljena hierarhija oziroma vrstni red bazičnih storitev pa glede na specifičnost vsakega učenca seveda ni nujno vedno enak. Predpogoj za hitrejše napredovanje po metodični lestvici storitev je

široka gibalna osnova ter nadpovprečno visoka raven razvitosti motoričnih sposobnosti. Vse omenjeno, ob ustrezni usposobljenosti učitelja smučanja, omogoča učencem hitrejše napredovanje in osvajanje smučarskega znanja. V tem primeru pride lahko v poštev t.i. ***direktna pot učenja***, ki učencu iz osnovnih oblik drsenja omogoča neposreden prehod v nadaljevalne oblike smučanja, ki temeljijo na vodenju zavojev zarezno po robnikih. V metodičnem smislu gre torej za možnost osvajanja smučarske tehnike brez osnovnih oblik smučanja, ki temeljijo na nadzorovanju hitrosti z delnim oddrsavanjem. Lahko pa obe omenjeni poti združimo in dobimo t.i. kombinirano pot učenja. Namenjena je predvsem sposobnejšim začetnikom in tistim z že nekaj smučarskega znanja.

Na tem mestu naj omenim še uporabo kratkih smuč, ki v metodiki smučanja že dalj časa predstavljajo enega koristnejših pripomočkov za hitrejše in kvalitetnejše osvajanje sodobnih načinov smučanja. So lažje, okretnejše in v prve ure učenja vnašajo sproščenost in zabavo. S kratkimi smučmi je praktično vsak začetnik, v relativno kratkem času, sposoben izvesti preproste zavoje po robniku. Vadba s tem pripomočkom pa je omejena s hitrostjo (varnost), zato je njihova uporaba vezana predvsem na osnovne oblike drsenja, začetne oblike smučanja ter seveda primeren teren, saj tečajniki brez ostalih osnov, načeloma niso sposobni preiti na težje terene, ker niso sposobni kontrolirati hitrosti oz. varno smučati. Pri drsenju z večjo hitrostjo kratke smuč ne dopuščajo napak, zato je priporočljivo postopno (če je možno) prehajanje na daljše smuč oz. učenje smučanja s podaljševanjem smuč, danes poznano kot UPS Sistem. Ob koncu 50ih in začetku 60ih je ta način poučevanja že uporabljala »Jeločnikova šola« smučanja s takratnimi »Kneisel« smučmi. Izumitelj takega načina poučevanja pa je bil Cliff Taylor s t.i. G.L.M. (»Graduated Length Method«) metodo poučevanja smučanja.

V zadnjih letih se je slovenska šola alpskega smučanja nekoliko vrnila nazaj k stari šoli smučanja in se s tem oddaljila tudi od »popolnega karvinga« v katerem je šla kar nekoliko predaleč. Ponovno se v šoli smučanja uporablja t.i. kombinirani način. To pomeni, da si smučar pri spremembi smeri na paralelno postavljenih smučeh pomaga s t. i. vrtenjem stopal (in smuč) v prvem delu zavoja. Takšnemu načinu spreminjanja smeri lahko rečemo tudi »vrtilna« tehnika.

Zaradi množice dejavnikov, ki pogojujejo začetek učenja smučanja, je težko določiti starostno mejo, ki je primerna za prve korake na snegu. Vloga staršev pri tem je, da otroku preko

zabavnih igravic predstavijo smučarski šport, ga bodrijo, mu pomagajo pri pobiranju, vleka bodočega smučarja,... Pri učenju prvih smučarskih zavojev pa je pomembno, da se jih otrok nauči pravilno izvesti. Naučene napake je sčasoma vse težje odpraviti, zato je prav, da učenje smučanja poteka pod nadzorom učitelja smučanja. Učenje v skupini ima številne prednosti, ki so vezane na skupinske igre na snegu, medsebojne primerjave, tekmovanja, itd.

Za prve korake na snegu izberemo terene, ki so položni, široki in imajo raven iztek. Pri otrocih mora prilagajanje na smučarsko opremo in osnovne smučarske položaje biti v čim večji meri prepleteno z igro. Velik uspeh bo že, če začetnik med vadbo ne bo pristopal k smučanju s strahom, razmišljal o bolečinah v čevljih, mrazu in drugih negativnih dejavnikih (Lešnik, Žvan, 2007). Učenje smučanja otrok naj torej poteka skozi igro, saj je igra najboljšo sredstvo, s pomočjo katerega bo otrok pridobival smučarska znanja.

Vsi, ki se ukvarjajo s smučanjem, bodisi alpskim, deskanjem, telemarkom, itd. morajo dosledno upoštevati zakone in pravila. Ne glede na različne načine gibanja na snegu mora sleherni smučar smučati tako, da ne ogroža varnosti sebe in drugih. Temu lahko enostavneje rečemo tudi znanje, osvajanje katerega pa je vseživljenski proces. Odgovorne institucije na področju izobraževanja v smučanju so zato dolžne slediti razvoju in trendom smučarske tehnike in razvijati ustrezne ter učinkovite postopke posredovanja znanj. Pri tem pa je potrebno upoštevati stopnjo predznanja, sposobnosti in lastnosti in končno interese ter motive najrazličnejših kategorij učencev. Slednje so temeljna izhodišča učenja smučanja (Lešnik, Žvan, 2007).

Pravila varnega smučanja so od leta 2003 zakonsko določena z Zakonom o varnosti na smučiščih, sicer pa po vsem svetu velja 10 FIS pravil obnašanja na smučiščih. Obnašanje na smučišču je odsev vzgoje, predvsem pa upoštevanje dejstva, da je smučanje promet. Zaradi vse večjih hitrosti in težjih poškodb, ki jih je prinesla nova tehnika smučanja, bi bilo mogoče smiselno razmisliti še o kakšnih spremembah oz. omejitvah na samih smučiščih.

Na področju smučanja, predvsem tekmovalnega, je bilo z vidika biomehanike, opravljenih že veliko raziskav (vpliv trote snega na radij zavoja, sile, energije, vpliv spremenjenih razmer na progi, razlike med tekmovalci, kateri del zavoja je najprimernejši za dober rezultat itd) (Science and skiing I, II, III, IV; Biomehanika alpskega smučanja;...). Za šolo smučanja pa teh raziskav ne najdemo in prav zato smo se odločili, da izvedemo meritve osnovnih mehanskih

parametrov v slovenski šoli smučanja in tako ugotovimo, kaj se z vidika biomehanike, dogaja pri rekreativnem smučanju.

2. PREDMET IN PROBLEM

Poti in možnosti, kako naučiti učenca smučarskih veščin, je več. Podobno kot pri vseh stvareh v življenju, je tudi pri učenju smučanja (predvsem pri didaktiki in delno tudi pri metodiki) razlika na kakšen način učitelj pristopa k učenju otrok in odraslih. Pomembno je, da prilagodimo proces učenja vadečim in da izberemo način, ki je njihovim sposobnostim najprimernejši. Prve korake na snegu moramo narediti na način, da pri začetnikih ne vzbujamo strahu, kar je v veliki meri povezano s postopnostjo in primernostjo izbiranja storitev, vaj, intenzitete, terena, snežnih ter vremenskih pogojev, itd.

Ker v slovenski šoli smučanja (resnici na ljubo, kakor nam je znano, tudi v drugih ne) ni bilo opravljenih raziskav na temo biomehanskih parametrov, nas pa je zanimalo, če je koncept slovenske šole smučanja pravilno zastavljen (postopnost, varnost), se nam je zdelo smiselno preveriti šolo smučanja z vidika biomehanike in tako ugotoviti ali je temu tako.

2.1. Glavne storitve Slovenske šole smučanja

2.1.1. Osnovne oblike drsenja

2.1.1.1. Drsenje naravnost s smučmi v paralelnem položaju

Pri osnovnem smučarskem položaju drsenja naravnost smučar stoji uravnoteženo, na paralelno razklenjenih smučeh v položaju, ki mu nudi dovolj opore v smeri levo in desno. Smučmi so postavljene plosko na snežno površino, teža smučarja pa mora po vsej dolžini biti enako razporejena na levo in desno smučko. Skočni, kolenski in kolčni sklepi so primerno pokrčeni (golenci naslonjene na jezik smučarskega čevlja). Položaj telesa je sproščen. Roke so pred telesom, naravno pokrčene, palice čim bolj vzporedno, krpljice za telesom in dvignjene od snega, pogled mora biti usmerjen naprej (Lešnik, Žvan, 2007).

2.1.1.2. Drsenje naravnost s smučmi v klinastem položaju

Klinasti položaj dosežemo tako, da zadnje dele smuči nekoliko razmaknemo, sprednji deli pa ostanejo razmaknjeni približno v širini bokov. S tem smučki oblikujeta t.i. klinasti položaj. S potiskom kolen naprej in navznoter nastavimo notranja robnika, kar nam ob izdatnejši obremenitvi ene smučke omogoča spremembo smeri. Telo smučarja mora biti uravnoteženo na sredini smuči, sproščeno in ustrezno pokrčeno v skočnem, kolenskem ter kolčnem sklepu (goleni naslonjene na jezik smučarskega čevlja). Roke so pred telesom, naravno pokrčene, palice pa naj bodo čim bolj vzporedno, krplice za telesom pa dvignjene od snega. Pogled smučarja mora biti usmerjen naprej (Lešnik, Žvan, 2007).

2.1.1.3. Zaustavljanje v pluznem položaju

Pluzni položaj že dalj časa poskušamo uporabljati le še za zaustavljanje. Dosežemo ga s potiskom zadnjih delov smuči navzven, medtem ko sprednji deli ostajajo bolj sklenjeni. S potiskom kolen naprej in navznoter nastavimo notranja robnika, smučki, ki sta enako obremenjeni pa s tem pričneta zavirati dokler se smučar v drsenju naravnost ne zaustavi. Telo smučarja mora biti uravnoteženo na sredini smuči, položaj gornjega dela telesa smučarja pa enak kot pri drsenju naravnost ali v klinastem položaju (Lešnik, Žvan, 2007).

2.1.1.4. Preproste spremembe smeri drsenja

Približati se jim poizkušamo z uporabo posredniških in korekturnih vaj, pri tem pa je dobrodošla uporaba stožcev, kratkih količkov in drugih pripomočkov. Ena od možnosti, ki učencu zagotavljajo postopno približevanje k izvedbam zavojev, je t.i. »pahljača zavojev«. To pomeni stopnjevanje izhodiščnega položaja za prehod v drsenje glede na vpadnico. Začetni poskusi izvedb preprostih zvojev k bregu se izvajajo iz položaja blagega smuka poševno, torej v smeri bolj prečno na vpadnico. Kasneje izhodiščne položaje postopoma približujemo smeri vpadnice. Način izvedbe zavoja je odvisen od posameznikovih sposobnosti in predznanja. Naprednejši bodo vodili zavoj na paralelno postavljenih smučah, medtem ko bodo slabši smučarji spremembo smeri lahko izvedli s klinastim položajem smuči (Lešnik, Žvan, 2007).

2.1.2. Začetne oblike smučanja

2.1.2.1. Smučarski loki

Smučarski loki so kombinacija različnih načinov izvedb zavojev in prečenja smučišča. Glede na strukturo gibanja predstavljajo logično nadaljevanje preprostih sprememb smeri (k bregu) s katerimi smo se s preходом preko vpadnice (»pahljača«) že zelo približali izvedbi ustrezno zaključenega smučarskega zavoja. V začetnih korakih učenja smučanja, ko gibanje še ni avtomatizirano, je za izvedbo vsakega posameznega zavoja potreba ustrezna priprava na pravilno zaporedje gibov (priprava na razbremenitev, vodenje in izpeljava zavoja...). Prav slednje je hkrati tudi razlog, da na pričujoči način smuča pravzaprav največje število smučarjev. Smučanje z »nepovezanimi« zavoji je začetnikom in slabšim smučarjem bližje, zato se smučarskih lokov v praksi poslužujejo tako rekoč v sleherni šoli smučanja (Lešnik, Žvan, 2007).

Drsenja po robnikih prečno po bregu danes ne moremo (več) imenovati smuk poševno! Smučiči z izrazitejšim stranskim lokom v »smuku poševno« namreč ne omogočajo drsenja naravnost. Posledica nastavka robnikov je zavoj (k bregu), ki ga mora smučar s popuščanjem robnikov popravljati in na tak način preči vpadnico toliko časa, da se pripravi na izvedbo novega zavoja. V začetku potrebuje začetnik za izvedbo zavojev več priprave - torej nekoliko daljše prečenje vpadnice - sčasoma pa zavoj postane vse bolj utrjen, priprava na zavoj pa vse krajša. Tako smučar postopoma doseže izvedbo med seboj povezanih zavojev oziroma vijuganje (Lešnik, Žvan, 2007).

2.1.2.2. Smučarski loki s klinastimi zavoji

Pri smučarskih lokih s klinastimi zavoji gre za kombinacijo prečenja vpadnice in spremembe smeri (zavoja) v klinastem položaju. Smučar stoji prečno na naklonino. smučiči so razklenjene. Večji del teže je razporejen na spodnjo smučko, telo je centralno uravnoteženo in sproščeno. Z uravnavanjem potiska kolen proti bregu smučar doseže ustrezen nastavek robnikov, ki mu omogoča prečenje vpadnice. Med drsenjem prečno smučar preide v nižji položaj in sočasno razmakne zadnje dele smučiči v t.i. klinast položaj. Izdatneje obremeni bodočo zunanjo smučko, ki jo z gibanjem kolena naprej in navznoter zapelje preko vpadnice do položaja nove

smeri prečenja. Notranja smučka pri tem zadržuje "klinasti" položaj glede na zunanjo, ramenska in kolčna os pa ostajata pravokotni na smer smučanja (Lešnik, Žvan, 2007).

Pravilen položaj kolčne osi med vodenjem zavoja dosežemo s tem, da zunanji bok potisnemo nekoliko naprej, oz. pazimo, da nam notranji bok ne »uhaja« v zavoj. Zavoj naj bo zaključen ob končanem gibanju navzdol in sicer do te mere, da hitrost smučanja ostaja nadzorovana. Po zaključku izpeljave zavoja smučar preide v nekoliko višji položaj, ki po prečenju vpadnice predstavlja izhodišče za začetek novega zavoja. Trajanje (dolžina) prečenja vpadnice je odvisno od tega, koliko časa smučar potrebuje za pripravo na izvedbo novega zavoja (Lešnik, Žvan, 2007).

Tipične značilnosti storitve:

- majhna hitrost drsenja,
- nepovezani zavoji,
- zaključevanje klinastih zavojev,
- razlika med visokim položajem med prečenjem in prehodom v nižji položaj v zavoj,
- paralelni položaj smučī med prečenjem smučīšča in klinasti položaj smučī med spreminjanjem smeri drsenja,
- ramenska in kolčna os v zavoj ostajata pravokotni glede na smer smučanja,
- smučanje v širšem hodniku (Lešnik, Žvan, 2007).

2.1.2.3. Zavoj s klinastim odrivom / vbod palice

Smučanje je na tej stopnji še vedno počasno, a vendarle nekoliko hitrejše kot pri klinastih lokih, saj z ritmičnim navezovanjem zavojev med seboj dosežemo, da zaključek enega zavoja že pomeni začetek novega. Pri tej storitvi gre za kombinacijo odrida v klinasti položaj smučī, ki smučarju olajša prehod preko vpadnice in zavoja k bregu na paralelnih smučeh (Lešnik, Žvan, 2007).

Po prečenju vpadnice na paralelno postavljenih smučeh (zavoj k bregu) smučar odrine v smeri navzgor in v smeri novega zavoja, istočasno razmakne zadnje dele smučī in jih s pomočjo vrtenja stopal v klinastem položaju zavrti proti vpadnici. S postopnim prehajanjem v nižji položaj izdatneje obremeni zunanjo smučko, ki jo z gibanjem kolena naprej in navznoter

zapelje preko vpadnice. Pri tem klinasti položaj notranje smučke preide v paralelnega, kar predstavlja izhodišče za izpeljavo novega zavoja k bregu. Ramenska in kolčna os ostajata pravokotni na smer smučanja. Pravilen položaj kolčne osi med vodenjem zavoja dosežemo s tem, da zunanji bok potisnemo nekoliko naprej, oz. pazimo, da nam notranji bok ne »uhaja« v zavoj (Lešnik, Žvan, 2007).

Po prečanju vpadnice na paralelno postavljenih smučeh smučar ob odzivu navzgor in sočasnem prehodu v klinasti položaj vbode palico, temu pa sledi prenos teže smučarja na bodočo zunanjo smučko ter vodenje zavoja »okrog« palice. Pravilen vbod je izveden približno pravokotno na snežno površino v predelu nekoliko stran (navzven) od sredine sprednjih delov smuči. Pred izvedbo zavoja vbodemo vedno spodnjo palico. Po vbodu palica ostane v stiku s snegom, saj smučarju kot tipalo pomaga pri vzpostavljanju ravnotežja skozi zavoj. Točka vboda predstavlja os vrtenja smučarja v smeri (preko) vpadnice. Vbod palice smučarju omogoča lažji prehod preko vpadnice, hkrati pa je smučarju tudi v veliko pomoč pri vzpostavljanju ritma smučanja (Lešnik, Žvan, 2007).

Tipične značilnosti storitve:

- povezani zavoji in povezano gibanje gor-dol,
- odziv (razbremenitev in uvodni zasuk) v klinasti položaj smuči,
- vrtenje smuči preko vpadnice in izpeljava zavoja na paralelni način,
- izrazito gibanje gor-dol,
- smučanje v srednje širokem hodniku in v ritmu »odriiv-zavoooj« (Lešnik, Žvan, 2007).

Navezovanje zavojev s klinastim odzivom predstavlja korak naprej tako k osvajanju paralelne tehnike smučanja, kot tudi možnosti izkoriščanja oblike smuči in vodenju zavojev po robnikih. Napredek v tehniki smučanja se kaže v tem, da smučanje postaja vse bolj tekoče in povezano. Poleg vzpostavljanja ravnotežja skozi zavoj začne smučar uporabljati palico tudi kot pomoč ob odzivu -vbod palice (Lešnik, Žvan, 2007).

2.1.2.4. Osnovno vijuganje

Na tej stopnji smučarske motorike navezovanje zavojev že imenujemo vijuganje. Osnovno vijuganje predstavlja centralno storitev v Slovenski šoli smučanja in je prva storitev, pri kateri ima smučar ves čas vodenja zavojev smuči v paralelnem položaju. Pomemben pogoj za to pa je ustrezna hitrost.

Smučar med smukom naravnost v primerni hitrosti postopno prehaja v nižji položaj in pripravi palico za vbod. Palico vbode ob odzivu od smuči, skladno s postopnim gibanjem navzdol pa potisne kolena naprej in navznoter. S tem smuči krožno (tudi s pomočjo stranskega loka) zapelje v zavoj. Ramenska in kolčna os sledita smeri smučanja, zavoji pa ostajajo manj zaključeni in vodeni na paralelno postavljenih smučeh (Lešnik, Žvan, 2007).

Poleg znanja, sposobnosti in ostalih dejavnikov so možnosti izvedbe navezovanja zavojev odvisne predvsem od hitrosti, ki jo mora smučar na ustrezen način obvladati oz. nadzorovati. Zato je predvsem manj veščemu smučarju hitrost tudi z novimi smučmi še vedno lažje nadzorovati na t.i. kombinirani način. To pomeni, da si smučar pri spremembi smeri na paralelnih smučeh po vbodu palice pomaga s t. i. vrtenjem stopal (in smuči) v prvem delu zavoja. Takšnemu načinu spreminjanja smeri lahko rečemo tudi »vrtilna« tehnika (Lešnik, Žvan, 2007).

Med zniževanjem težišča in obremenjevanjem smuči (vodenje zavoja) se hkrati stopnjuje nastavek robnikov, ki smučarju omogoči izpeljavo (zaključek) zavoja po robnikih. Pri osnovnem vijuganju gre za ritmično navezovanje zavojev (hop-dool, hop-dool...), ki so v začetnih korakih učenja izvedeni s kombinirano tehniko, kasneje pa je glede na sposobnosti in predznanje smučar sposoben stopnjevati nastavek robnikov s ciljem izpeljave zavojev po robnikih. Ne glede na način izvedbe osnovnega vijuganja, je pomembno, da hitrost smučanja ostaja nadzorovana (Lešnik, Žvan, 2007).

Bolj nadarjeni učenci, ki se ne bojijo hitrosti bodo večji del zavoja po vbodu palice izpeljali že po robnikih (zarezno) - to bodo lažje dosegli, če po razbremenitvi stopal (in smuči) ne bodo (»na silo«) obračali v smeri zavoja ampak bodo po nastavku robnikov »počakali«, da smuči začno prijemati, se posledično upogibati in po robnikih »same« spreminjati smer drsenja (Lešnik, Žvan, 2007).

Praksa je pokazala, da tako rekreativci kot tekmovalci uporabljajo dva osnovna načina:

⇒ **smučanje s kombinirano tehniko**, kjer smučar, s pomočjo vrtenja stopal v prvem delu zavoja hitrost prilagaja ustreznemu in želenemu nivoju in

⇒ **smučanje z zareznico**, kjer smučar izkorišča nastavek robnika in stranski lok smučke, pri tem pa iz zavoja v zavoj povečuje hitrost (Lešnik, Žvan, 2007).

Osnovno vijuganje zato predstavlja izhodišče bodisi zareznemu načinu vodenja zavojev v enostavnejših in srednje strmih terenih oz. smučanju s kombinirano tehniko v strmejših terenih in zahtevnejših pogojih (izbira posameznika). Smiselno nadaljevanje osnovnega vijuganja je torej v nadaljevalnih oblikah smučanja (Lešnik, Žvan, 2007).

Tipične značilnosti:

- razklenjen (paralelni) položaj smučí v širini bokov,
- razporeditev teže na obe smučki, a vendar več na spodnjo oz. zunanjo,
- smučanje v srednje širokem hodniku,
- kombinacija vrtenja in zvrčanja stopal (1.faza),
- izhod iz zavoja po robniku (3.faza),
- smučanje v ritmu (hop-dooool, hop-dooool, hop-dooool,...) in s primerno hitrostjo (Lešnik, Žvan, 2007).

2.1.3. Nadaljevalne oblike smučanja

2.1.3.1. Terensko vijuganje

Pri »Nadaljevalnih oblikah smučanja« poleg sposobnosti in osvojenega predznanja prihaja do izraza tudi interes smučarja. Ker gre za učenje smučanja v težjih terenskih zahtevah (strmejši tereni) se poleg užitkov na eni strani stopnjuje tudi tveganje. Z novimi smučmi lahko v enostavnejših pogojih »praktično vsak« smučar hitrost drsenja nadzoruje z vodenjem zavojev po robnikih. Prav to pa postane težje izvedljivo v pogojih, ki od posameznika zahtevajo vrhunsko znanje in obvladanje tehnike. V pogojih, kjer z zareznim smučanjem posamezniku nadzorovanje hitrosti ne uspeva, je to mogoče s kombinirano tehniko, v skrajnem primeru pa s

stranskim oddrsavanjem (Lešnik, Žvan, 2007).

Dva načina smučanja (vijuganje v širšem hodniku in vijuganje v ožjem hodniku), ki se razlikujeta (»le«) v hitrosti in ritmu smučanja, sta tudi na (naj)težjih terenih teoretično izvedljiva z zarezno tehniko. Prav v tej obliki predstavljata izhodišče tekmovalnim oblikam alpskega smučanja (slalom, veleslalom, superveleslalom in smuk), medtem ko je kombinirana tehnika vodenja zavojev tista, ki omogoča kontrolo hitrosti na vseh terenih in v vsakem trenutku (Lešnik, Žvan, 2007).

2.1.3.2. Terensko vijuganje v širšem hodniku

Med smukom naravnost v primerni hitrosti smučar preide iz srednjega v nižji položaj, s potiskom obeh kolen naprej in navznoter pa smučič usmeri v zavoj. Sledi odziv v smeri novega zavoja (uvodni zasuk) s sočasnimi vbodom palice ter zvrčanje stopal in gibanje kolen naprej-navznoter. Po menjavi robnikov smučar poskuša izvesti zavoj po robnikih, v kolikor pa so razmere za to prezahtevne (strmina, poledenel sneg,...) pa lahko v fazi vhoda v zavoj hitrost smučanja nadzoruje tudi s stranskim oddrsavanjem oziroma vrtenjem smučič v smeri, po potrebi pa tudi preko vpadnice (2.faza zavoja). Izhod iz zavoja (3.faza) mora biti izveden po robniku, ramensko in kolčno os pa smučar po izvedenem uvodnem zasuku ohranja v položaju sledenja smeri smučanja (Lešnik, Žvan, 2007).

Smučič ostajajo v nenehnem stiku s snegom, hitrost primerno kontrolirana. Pomembno je, da prvi zavoj smučar izvede brez vboda palice, ki bi ga utegnil preveč spominjati na klasičen način spreminjanja smeri. Hitrost smučanja, ki je potrebna za vodenje zarezni zavojev smučar pridobi že s spustom v prvi zavoj, kar mu omogoča nadaljevanje navezovanja zavojev v širšem hodniku smučanja. V nadaljevanju, ko ima smučar že ustrezno hitrost ter občutek za izpeljavo celotnega zavoja po robnikih, lahko vijuganje v širšem hodniku na zarezni način izvaja bodisi brez ali z vbodom palice. Pri zarezni načinu vodenja zavojev je menjava robnikov in vhod v nov zavoj izvedljiv tudi brez oz. z minimalnim verikalnim gibanjem (stransko razbremenjevanje). Tak način smučanja predstavlja osnovo tekmovalnemu načinu vodenja zavojev (Lešnik, Žvan, 2007).

Tipične značilnosti:

- večja hitrost smučanja,
- povezano smučanje v širšem hodniku (počasnejši ritem »hop-doooool«),
- zarezna (v težjih pogojih pa kombinirana) tehnika vodenja zavojev,
- uvodni zasuk pred vhodom v zavoj,
- elementi kontrole hitrosti: 1.ustrezna stopnja stranskega oddrsavanja, 2.stopnja zapiranja zavojev glede na strmino, 3.stopnja vertikalnega gibanja (Lešnik, Žvan,2007)

2.1.3.3. Terensko vijuganje v ožjem hodniku

Vijuganje v ožjem hodniku s kombinirano tehniko je način smučanja, ki predstavlja korak naprej v dinamiki gibanja na snegu. Ker gre pri tem za izvajanje zavojev z večjo frekvenco, zahteva premagovanje daljših razdalj na tak način od smučarja dobro kondicijsko pripravljenost. Tak način smučanja je lahko tudi oblika igre zavojev, ki je, zlasti po pojavu smuči z izrazitim stranskim lokom, postal dostopnejši še večjemu številu rekreativnih smučarjev (Lešnik, Žvan, 2007).

Smučar med smukom naravnost, s primerno hitrostjo na razklenjenih smučeh, postopno prehaja v nižji položaj. Odrivu in vbodu palice sledi (gibanje navzdol) energičen potisk obeh kolen naprej in navznoter. Ob koncu odrine v smer novega zavoja, sočasno z vbodom palice in zvrčanjem stopal ter močnim pritiskom kolen naprej-navznoter, poskuša izvesti zavoj izključno po robnikih obeh smuči brez oddrsavanja. Navezovanje zareznih zavojev v ožjem hodniku, zlasti v težjih pogojih, zahteva vrhunsko znanje in sposobnosti, zato je pogostejša in lažja izvedba vijuganja v ožjem hodniku na kombiniran način. Pri slednjem je pomembno, da smučar zavrti smuči proti vpadnici (1.faza), po robniku pa poskuša izvesti čim večji del vodenja zavoja (2.faza) in izhod iz zavoja (3.faza). Ramenska os sledi smeri smučanja oziroma je v tem primeru praktično v položaju sledenja vpadnici (Lešnik, Žvan, 2007).

Pomembno je, da je smučar uravnotežen in da poskuša kratke zavoje blizu vpadnice izpeljati na smučeh, ki ostajajo v razklenjenem položaju in v nenehnem stiku s podlago. Pri vijuganju v ožjem hodniku gre torej za ritmično navezovanje kratkih zavojev (v ritmu hop-hop-hop...) pri čemer je pomembno, da hitrost smučanja ostaja nadzorovana. Nadzorovanje hitrosti, ritem

smučanja ter stopnjevanje nastavka robnikov je poleg znanja, sposobnosti in kvalitetne opreme odvisno predvsem od zahtevnosti terena (Lešnik, Žvan, 2007).

Tipične značilnosti:

- ustrezna hitrost smučanja,
- navezovanje zavojev v ožjem hodniku (primeren ritem »hop-hop-hop«),
- zarezna (v težjih pogojih pa kombinirana) tehnika vodenja zavojev,
- uvodni zasuk pred vhomom v zavoj,
- elementi kontrole hitrosti: 1.vrtenje smuči proti vpadnici (samo v 1.fazi zavoja), 2.stopnja zaključevanja zavojev glede na strmino in 3.stopnja vertikalnega gibanja (Lešnik, Žvan, 2007).

2.1.4. Tekmovalne oblike alpskega smučanja

V nacionalni šoli smučanja predstavljajo pomembno stopnico tistim, ki stopajo na pot vrhunskega tekmovalnega smučanja. Glede na zahtevnost, potrebno predznanje, dobro razvite motorične sposobnosti in mnoge druge dejavnike ukvarjanja s tekmovalnim alpskim smučanjem, je danes število aktivnih tekmovalcev bistveno manjše v primerjavi s številom rekreativnih smučarjev. Pa vendarle ni odveč, če možnost spoznavanja osnov tekmovalne tehnike ponudimo vsem (Lešnik, Žvan, 2007).

Temeljna značilnost vseh tekmovalnih oblik smučanja je hitrost. Zaradi hitrosti se povečujejo tudi sile, ki nastajajo v zavoju in so prvi pogoj za spremembo vsake smeri gibanja. Najpomembnejše je, da te sile izkoriščamo za čimbolj učinkovito smučanje (Lešnik, Žvan, 2007).

2.1.5. Izpeljanke (alpskega) smučanja

Če je včasih vrhunsko smučarsko izvedbo predstavljal (le) tekmovalni smučarski zavoj, so danes tudi druge oblike. Vrhunska izvedba je sicer še vedno cilj mnogih smučarjev, ni pa nujno, da je ta ob pojavu nekaterih novih tekmovalnih oblik smučanja vezana prav na tekmovalne discipline alpskega smučanja (slalom, veleslalom, smuk, superveleslalom). Načini uživanja na snegu so lahko usmerjeni na smučanje po grbinah, smučanje v celcu,

smučanje v snežnih parkih..., ki ravno tako zahtevajo veliko vadbe, znanja in izkušenj, a se glede na specifične pogoje kažejo v različnih oblikah. Ne le, da so te pogojene z ustrezno opremo, ki omogoča izvedbo zahtevanih elementov in zvrsti smučanja. Še več, predstavljajo način življenja mlajših in tudi vse večjega števila nekoliko starejših smučarjev, ki na snegu želijo nekaj več (Lešnik, Žvan, 2007).

2.2. Osnovni mehanski parametri pri alpskem smučanju

2.2.1. Hitrost

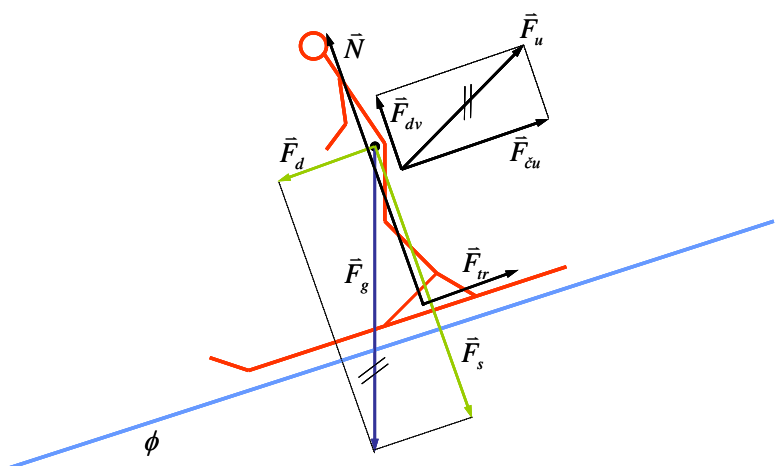
Hitrost je v fiziki vektorska količina, ki podaja spreminjanje lege telesa ali snovi v prostoru v časovni enoti. Merimo jo v metrih na sekundo ali drugih izpeljanih enotah, denimo kilometrih na uro. Povprečno hitrost pri gibanju izračunamo tako, da prepotovano razdaljo delimo s časom, potrebnim za pot.

Takoj po tistem, ko je smučar sposoben spreminjati smer in povezati več zavojev, pridemo do problema nadzora hitrosti. Smučar mora ostati na ravnih nizkih hitrosti. Za spremembo položaja smuči, ki je nujno potrebna za učinkovito zaviranje, sta nujno potrebni vertikalna razbremenitev in obremenitev smuči (Kugovnik, Supej in Nemeč, 2003).

Smučar nadzira hitrost tudi s smučanjem proti hribu, kar v resnici pomeni zmanjševanje dinamične komponente teže v smeri gibanja.

2.2.2. Osnovne sile, ki delujejo na smučarja

Na smučarja, ki se pri smuku spušča po klanecu navzdol, delujejo naslednje sile (slika 1): teža smučarja (F_g) navpično navzdol, normalna sila podlage (N) pravokotno na klanec, sila trenja (F_{tr}) in sila upora (F_u) pa delujeta v nasprotni smeri gibanja. Težo smučarja $F_g = mg$, kjer je m masa sistema smučar in g gravitacijski pospešek, razstavimo na dinamično (F_d) in statično (F_s) komponento teže. Dinamična komponenta teže $F_d = mg \sin \phi$ je vzporedna s klanecem in povzroča pospeševanje smučarja, statična komponenta teže $F_s = mg \cos \phi$ je pravokotna na klanec in smučarja pritiska k tlom. Kot (ϕ) je naklon strmine klanca.



Slika 1: Sile na smučarja na klancu.

Smučarjevemu gibanju nasprotujeta sila upora (F_u) in sila trenja (F_{tr}). Sila čelnega upora (F_{cu}) je vzporedna s smerjo gibanja. Zaradi vrtnčenja zraka za smučarjem deluje nanj še dinamični vzgon (F_{dv}), ki je pravokoten glede na smer gibanja. Velikosti obeh sil sta odvisni od prečnega preseka (S) smučarja v smeri gibanja, gostote zraka (ρ) in hitrosti smučarja (v). Ker smuči drsijo po snežni podlagi, deluje na smučarja še trenje (F_{tr}). Trenje kaže v nasprotni smeri gibanja in je vzporedno s klancem.

Smučarju začetniku je osnova za spremembo smeri prenos teže z ene noge na drugo in odprt položaj smučí. Obremenjena smučka, ki je postavljena na robnikih, v tem položaju zavije sama. Sunek sile, ki deluje na smučko, povzroči spremembo gibalne količine (slika 7a). Gibalno količino (ΔG) razstavimo na dve komponenti: na spremembo gibalne količine (ΔG_v), ki je vzporedna s smučmi, in na spremembo gibalne količine (ΔG_p), ki je pravokotna na smučí. Gibalna količina ΔG_p se povečuje, gibalna količina ΔG_v pa se zmanjšuje.

Zaradi različnih navorov na zadnji in prednji del smučí se smučar zavrti okoli težiščne osi. Za podrobnejšo razlago, vpeljemo silo podlage na dolžinsko enoto (f_p):

$$f_p = \frac{F_p}{l},$$

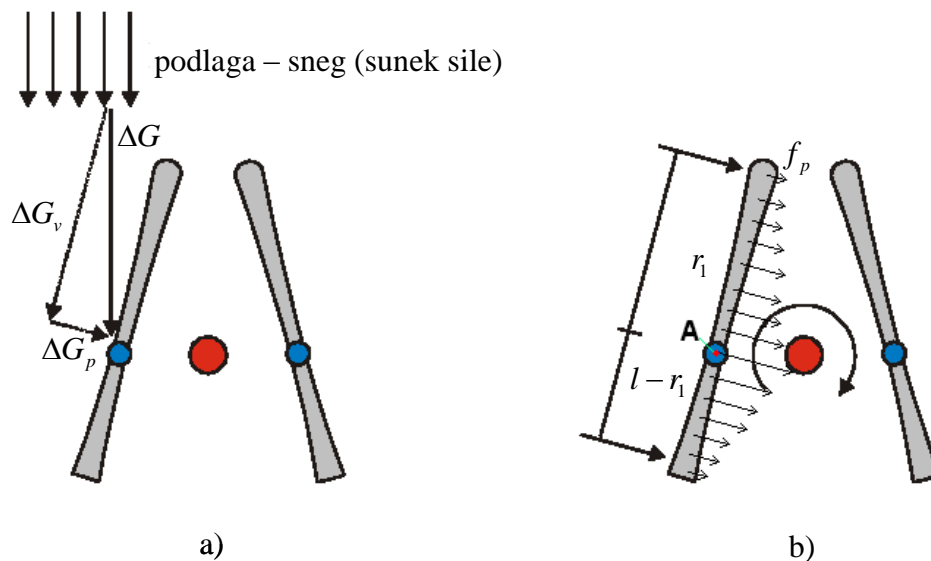
kjer je l dolžina smuči in F_p sila podlage v smeri pravokotno na levo smučko (slika 2b).

Definiramo različna navora glede na točko A:

$$M_1 = \int_0^{r_1} f_p (r_1 - r) dr = f_p \frac{r_1^2}{2},$$

$$M_2 = \int_{r_1}^l f_p (r_1 - r) dr = -f_p \frac{(r_1^2 + l^2)}{2} + f_p l r_1,$$

kjer je r_1 razdalja od začetka smučke do točke, okoli katere se vrti smučka. Ker velja $M_1 > M_2$, se smučar zavrti okoli lastne osi v smeri, kot je prikazano na sliki 2b.



Slika 2: a) Zaradi sunka sile snega na smučko se spremeni gibalna količina (G) smučke v smeri pravokotno na smuči (G_p) in vzporedno na smuči (G_v). b) Navor sile podlage na dolžinsko enoto v pravokotni smeri na smuči (f_p) povzroči navor (M) in vrtenje smučarja okoli lastne osi.

Odprt položaj smuči in prenos teže na bodočo zunanjo nogo ter novejša geometrija smuči z bolj poudarjenim stranskim lokom pomagata smučarju pri začetku v nov zavoj oziroma pri

zavijanju. Odprt položaj smuči smučarju začetniku pomaga nadzorovati hitrost. Sila trenja je pri odprtem položaju večja kot pri ploskem drsenju. Sunek sile snega zavira smučarja, saj so smuči v tem položaju na robnikih. Smučar ima v odprtem položaju zaradi večje podporne ploskve stabilnejši ravnotežni položaj in s tem skupaj z rahlimi nagibi v zavoj lažje premaguje radialne sile (Kugovnik, Supej in Nemec, 2003).

2.2.3. Specifična mehanska energija

Postavlja se vprašanje, kako z meritvami oceniti, ali je posamezen zavoj dober ali ne. Kvaliteto izpeljanega zavoja lahko ugotavljamo s parametrom specifične mehanske energije (energija na kilogram tekmovalca, ki je sestavljena iz potencialne in kinetične energije) oz. njenim diferencialom na višinsko razliko (Supej, 2008 – Journal of Applied Biomechanics). Ker ima smučar vedno izgube, njegova specifična energija pada. Obstajajo pa tudi območja med zavoji, kjer smučar ohranja svojo specifično energijo (ponavadi na prehodu iz zavoj v zavoj). To pomeni, da naj bi pretvarjal potencialno energijo v kinetično brez izgub. Neposredno lahko opazimo, kateri del zavoja je kakovostno izpeljan, saj so tam izgube majhne (smučka lepo teče) in kateri del zavoja je izpeljan slabo, saj so tam energijske izgube velike (oddrsavanje). Na podlagi meritev (Kugovnik, Supej in Nemec, 2003; Supej, 2008) je jasno razvidno, da so območja majhnih izgub v delih, kjer so kotne hitrosti vrtenja smuči majhne oziroma smučar ne zavija ostro, do velikih izgub pa prihaja tam, kjer smučar ostreje zavija.

Diferencial po višinski razliki je ustrezen parameter, ker z njim implicitno upoštevamo smer gibanja smučarja. Ta je lahko bolj vzporedna z vpadnico oz. je bolj prečna nanjo. V teh okoliščinah namreč smučar, časovno gledano, troši različno količino potencialne energije.

Smučar smuča z minimalnimi izgubami tam, kjer so vrednosti diferenciala okoli ničle (prehodi med zavoji), negativna območja pa so tista, kjer smučar slabo razpolaga z energijo (zavoj). Zdi se, da so pozitivne vrednosti diferenciala fizikalno nemogoče, a to ne drži. Smučar lahko svoje težišče dvigne v pravokotni smeri glede na teren, ne da bi pri tem izgubljal hitrost, poleg tega se mu vsaj relativno povečuje potencialna energija (Kugovnik, Supej in Nemec, 2003).

3. CILJI IN NAMEN NALOGE

Glede na to, da se je tehnika alpskega smučanja v zadnjem obdobju precej spremenila, s tem pa tudi slovenska šola alpskega smučanja in da na temo šole smučanja ni bilo opravljenih veliko raziskav, je bil cilj naloge opraviti biomehansko analizo šole smučanja. Glavni cilj je bil preučiti osnovne mehanske parametre (hitrost, sile, energija) in njihovo povečevanje skozi osnovne storitve v slovenski šoli smučanja. Med seboj smo primerjali tudi izvedbe članov slovenske izobraževalne vrste komisije za alpsko smučanje pri ZUTS Slovenije (SLO DEMO TEAM) in na podlagi rezultatov ugotavljali ali si storitve v slovenski šoli smučanja smiselno sledijo (postopnost, varnost) in do kakšnih razlik prihaja med demonstratorji, ki predstavljajo najvišjo raven smučarskega znanja pri nas.

4. HIPOTEZE

- Osnovni mehanski parametri se v slovenski šoli alpskega smučanja logično stopnjujejo glede na zahtevnost storitev.
- Skladno s stopnjevanjem osnovnih storitev se tudi osnovni mehanski parametri zvišujejo pri vseh demonstratorjih.

5. METODE DELA

Za merjenje je bilo uporabljenih sedem demonstratorjev slovenske demonstratorske vrste alpskega smučanja. Posnetki so nastali z videokamero na smučišču v Kranjski Gori, kjer je vsak merjenec (eden izmed njih je bil izmerjen dvakrat z dvojimi različnimi smučmi) odsmučal pet storitev znotraj šole smučanja (smučarski loki s klinastimi zavoji, zavoj s klinastim odzivom – v drugem delu tudi z vbodom palice, osnovno vijuganje, ožji hodnik, širši hodnik) in tako smo dobili 45 video posnetkov. Meritve so merjenci opravljali v svojih smučih, z različnimi geometrijami. Video posnetki so bili shranjeni v AVI formatu (frekvenca 50 Hz). Analizirali smo jih z računalniškim programom VirtualDub, preko katerega smo določili točke začetkov in koncev posameznih zavojev.

Vsi demonstratorji so imeli na hrbtu tudi visoko ločljivo RTK GNSS («Real Time Kinematics Global Navigation Satellite System») napravo (Leica 1200 series, Leica Geosystems,...) iz katerih smo izračunali podatke o hitrostih, silah in energijskih izgubah znotraj voženj. Rover (merilna enota RTK GNSS sistema) in referenčna postaja (enota RTK GNSS sistema, ki oddaja korekcije v realnem času) sta bila sestavljena iz enakih strojnih delov: RTK GNSS sprejemnik Leica GX1230GG, antena in radijski modem. Referenčna postaja je bila postavljena na nepremično stojalo v bližini meritve, antena roverja pa je bila na 2 m dolgi geodetski palici. V času meritev je bilo vidnih najmanj 8 satelitov z elevacijskim kotom $>15^\circ$. Rover je bil spravljen v majhen nahrbtnik z anteno v neposredni bližini ramenskega obroča. Zajemanje je bilo pri 20 Hz z natančnostjo 5-7 mm horizontalno in 12-15 mm vertikalno. Vsak merjenec je moral pred izvedbo storitve narediti počep, s pomočjo katerega sta se sinhronizirali videokamera in GNSS naprava.

Podatke v željenih oblikah smo dobili s pomočjo x, y, z koordinat (GNSS) in linearne aproksimacije.

Hitrost smučarja na intervalu $(i-1, i)$ ter $(i, i+1)$, kjer so $i, i-1$ in $i+1$ točke v katerih smo s sistemom GPS izmerili prostorske koordinate smučarja.

$$\vec{v}_{i-1, i} = \frac{\vec{r}_i - \vec{r}_{i-1}}{\Delta t} \quad \vec{v}_{i, i+1} = \frac{\vec{r}_{i+1} - \vec{r}_i}{\Delta t}$$

Hitrost v točki i

$$\vec{v}_i = \frac{\vec{r}_{i+1} + \vec{r}_{i-1}}{2\Delta t}$$

Absolutna hitrost v točki i

$$|\vec{v}_i| = \frac{|\vec{r}_{i+1} + \vec{r}_{i-1}|}{2\Delta t}$$

kjer je absolutna vrednost vektorja

$$|\vec{r}_i| = \sqrt{x_i^2 + y_i^2 + z_i^2}$$

in so vrednosti x, y, z prostorske koordinate smučarja (naši vhodni podatki).

Pospešek v točki i

$$\vec{a}_i = \frac{\vec{v}_{i+1} - 2\vec{v}_i + \vec{v}_{i-1}}{2\Delta t}$$

Absolutna vrednost pospeška v točki i izražena z vhodnimi podatki

$$|\vec{a}_i| = \frac{|\vec{r}_{i+1} - 2\vec{r}_i + \vec{r}_{i-1}|}{2\Delta t^2}$$

Silo podlage na smučarja izpeljemo iz 2. Newtonovega zakona

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

Na smučarja delujeta sila teže ter sila podlage

$$\vec{F}_p + \vec{F}_g = m\vec{a}$$

Sila podlage na intervalu $(i-1, i+1)$ izražena z maso smučarja

$$\left(\frac{\vec{F}_p}{m}\right) = \vec{a}_i - \vec{g}$$

Izrek o ohranitvi mehanske energije pravi, da se skupna energija sistema ohranja, kadar nanj ne delujejo nekonzervativne sile.

$$\Delta W_{kin} + \Delta W_{pot} + \Delta W_{pr} = 0$$

Mehanska energija v točki i

$$W_{meh,i} = W_{kin,i} + W_{pot,i} ,$$

kjer je kinetična energija

$$W_{kin,i} = \frac{mv_i^2}{2}$$

in potencialna energija

$$W_{pot,i} = mgh_i$$

Specifična mehanska energija ob času i , je mehanska energija deljena z maso smučarja

$$\frac{W_{meh,i}}{m} = \frac{v_i^2}{2} + gh_i$$

Ker na smučarja delujejo sila trenja, upora ter druge nekonzervativne sile, prihaja do energijskih izgub, zato se mehanska energija ne ohranja. Energijske izgube so enake spremembi mehanske energije med posameznimi intervali

$$\Delta\left(\frac{W_{meh(i-1,i)}}{m}\right) = \frac{v_i^2 - v_{i-1}^2}{2} + g(h_i - h_{i-1})$$

Z dodatkom za Microsoft Excel smo rezultate interpolirali s kubično spline krivuljo (»cubic spline«). Pri tej interpolaciji izračunamo kubično funkcijo (torej polinom) iz tabeliranih vrednosti funkcije y_i v intervalu od x_1 do x_n , kjer teče indeks i med 1 in n . Kubična spline interpolacija je definirana tako, da se med dvema sosednjima točkama ujema z vrednostjo vsake točke, dodatno pa uporablja informacijo o funkciji y'' . Funkcija y'' predstavlja drugi odvod funkcije y .

Kubično spline interpolacijo smo izbrali, ker je koristna pri primerih iz mehanike, saj poleg vrednosti funkcije upošteva tudi informacijo o drugem odvodu funkcije in omogoča določitev točk v vmesnih časih, torej med dvema izmerkoma, ko sicer meritve nimamo. Tako smo lahko meritve razdelili po zavojih in vsak zavoj razdelili na sto delov, kjer je cikel zavoj predstavljen od 0 do 100%.

Za vsakega posameznika ter za vsako vožnjo posebej smo izdelali diagrame ter tako prišli do grafičnih ponazoritev hitrosti, sil in energijskih izgub za vsak zavoje. Izračunali smo tudi povprečje ter standardno deviacijo mehanskih parametrov za vsakega posameznika, za vsako storitev. Nato smo za vsako storitev izračunali tudi povprečje posameznih parametrov, od vseh demonstratorjev skupaj.

6. REZULTATI

Za lažjo primerjavo in razumevanje rezultatov so v spodnjih tabelah in grafih prikazani najbolj pomembni podatki, na podlagi katerih bom poskušal potrditi svoje hipoteze.

6.1. Smučarski loki s klinastimi zavoji

V spodnji tabeli vidimo, da so se najvišje hitrosti merjenecv gibale med 4,1 m/s (merjenec E) in 5,46 m/s (merjenec A), najnižja pa je bila 2,4 m/s (merjenec B). Skupna povprečna hitrost pri klinastih lokih je bila 3,82 m/s.

Tabela 1: Hitrost (m/s) pri smučarskih lokih s klinastimi zavoji

merjenec	max	min	povprečje	stand. odklon
A	5,46	3,76	4,54	0,38
B	4,37	2,4	3,18	0,45
C	4,5	3,3	3,86	0,19
D	4,35	3,2	3,71	0,3
E	4,1	2,8	3,49	0,31
F	4,3	2,57	3,21	0,23
G	5,1	3,8	4,45	0,26
H	4,9	3,5	4,13	0,37

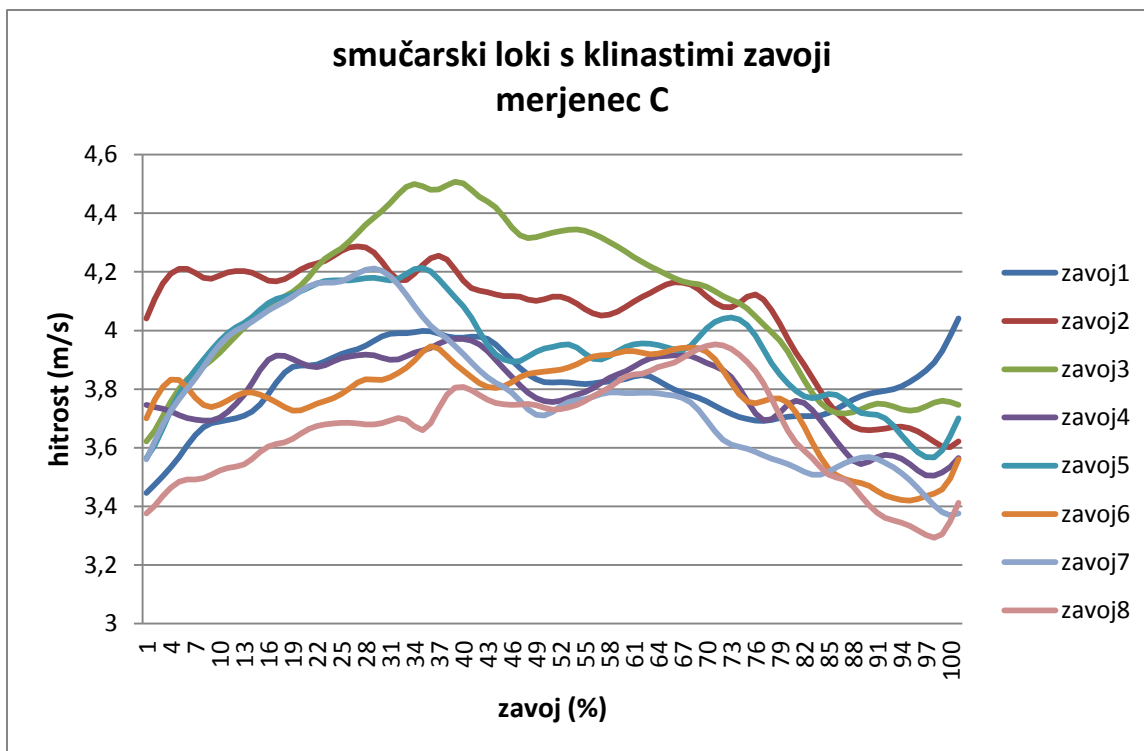


Diagram 1: Hitrost posameznih zavojev pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec C

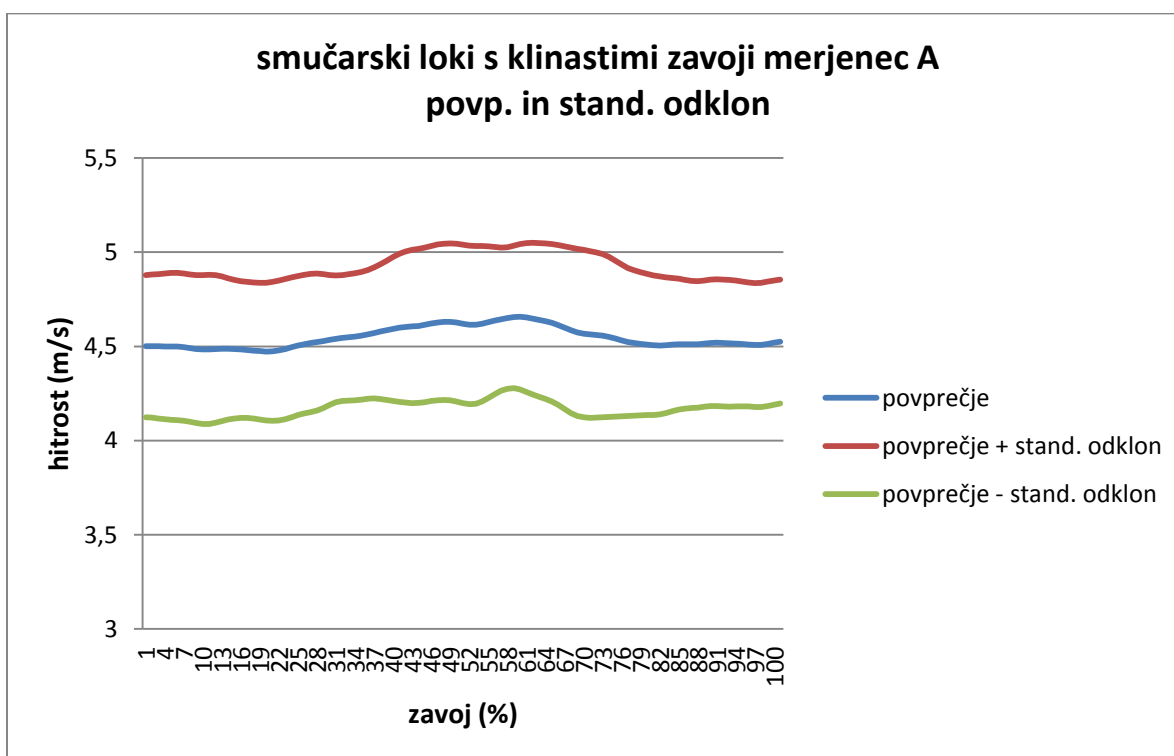


Diagram 2: Povprečje hitrosti pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec A

Kot vidimo v tabeli 2 so bile razlike v izmerjenih silah pri klinastih lokih minimalne, saj če pogledamo njihova povprečja vidimo, da so se ta gibala med 1,02 MG in 1,04 MG. Tudi pri max in min vrednostih ni bilo večjih razlik.

Tabela 2: Sile (MG – v enotah sile teže) pri smučarskih lokih s klinastimi zavoji

merjenec	max	min	povprečje	stand. odklon
A	1,26	0,8	1,04	0,09
B	1,2	0,81	1,02	0,06
C	1,23	0,88	1,03	0,04
D	1,21	0,88	1,03	0,07
E	1,24	0,84	1,02	0,08
F	1,26	0,82	1,02	0,04
G	1,15	0,85	1,03	0,05
H	1,25	0,83	1,04	0,08

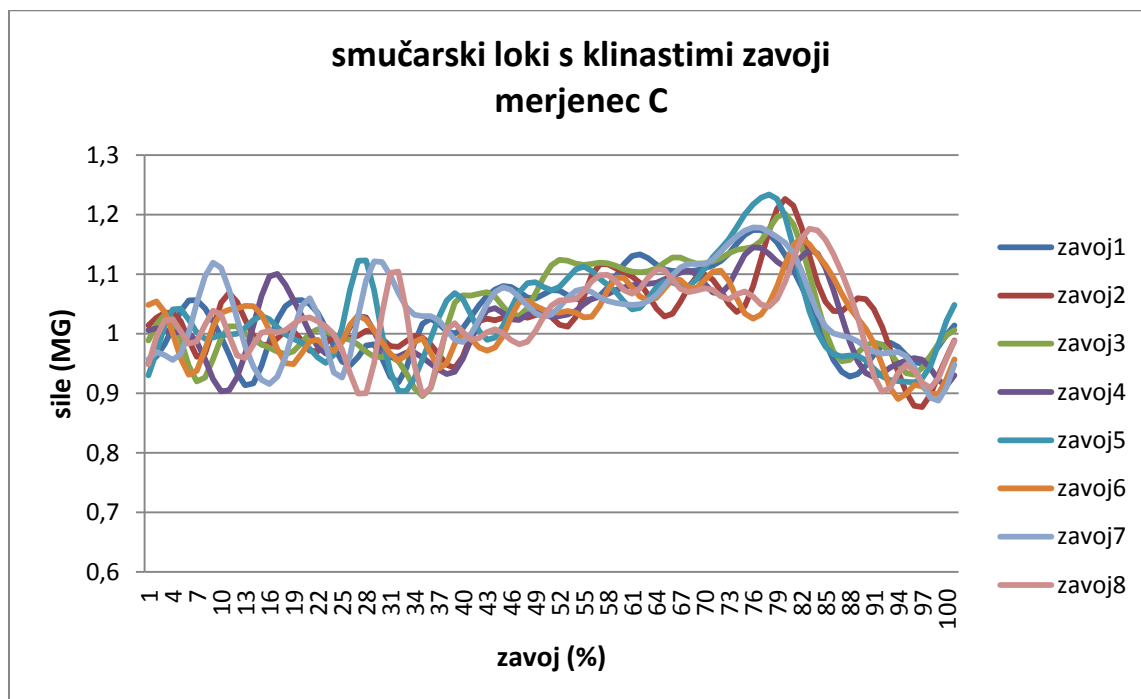


Diagram 3: Sile posameznih zavojev pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec C

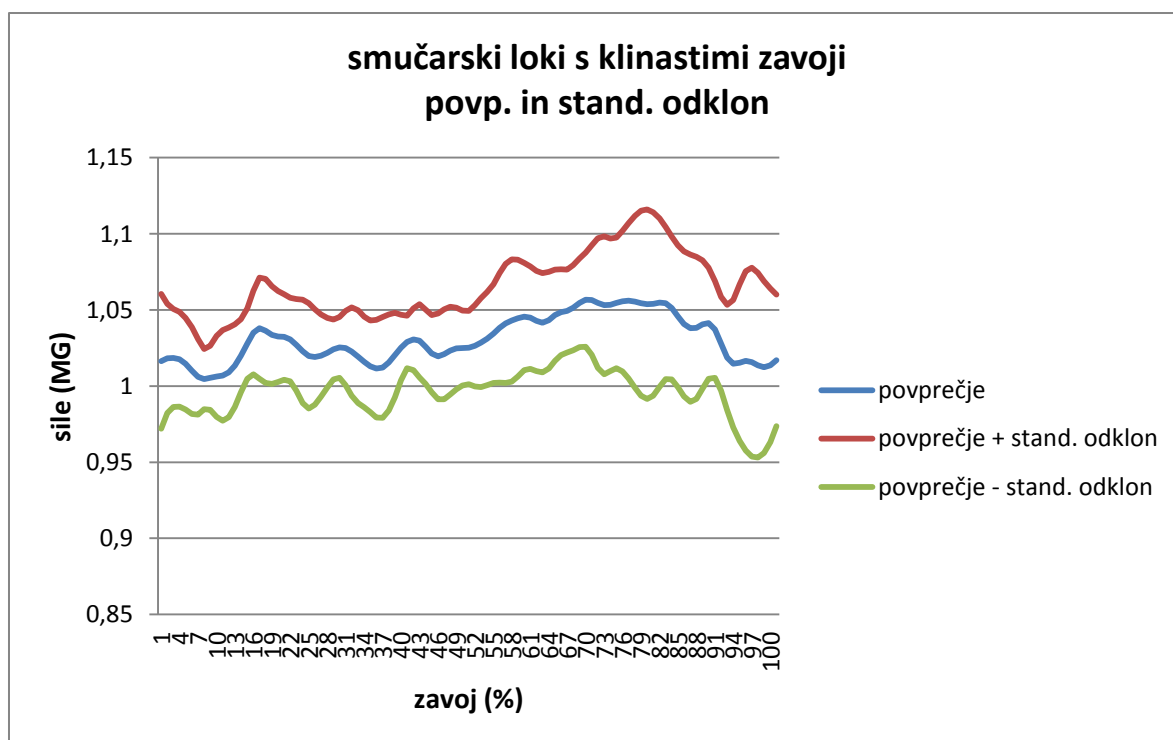


Diagram 4: Skupno povprečje sil pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji

Pri klinastih lokih je bila najnižja izmerjena vrednost energijskih izgub $-12,2 \text{ J/kg}\cdot\text{m}$ pri dveh merjencih (A,C), kar kaže na velikost dela, ki ga mora smučar vložiti v to, da smuča zavije, najvišja izmerjena vrednost (odziv smučiči) pa $4,3 \text{ J/kg}\cdot\text{m}$ (merjenec H). Gledano celotne zavoje vidimo, da so se povprečne izmerjene vrednosti energijskih izgub gibale med $-2,8 \text{ J/kg}\cdot\text{m}$ (merjenec B) in $-4,2 \text{ J/kg}\cdot\text{m}$ (merjenec A). Skupna energijska izguba (vsi merjenci skupaj) pa je bila $-3,53 \text{ J/kg}\cdot\text{m}$.

Tabela 3: Energijske izgube ($\text{J/kg}\cdot\text{m}$)

merjenec	max	min	povprečje	stand. odklon
A	3,16	-12,2	-4,2	3,62
B	2,7	-9,6	-2,8	2,22
C	2,5	-12,2	-3,85	1,43
D	2,3	-11,9	-3,66	3,25
E	4,2	-10,25	-2,99	3,26
F	4,1	-10,9	-2,8	1,23
G	1,65	-10,3	-4,1	2,21
H	4,3	-11,2	-3,75	3,54

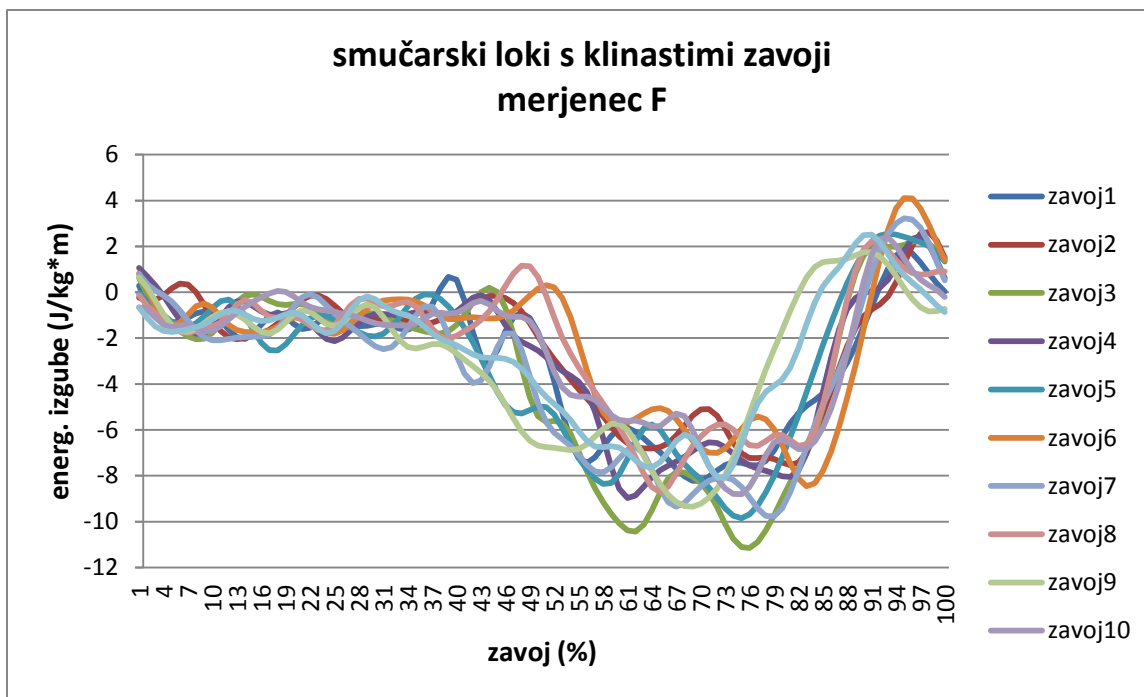


Diagram 5: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec F

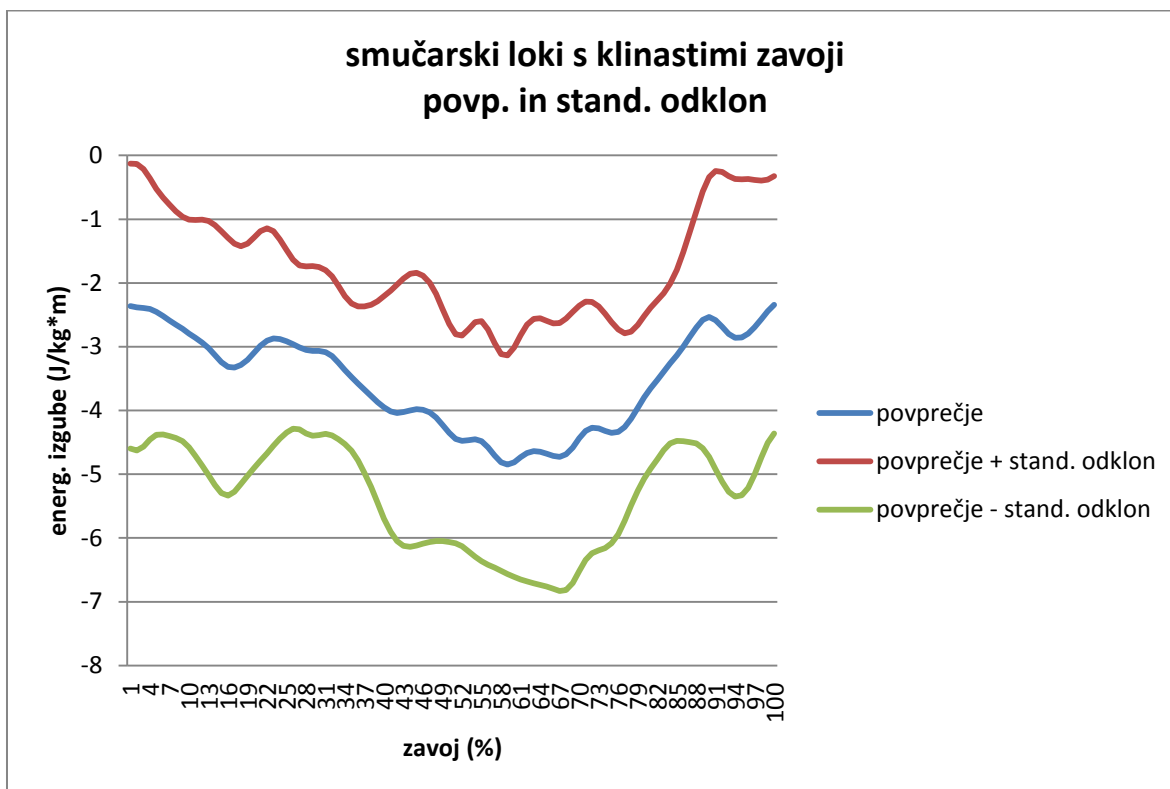


Diagram 6: Skupno povprečje energijskih izgub pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji

6.2. Zavoje s klinastim odzivom / vbod palice

Hitrost (tabela 4) je v primerjavi s prejšnjo storitvijo že narastla in se je pri klinastih odzivih povprečno gibala med 4,89 m/s (merjenec E) in 7,47 m/s (merjenec H).

Tabela 4: Hitrost (m/s)

merjenec	max	min	povprečje	stand. odklon
A	6,29	5,15	5,67	0,23
B	6,0	4,38	5,19	0,41
C	6,55	4,23	5,43	0,57
D	5,81	4,43	5,09	0,41
E	5,66	4,58	4,89	0,58
F	6,18	4,42	5,22	0,52
G	7,30	5,98	6,71	0,31
H	8,49	6,96	7,47	0,93

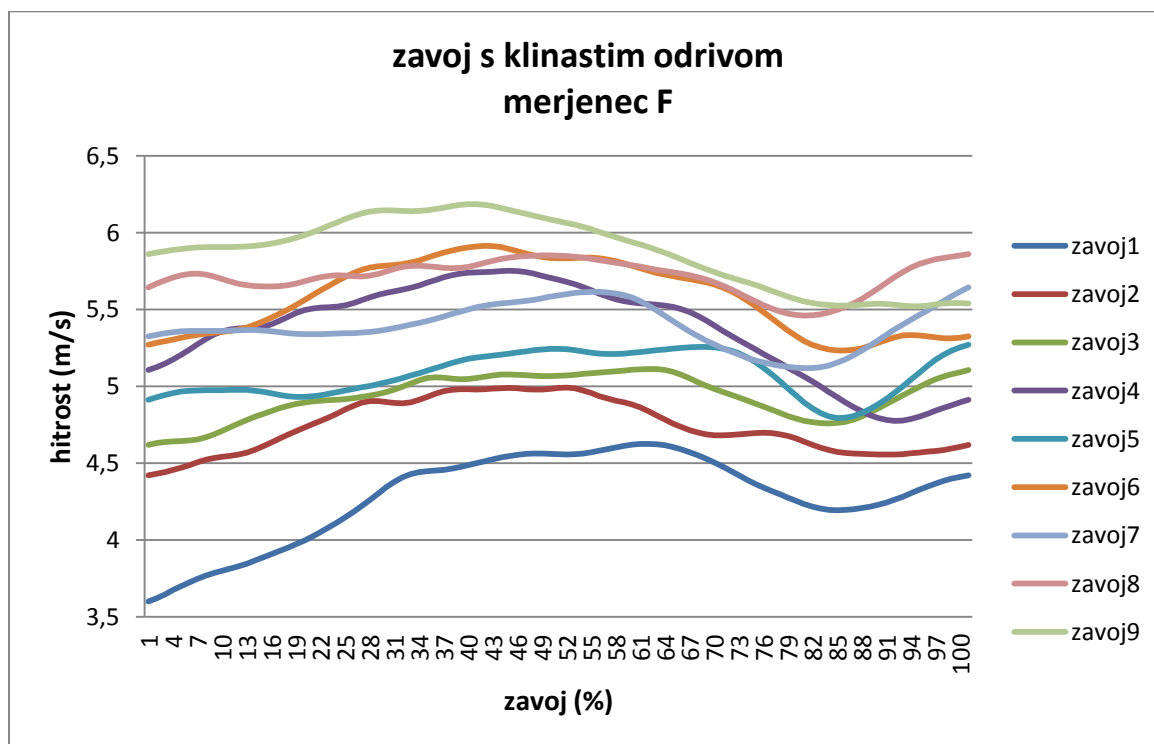


Diagram 7: Hitrost posameznih zavojev pri storitvi zavoj s klinastim odzivom – merjenec F

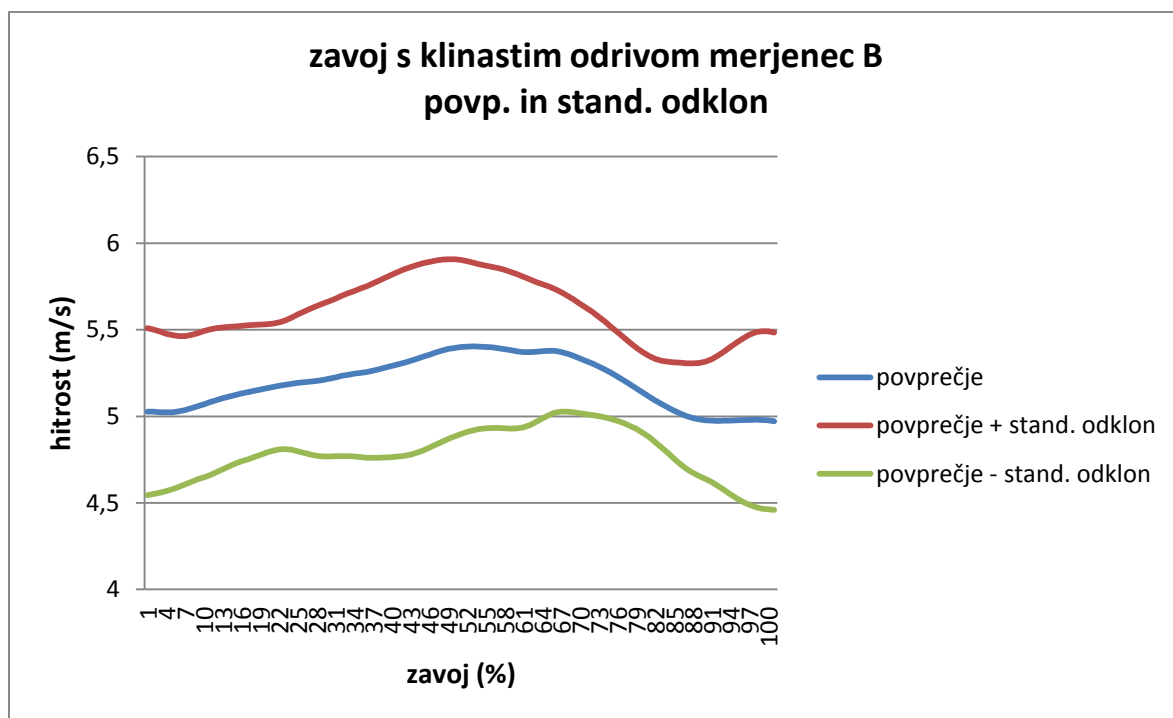


Diagram 8: Povprečje hitrosti pri storitvi zavoj s klinastim odzivom – merjenec B

V tabeli sil za storitev zavoj s klinastim odzivom vidimo, da se najvišje vrednosti sil posameznih zavojev gibljejo med 1,34 MG (merjenec A) in 1,55 MG (merjenec C), najnižje izmerjene vrednosti sil posameznih zavojev pa so od 0,53 MG (merjenec G) in do 0,77MG (merjenca A in E). Skupno povprečje sil vseh zavojev, vseh merjencev pri storitvi zavoj s klinastim odzivom je 1,08 MG.

Tabela 5: Sile (MG)

merjenec	max	min	povprečje	stand. odklon
A	1,34	0,77	1,05	0,1
B	1,46	0,62	1,07	0,13
C	1,55	0,69	1,07	0,07
D	1,40	0,71	1,08	0,15
E	1,28	0,77	1,06	0,12
F	1,38	0,69	1,07	0,06
G	1,48	0,53	1,10	0,11
H	1,53	0,67	1,12	0,24

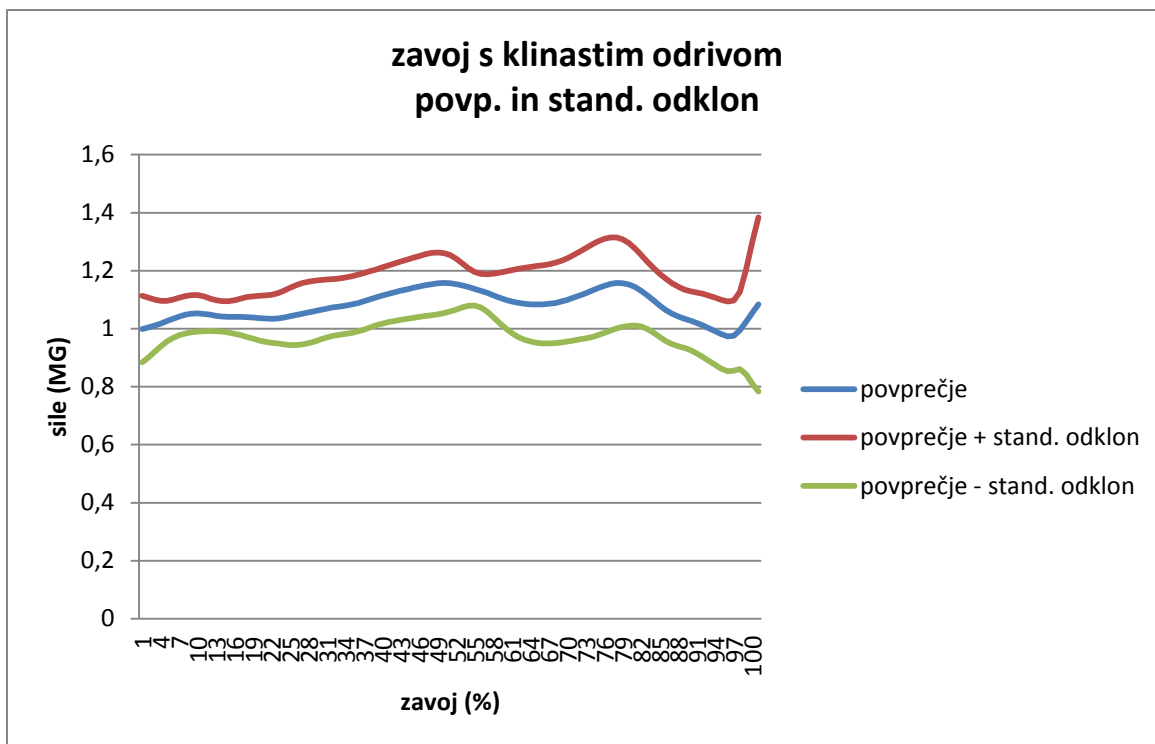


Diagram 9: Skupno povprečje sil pri storitvi zavoj s klinastim odzivom

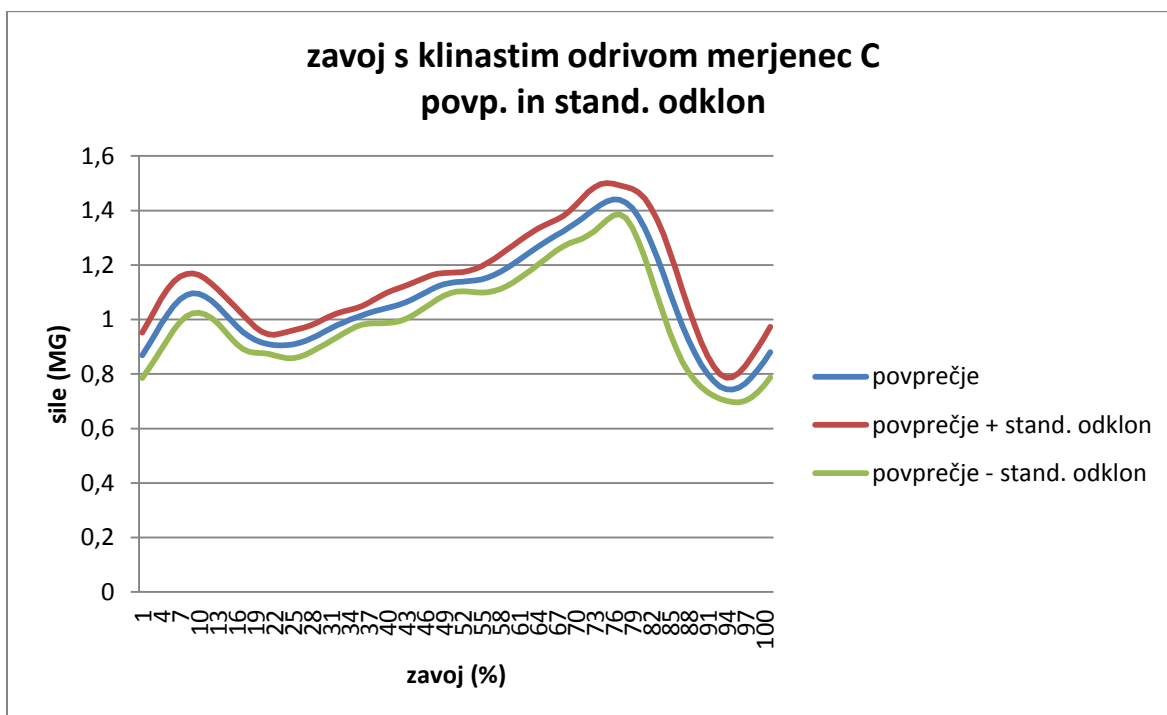


Diagram 10: Povprečje sil pri storitvi zavoj s klinastim odzivom – merjenec C

V tabeli 6 vidimo, da so bile velikosti energij (max), ko so jih merjenci zaradi odzivnosti smuči pridobili pri klinastih odrivih, že večje kot pri klinastih lokih in so se gibale med 5,61J/kg*m (merjenec E) ter 11,64J/kg*m (merjenec H). Skupaj z energijskimi izgubami (min) pa vidimo, da so se povprečne izgube gibale med -5,89 J/kg*m (merjenec E) in 7,19 J/kg*m (merjenec C).

Tabela 6: Energijske izgube (J/kg*m)

merjenec	max	min	povprečje	stand. odklon
A	6,26	-15,48	-6,99	4,64
B	10,03	-17,81	-7,0	4,88
C	10,5	-23,72	-7,19	2,88
D	10,43	-20,45	-6,89	7,92
E	5,61	-15,1	-5,89	5,64
F	9,5	-17,97	-6,41	2,42
G	7,29	-20,51	-8,63	3,9
H	11,64	-25,77	-7,0	14,93

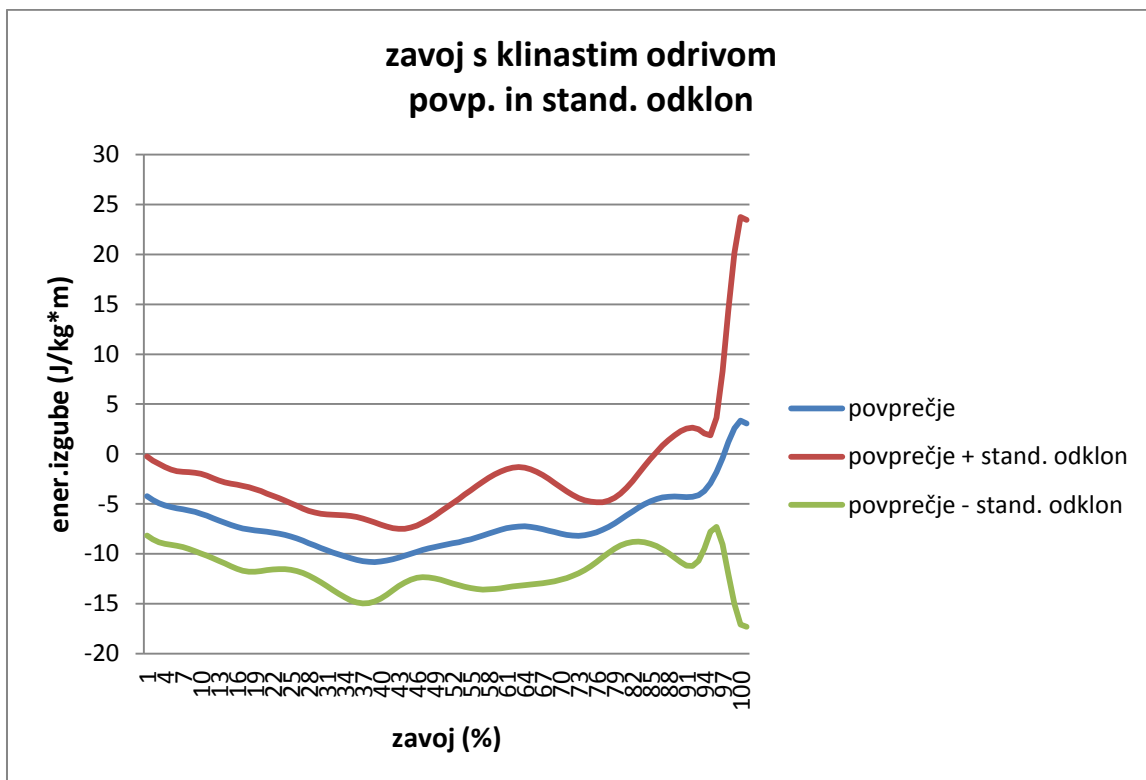


Diagram 11: Skupno povprečje energijskih izgub pri storitvi zavoj s klinastim odrivom

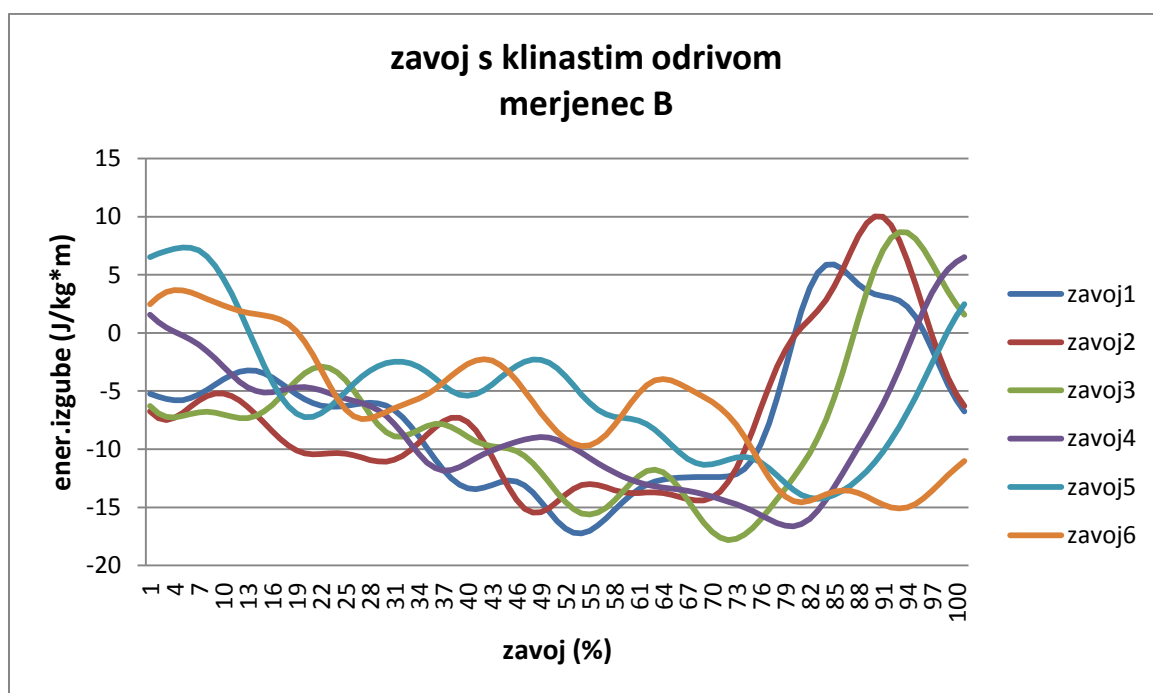


Diagram 12: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi zavoj s klinastim odrivom – merjenec B

6.3. Osnovno vijuganje

V tabelah 7, 8 in 9 lahko vidimo, da so se pri storitvi osnovno vijuganje, v primerjavi s prejšnjima storitvama, povečale vrednosti vseh treh mehanskih parametrov. Skupna povprečna hitrost vseh merjencev pri osnovnem vijuganju je bila že 7,95 m/s, povprečne hitrosti posameznih merjencev (tabela 7) pa so bile med 6,91 m/s in 9,55 m/s.

Tabela 7: Hitrost (m/s) pri osnovnem vijuganju

merjenec	max	min	povprečje	stand. odklon
A	7,53	6,3	6,91	0,28
B	8,52	7,07	7,72	0,45
C	8,98	7,25	8,03	0,29
D	7,65	6,03	6,99	0,38
E	9,02	7,6	8,25	0,37
F	7,85	6,38	7,08	0,45
G	9,53	8,45	9,04	0,27
H	10,66	8,34	9,55	0,71

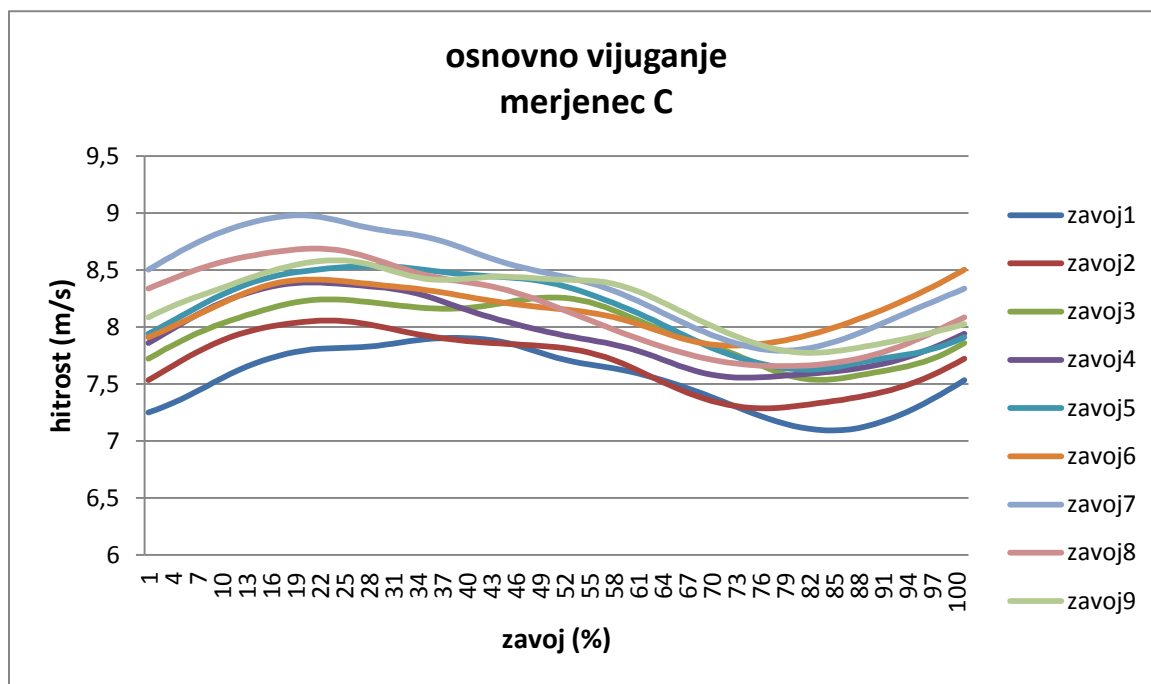


Diagram 13: Hitrost posameznih zavojev pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec C

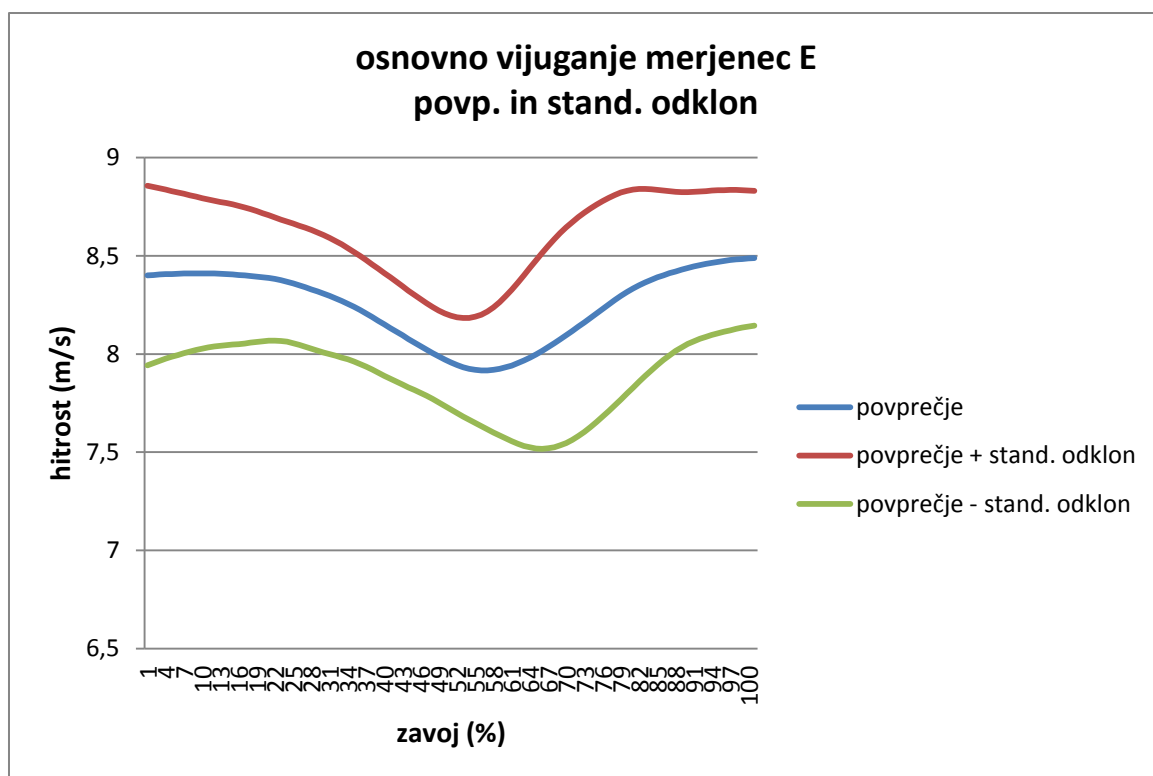


Diagram 14: Povprečna hitrost pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec E

V tabeli 8, ki prikazuje velikosti sil pri osnovnem vijuganju, vidimo, da med merjenci ni bilo večjih razlik in so se njihove najvišje vrednosti gibale med 1,57 MG (merjenec A) in 1,85 MG (merjenec H), najnižje pa med 0,27 MG (merjenec G) in 0,57 MG (merjenec A). Na podlagi teh rezultatov je bilo skupno povprečje sil vseh merjencev 1,14 MG.

Tabela 8: Sile (MG) pri osnovnem vijuganju

merjenec	max	min	povprečje	stand. odklon
A	1,57	0,57	1,16	0,23
B	1,59	0,31	1,14	0,28
C	1,67	0,44	1,1	0,08
D	1,65	0,3	1,14	0,38
E	1,69	0,51	1,12	0,17
F	1,68	0,51	1,1	0,09
G	1,69	0,27	1,12	0,4
H	1,85	0,49	1,25	0,49

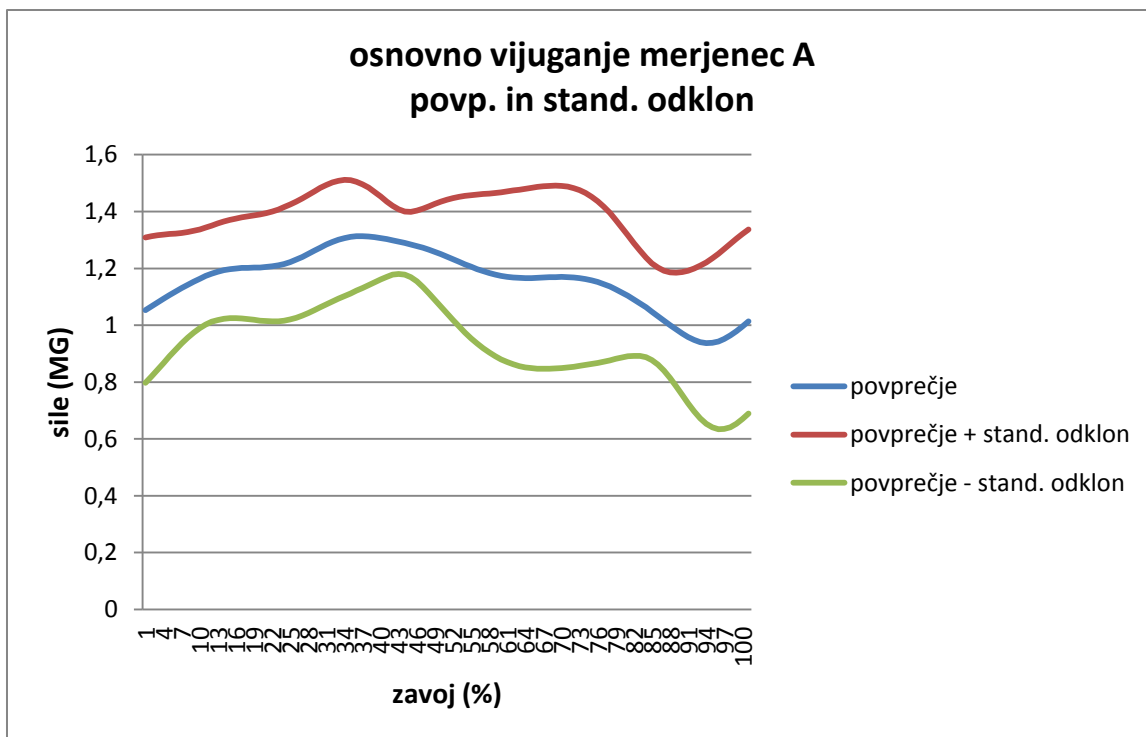


Diagram 15: Povprečje sil pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec A

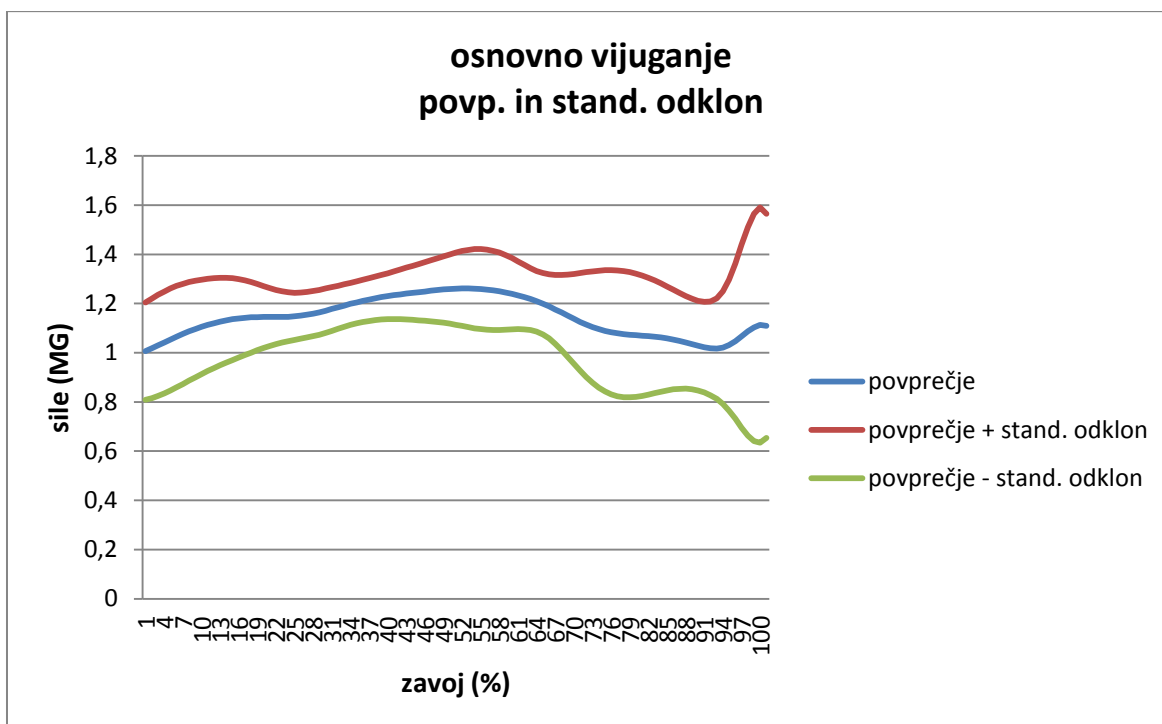


Diagram 16: Skupno povprečje sil pri storitvi osnovno vijuganje

Iz rezultatov (tabela 9) razberemo, da je bila največja energijska izguba izmerjena pri merjencu H (-47,53 J/kg*m), največji odziv smuči (dobljena energija) pa je zaznalo pri merjencu E (+18,41 J/kg*m). Skupno povprečje energijskih izgub merjencev za izpeljavo zavoja je bilo -11,92 J/kg*m, posamezni merjenci pa so povprečno za zavoj porabili med -8,86 J/kg*m (merjenec A) in -15,62 J/kg*m (merjenec H).

Tabela 9: Energijske izgube (J/kg*m)

merjenec	max	min	povprečje	stand. odklon
A	12,2	-25,5	-8,86	9,98
B	10,61	-26,14	-11,89	11,04
C	15,1	-33,9	-11,25	3,88
D	13,64	-27,45	-10,81	12,58
E	18,41	-30,38	-12,53	6,96
F	11,90	-26,26	-10,64	3,1
G	15,97	-40,24	-13,76	16,15
H	13,87	-47,53	-15,62	18,66

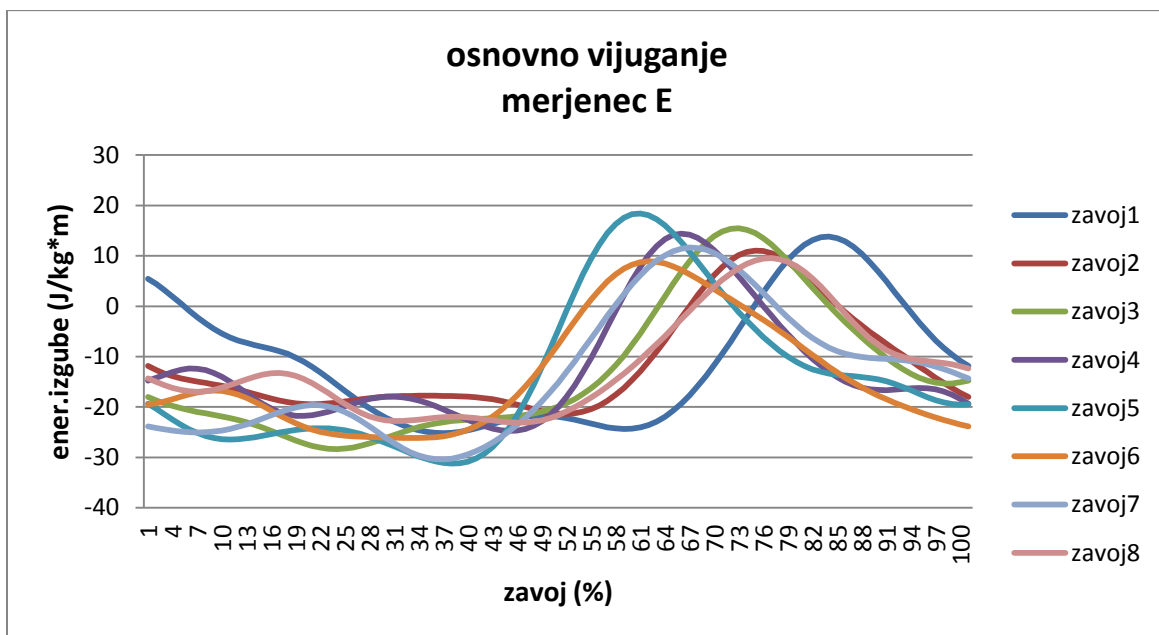


Diagram 17: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec E

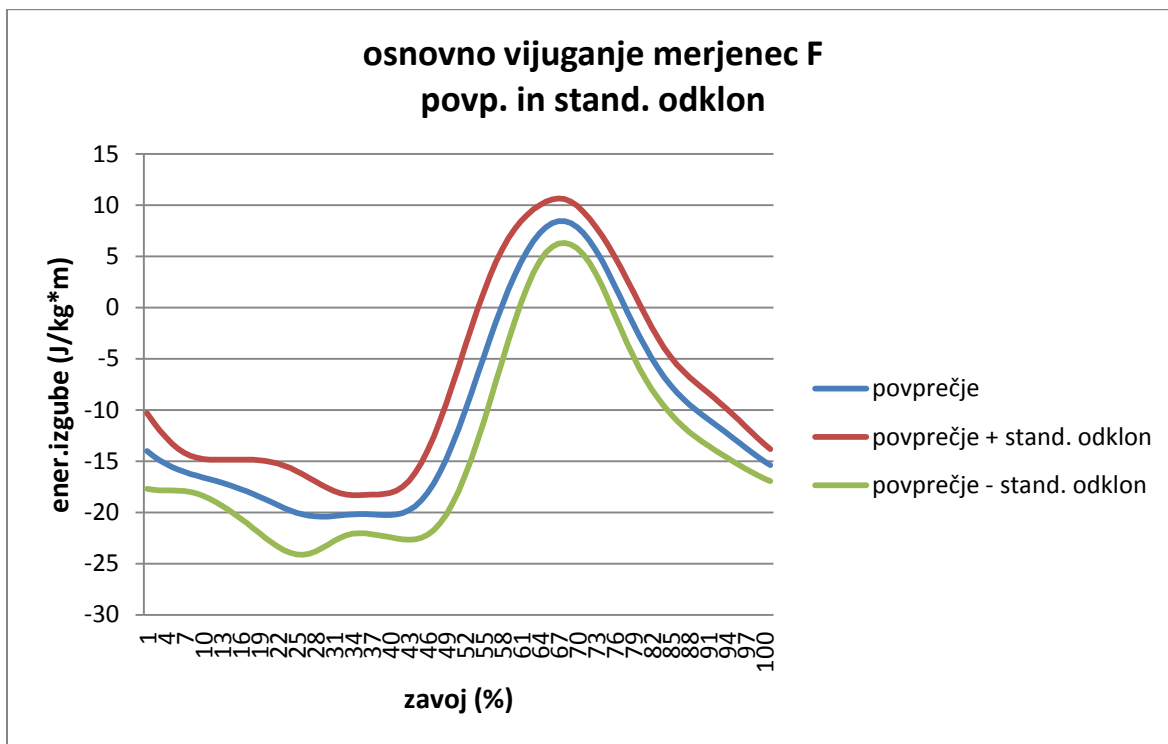


Diagram Diagram 18: Povprečje energijskih izgub pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec F

6.4. Terensko vijuganje v širše hodniku

Najvišje hitrosti (tabela 10) pri širšem hodniku so se gibale med 11,37 m/s (merjenec A) in 15,12 m/s (merjenec H). Nekoliko večje razlike med merjenci že lahko pripišemo večji težavnosti storitve in pa razliki v opremi merjencev (polmer smuči). Ta razlika se opazi tudi pri povprečni hitrosti merjencev.

Tabela 10: Hitrost (m/s) pri širšem hodniku

merjenec	max	min	povprečje	stand. odklon
A	11,37	6,88	9,38	1,49
B	12,95	12,02	12,56	0,17
C	14,46	10,33	13,19	1,07
D	14,81	13,5	14,36	0,65
E	13,58	12,44	13,06	0,25
F	14,9	11,06	13,84	1,07
G	13,48	11,86	12,82	0,36
H	15,12	13,76	14,46	0,3

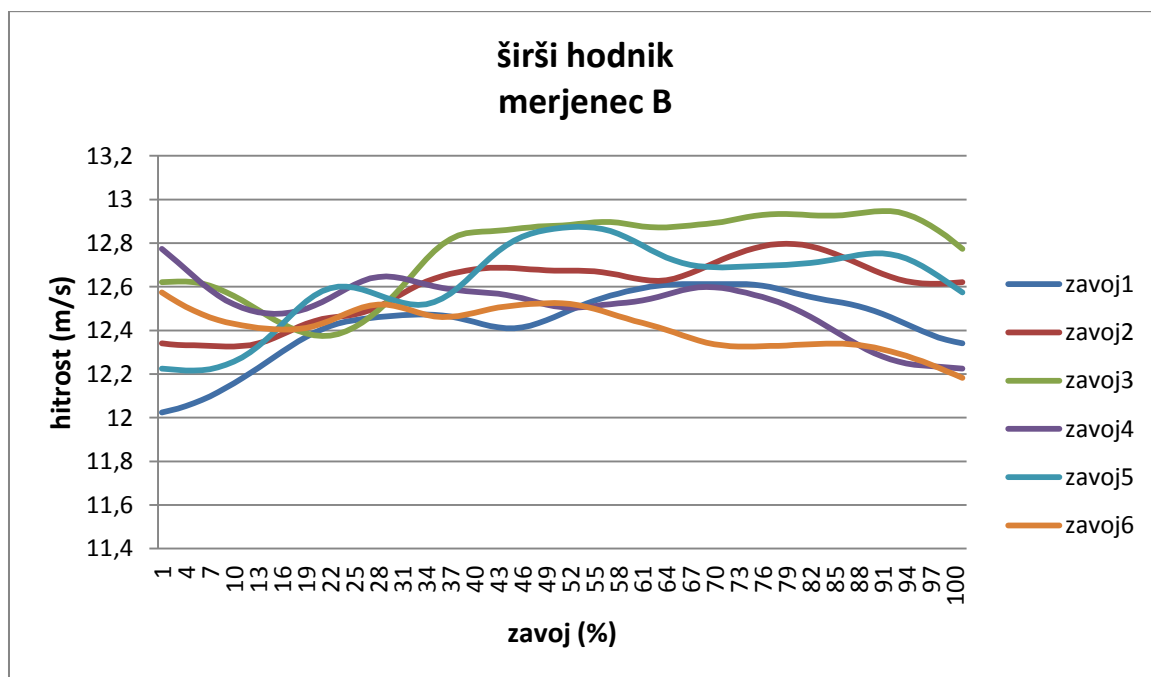


Diagram 19: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi širši hodnik – merjenec B

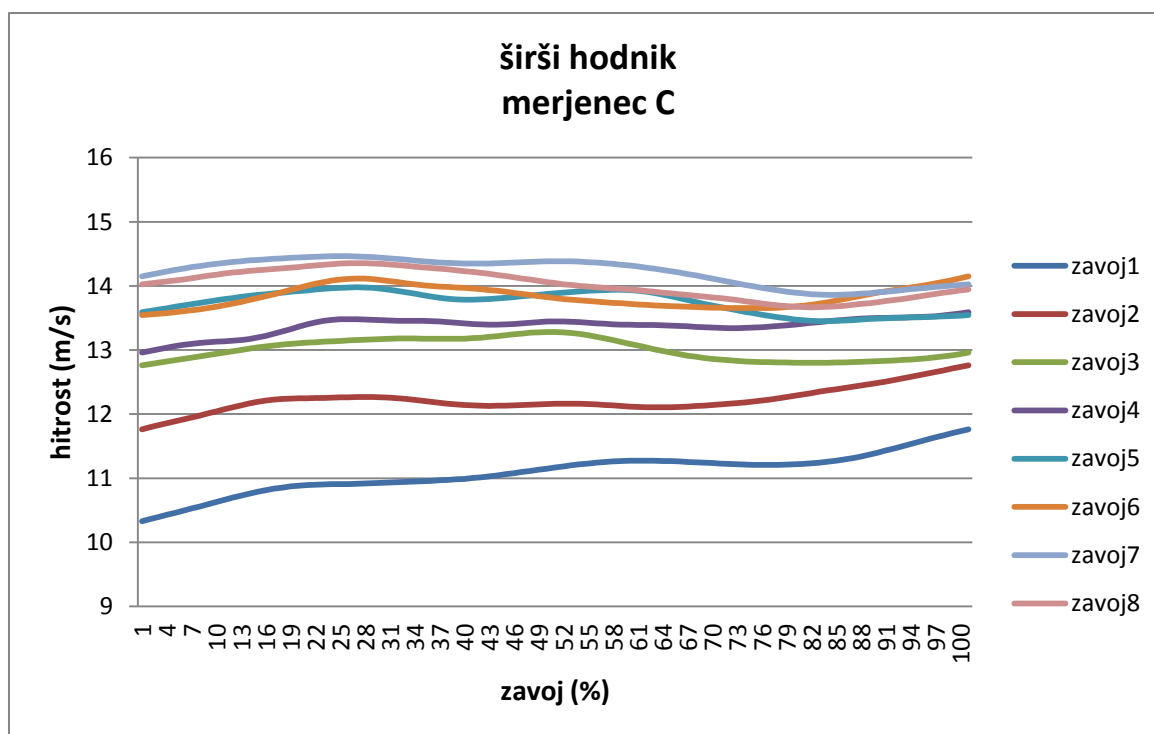


Diagram 20: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi širši hodnik – merjenec C

V spodnji tabeli lahko opazimo, da so pri širšem hodniku najvišje vrednosti sil pri dveh merjencih že prekoračile velikost 2 MG. Vidimo tudi, da za razliko od povprečnih hitrosti, pri povprečnih silah, med merjenci ni prihajalo do večjih razlik.

Tabela 11: Sile (MG) pri širšem hodniku

merjenec	max	min	povprečje	stand. odklon
A	1,92	0,44	1,21	0,48
B	2,01	0,14	1,27	0,33
C	1,95	0,25	1,18	0,13
D	1,76	0,07	1,35	0,36
E	1,95	0,36	1,28	0,46
F	1,87	0,53	1,22	0,15
G	2,1	0,25	1,33	0,5
H	1,94	0,28	1,37	0,32

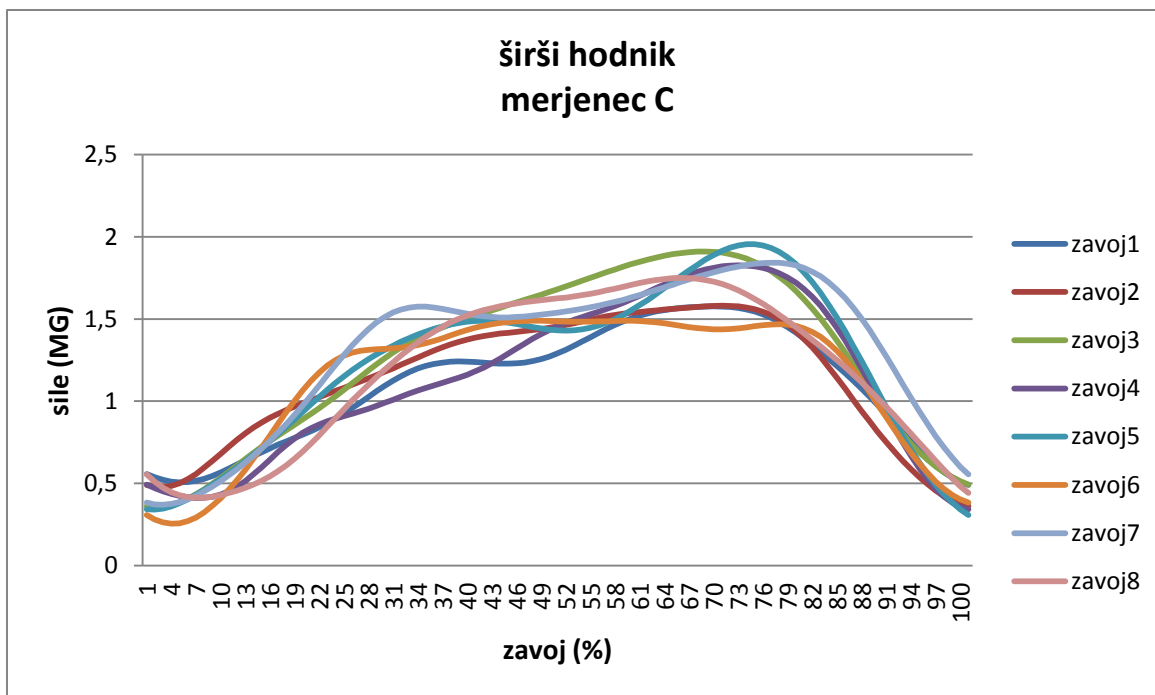


Diagram 21: Sile posameznih zavojev pri storitvi širši hodnik – merjenec C

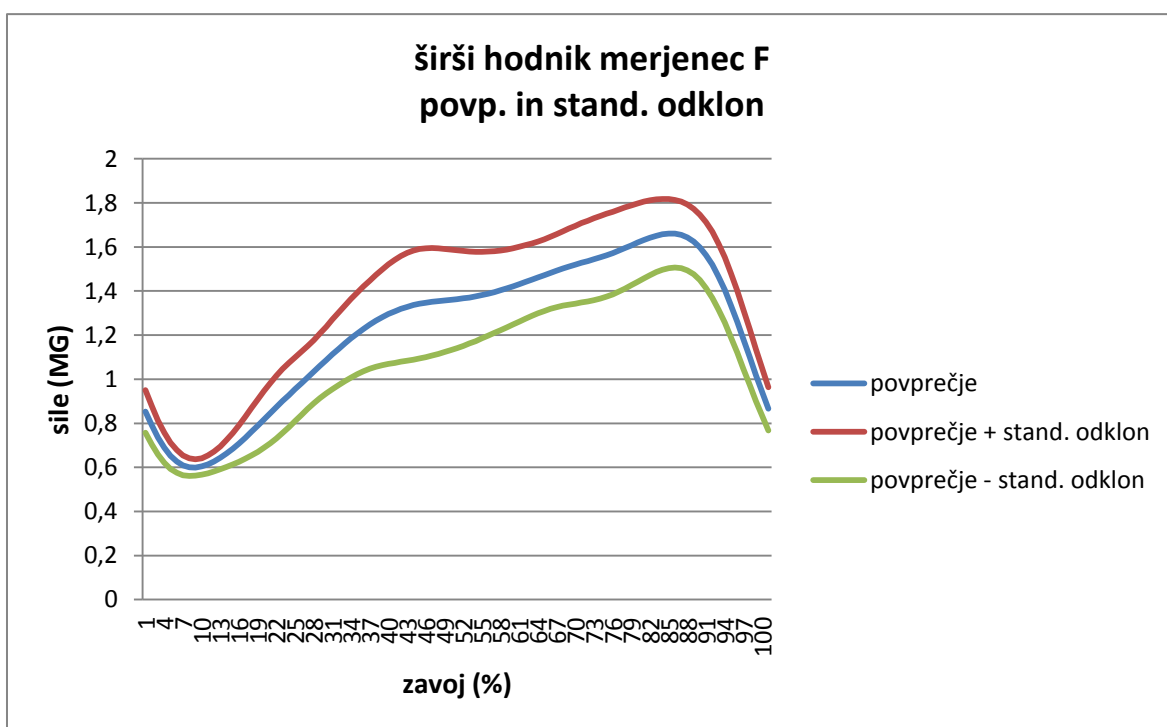


Diagram 22: Povprečje sil pri storitvi širši hodnik – merjenec F

Iz tabele 12 lahko razberemo, da so se energijske izgube, v primerjavi s prejšnjimi storitvami, pri širšem hodniku precej povečale (-57,61 J/kg*m merjenec D). Povprečne izgube so se tako pri večini gibale že okoli oz. nad -20 J/kg*m.

Tabela 12: Energijske izgube (J/kg*m) pri širšem hodniku

merjenec	max	min	povprečje	stand. odklon
A	13,42	-36,36	-15,42	14,82
B	18,31	-45,55	-20,28	9,76
C	11,41	-49,47	-19,05	7,34
D	22,58	-57,61	-23,85	53,35
E	21,85	-44,02	-21,41	13,23
F	17,18	-42,84	-18,27	7,29
G	11,46	-46,24	-19,07	13,43
H	18,81	-56,79	-23,98	13,67

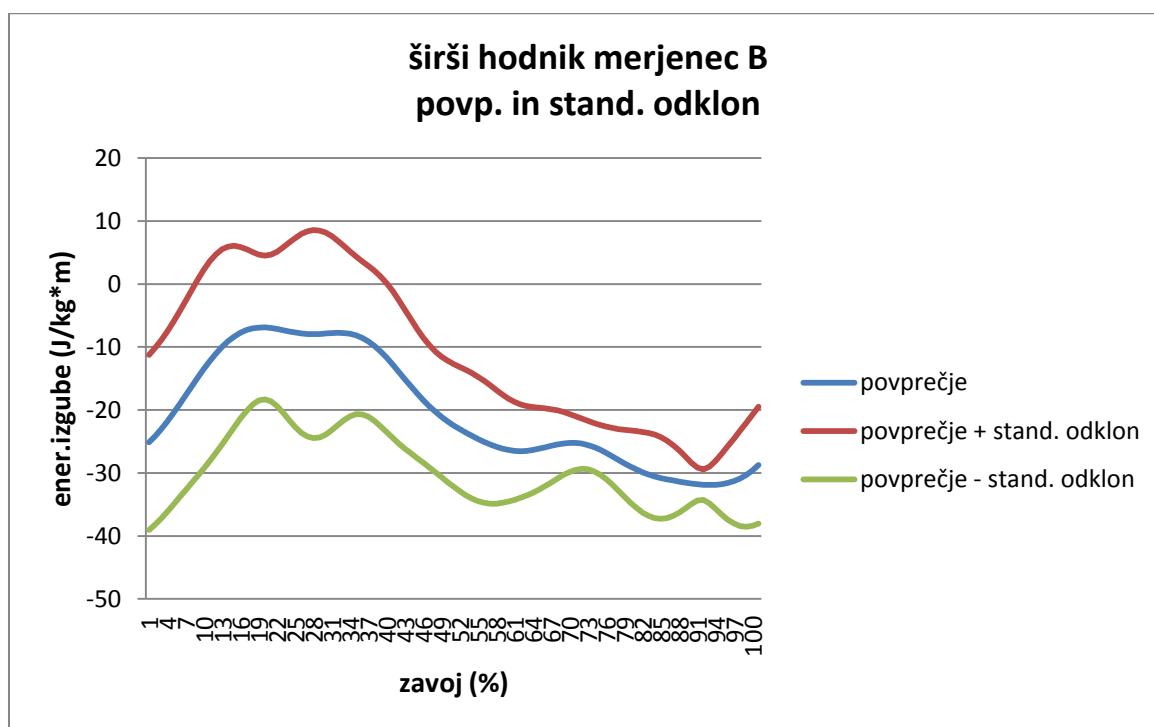


Diagram 23: Povprečje energijskih izgub pri storitvi širši hodnik – merjenec B

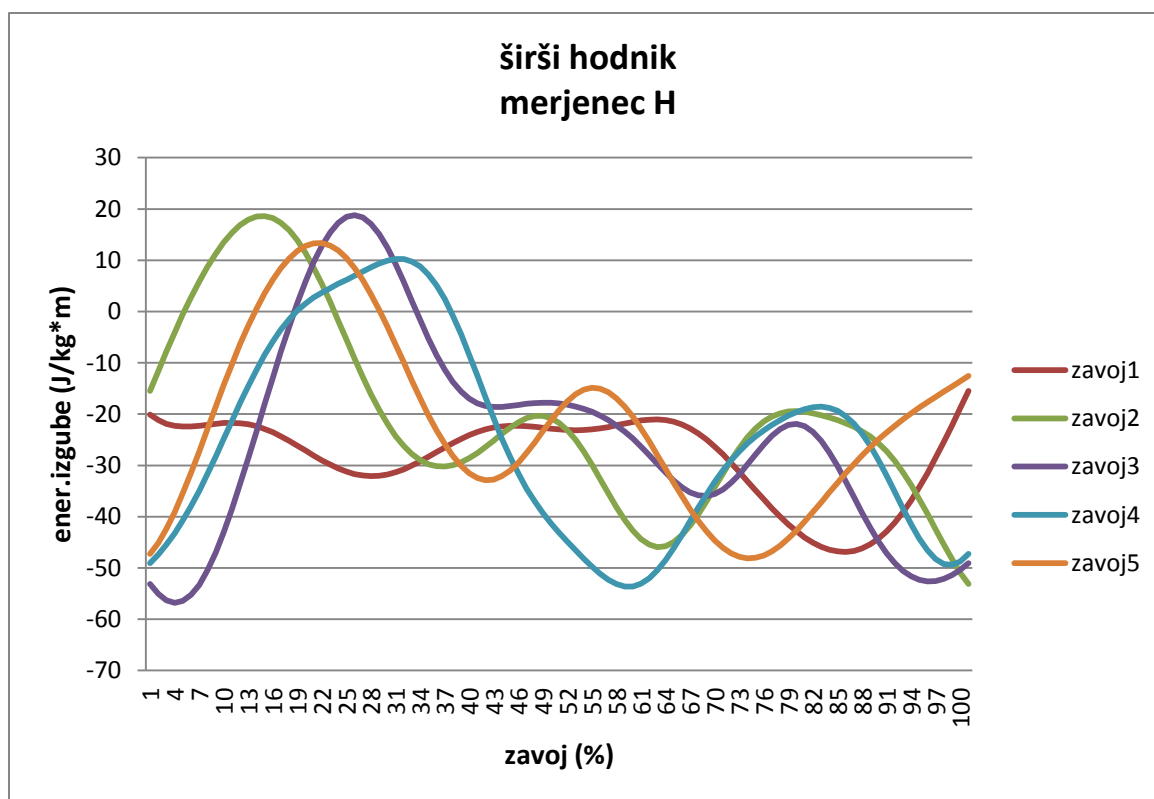


Diagram 24: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi širši hodnik – merjenec H

6.5. Terensko vijuganje v ožjem hodniku

Tako kot pri širšem hodniku, lahko tudi pri ožjem hodniku opazimo, da so bile razlike v hitrostih (tabela 13) med merjenci kar velike (merjenec A 8,3 m/s; merjenec D 17,06 m/s). Tudi tukaj lahko to pripisujemo zahtevnosti storitve in pa različnemu polmeru smuči merjencev.

Tabela 13: Hitrost (m/s) pri ožjem hodniku

merjenec	max	min	povprečje	stand. odklon
A	8,3	6,31	7,36	0,59
B	13,2	12,06	12,61	0,25
C	10,75	7,54	9,15	0,5
D	17,06	13,77	16,09	0,89
E	14,89	12,62	13,97	0,54
F	11,63	8,32	10,77	0,8
G	14,93	13,55	14,47	0,32
H	12,78	9,1	11,75	0,89

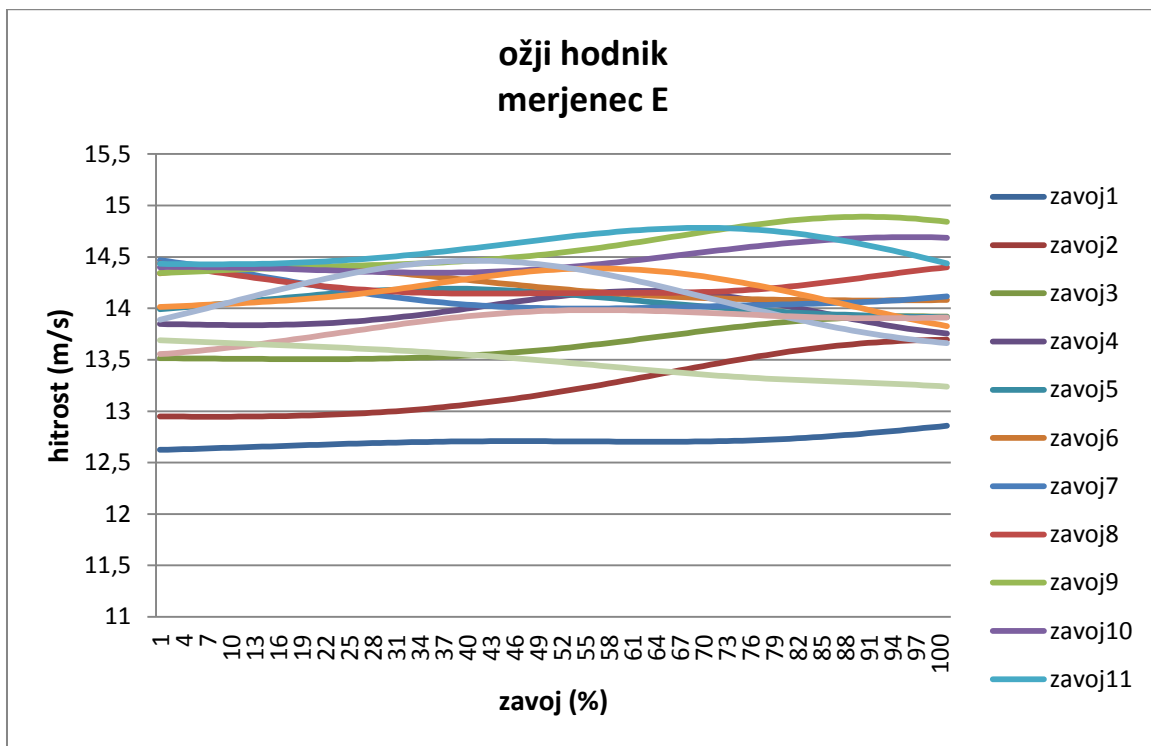


Diagram 25: Hitrost posameznih zavojev pri storitvi ožji hodnik – merjenec E

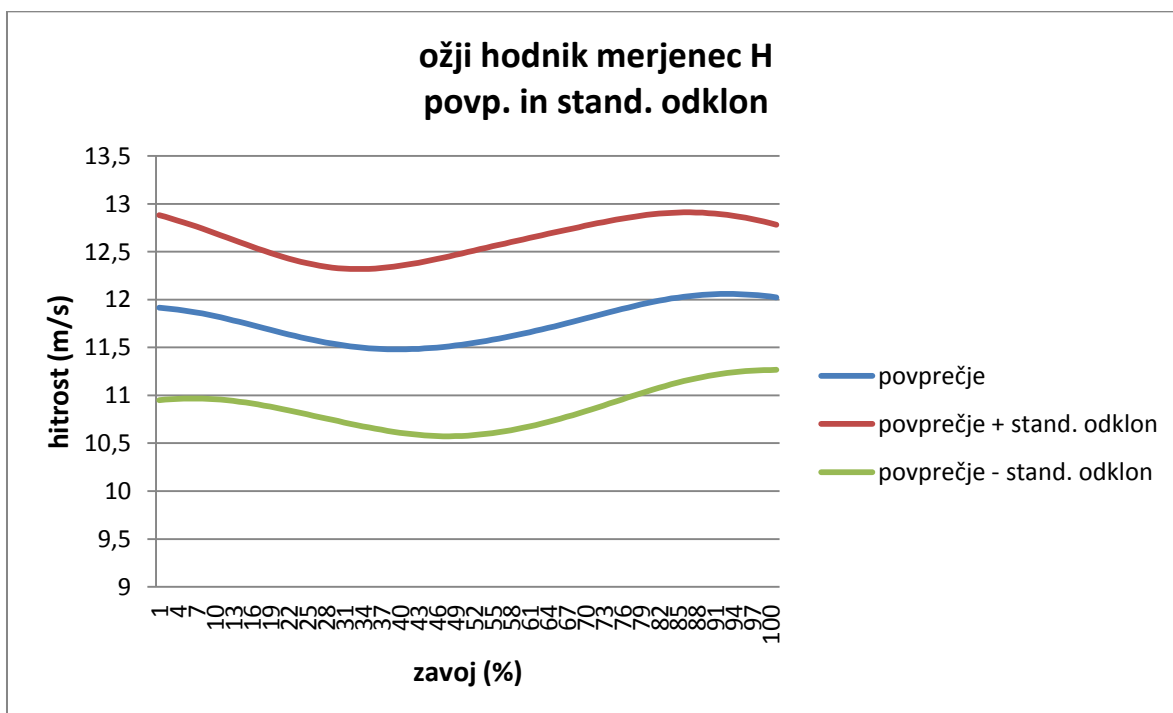


Diagram 26: Povprečna hitrost pri storitvi ožji hodnik – merjenec H

V 14. tabeli vidimo, da so najvišje vrednosti sil pri ožjem hodniku pri vseh merjenecih prekoračile 2 MG. Minimalne vrednosti pa so se zelo približale vrednosti 0 MG, kar kaže na velike razbremenitve v fazi priprave na nov zavoj.

Tabela 14: Sile (MG) pri ožjem hodniku

merjenec	max	min	povprečje	stand. odklon
A	2,07	0,26	1,16	0,49
B	2,84	0,02	1,31	0,88
C	2,19	0,21	1,12	0,1
D	2,17	0,14	0,94	0,63
E	2,51	0,24	1,21	0,68
F	2,28	0,08	1,11	0,09
G	2,7	0,04	1,22	0,42
H	2,4	0,03	1,16	0,45

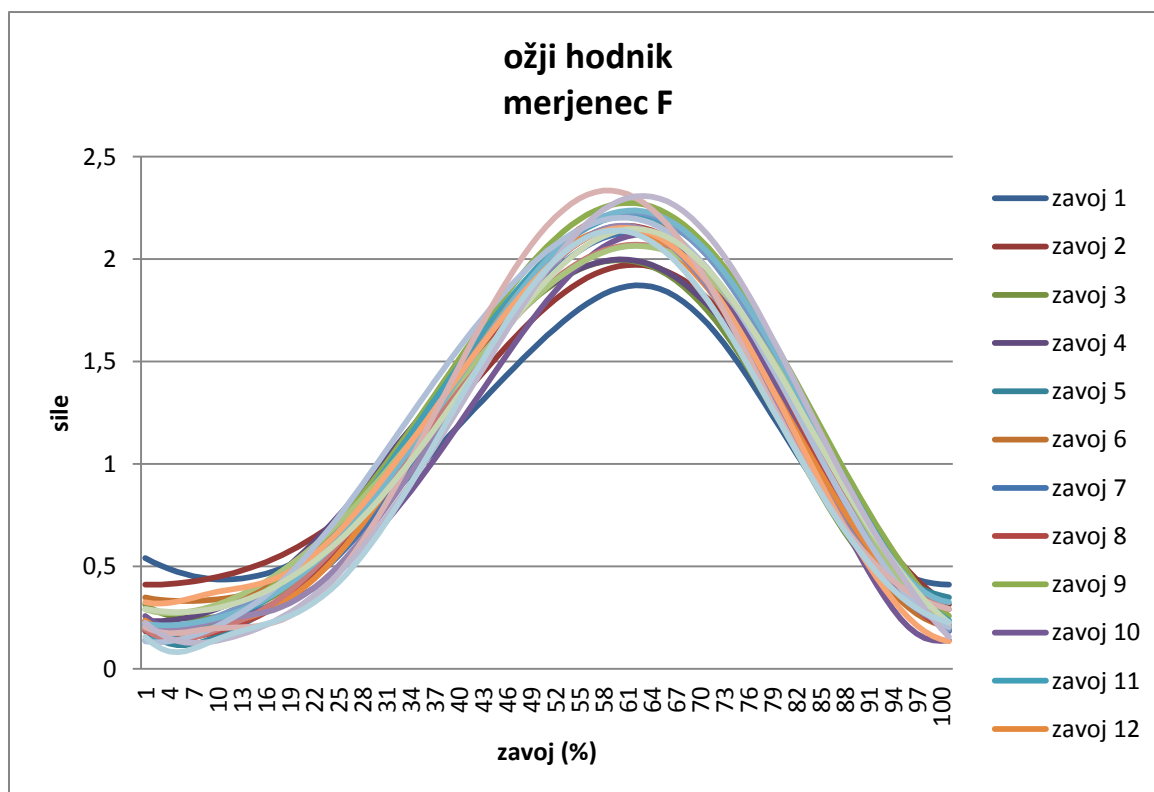


Diagram 27: Sile posameznih zavojev pri storitvi ožji hodnik – merjenec F

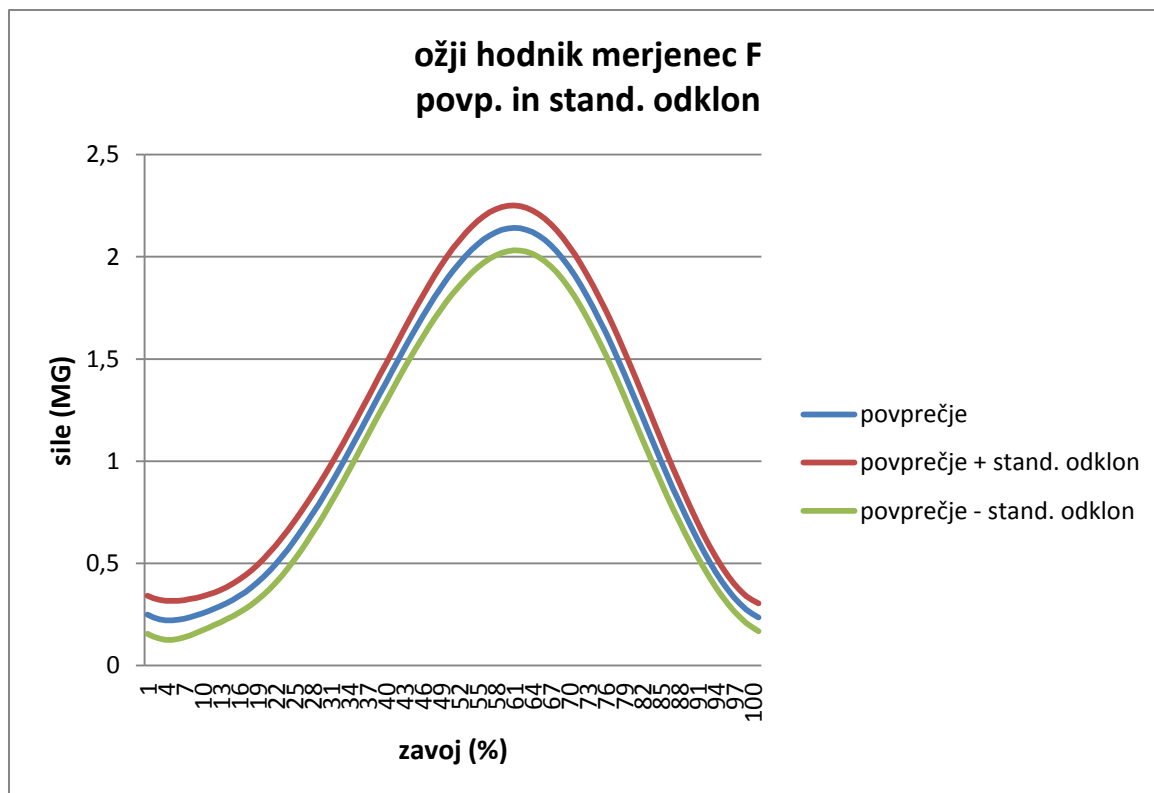


Diagram 28: Povprečje sil pri storitvi ožji hodnik – merjenec F

V spodnji tabeli vidimo, da se povprečne energijske izgube pri ožjem hodniku, bistveno ne razlikujejo od povprečnih energijskih izgub pri širšem hodniku. Vidimo pa lahko, da se je povečala razlika med minimalnimi in maksimalnimi vrednostmi (primer merjenec C). Zanimiv je primer merjenca D, kjer rezultati kažejo, da je energijo vseskozi izgubljal.

Tabela 15: Energijske izgube (J/kg*m) pri ožjem hodniku

merjenec	max	min	povprečje	stand. odklon
A	10,89	-38,7	-15,53	15,33
B	17,85	-82,0	-21,15	25,82
C	40,67	-82,02	-15,10	6,48
D	-5,97	-48,68	-25,99	8,34
E	17,47	-71,13	-21,35	17,77
F	13,87	-61,24	-17,26	5,82
G	13,59	-68,01	-23,36	12,74
H	32,57	-88,15	-20,19	20,99

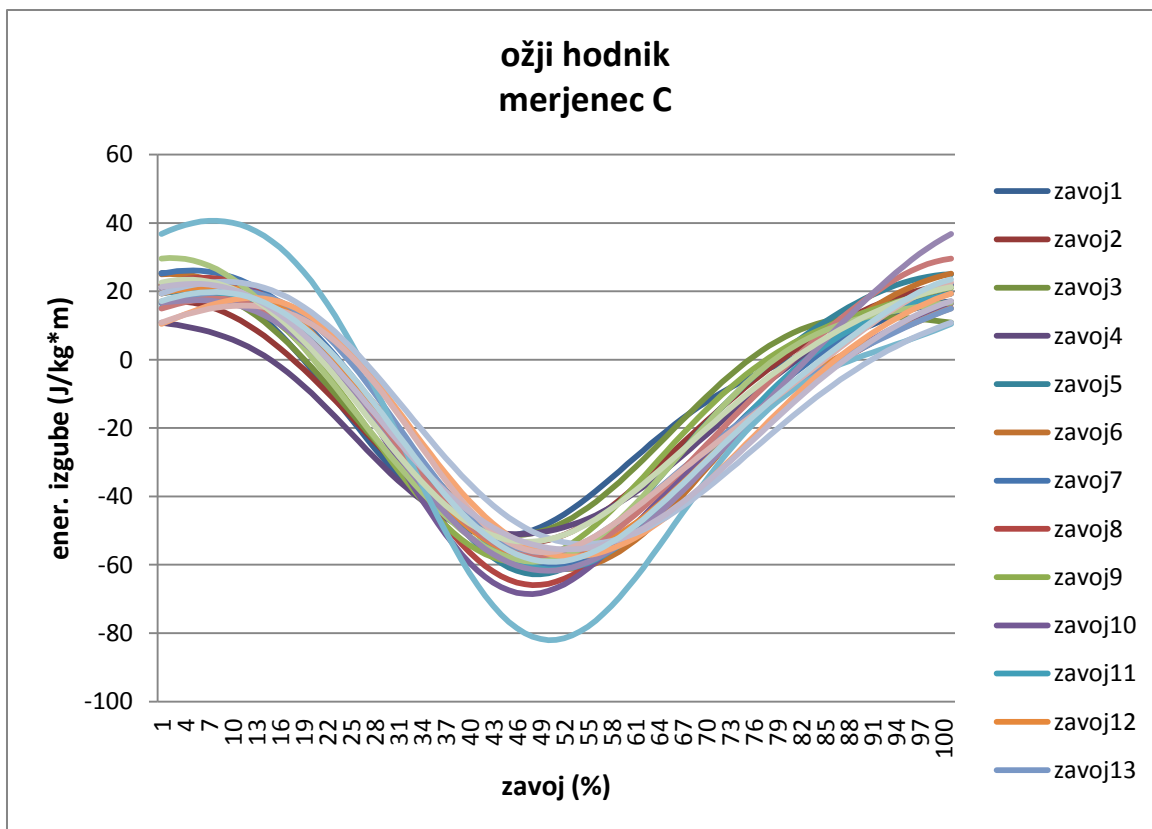


Diagram 29: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi ožji hodnik – merjenec C

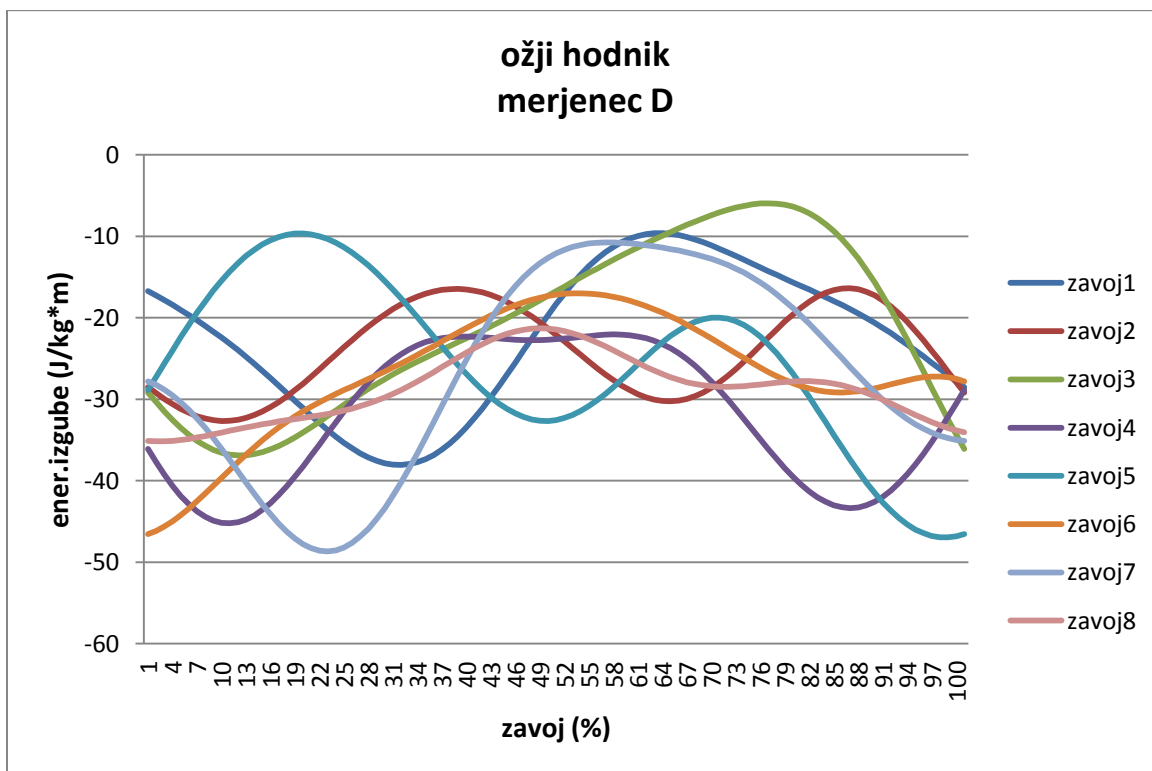


Diagram 30: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi ožji hodnik – merjenec D

Na diagramih 31., 32., in 33. pa lahko vidimo povprečja povprečij za vseh pet osnovnih storitev in za vse tri merjene parametre.

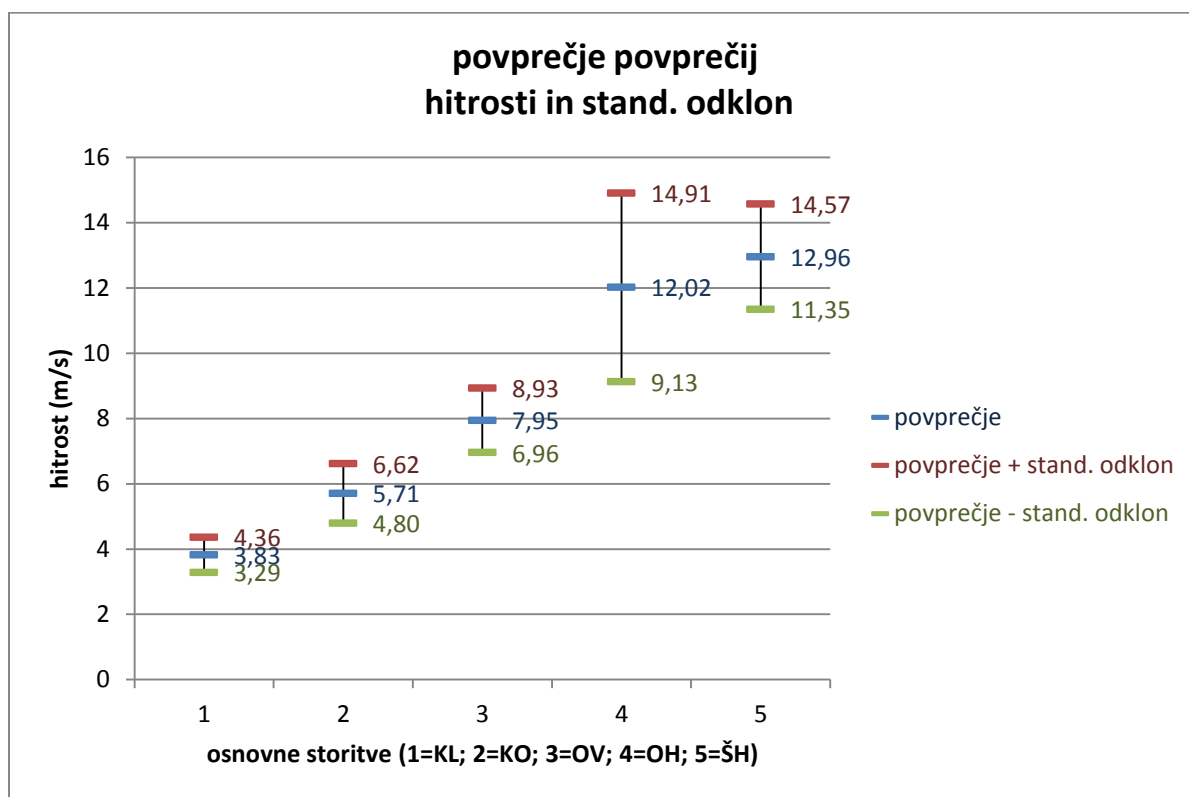


Diagram 31: Povprečja povprečij hitrosti za vse storitve

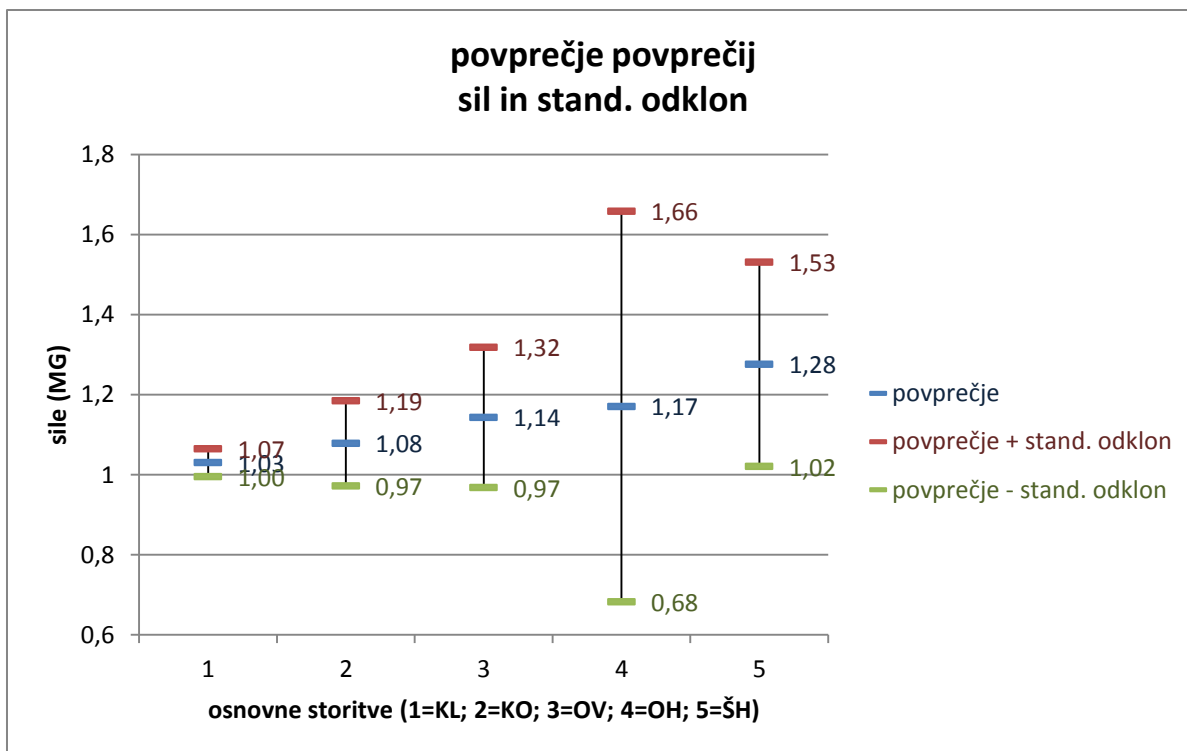


Diagram 32: Povprečja povprečij sil za vse storitve

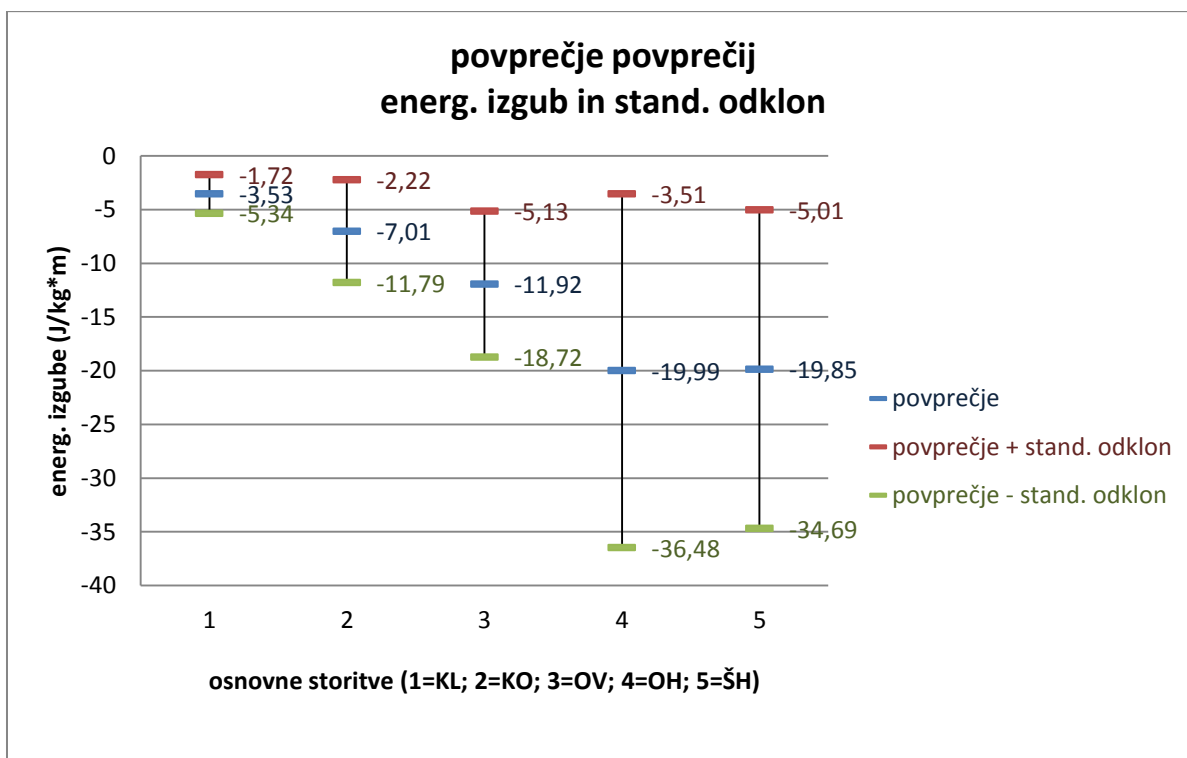


Diagram 33: Povprečja povprečij energijskih izgub za vse storitve

7. INTERPRETACIJA REZULTATOV

Smučarski loki s klinastimi zavoji so prva storitev pri kateri lahko govorimo o povezanem spreminjanju smeri oz. smučanju. Iz rezultatov je razvidno, da so bile pri tej storitvi hitrosti zelo nizke, kar pomeni, da se stvari dogajajo počasi in da ima začetnik med prečenjem zadosti časa, da se pripravi na nov zavoj. Tudi sile v zavojih, ki spremljajo smučarja so bile majhne iz česar lahko sklepamo, da smučar ne potrebuje veliko moči in napreznaja, da izvede zavoj. Posledično so majhne tudi energijske izgube, ki so se gibale okoli $-10 \text{ J/kg}\cdot\text{m}$. Iz rezultatov lahko razberemo, da pri posameznih merjencih v sami storitvi ni bilo bistvenih razlik med zavoji, prav tako pa tudi med merjenci ni prihajalo do bistvenih razlik v izvedbi storitve.

Pri storitvi zavoj s klinastim odzivom, kjer čas prečenja zmanjšujemo, lahko že opazimo, da so se velikosti mehanskih parametrov, v primerjavi s prvo storitvijo, nekoliko zvišali. V drugem delu vožnje so merjenci dodali še vbod palice, kar pa ni vplivalo na rezultate. Povprečna hitrost izvajanja storitve je narasla iz $3,82 \text{ m/s}$ na $5,71 \text{ m/s}$, povprečje sil je naraslo iz $1,03 \text{ MG}$ na $1,08 \text{ MG}$, povprečje energijskih izgub pa je naraslo iz $-3,53 \text{ J/kg}\cdot\text{m}$ na $-7,0 \text{ J/kg}\cdot\text{m}$. Sprememba mehanskih parametrov kaže na to, da je storitev zavoj s klinastim odzivom v primerjavi s »klinastimi loki« težje izvedljiva, predvsem zaradi povečane hitrosti, zaradi katere smučar nima več veliko časa, da bi se pripravil na nov zavoj. Bistvenih razlik v izvedbi storitve pri posameznih merjencih in med merjenci ni opaziti.

Osnovno vijuganje je v Slovenski šoli smučanja prva storitev, pri kateri imamo smučiči ves čas postavljene vzporedno, zato je bilo pričakovati, da bo hitrost še narasla, posledično pa tudi ostala parametra. Povprečna hitrost se je povišala na $7,95 \text{ m/s}$, povprečje sil na $1,14 \text{ MG}$ in povprečje energijske izgub na $-11,92 \text{ J/kg}\cdot\text{m}$. Pri tej storitvi pa je opaziti, da je med merjenci že prihajalo do nekoliko večjih razlik glede na maksimalne vrednosti. Te razlike lahko pripišemo predvsem načinu smučanja posameznih merjencev, nekoliko pa lahko k temu pripomore tudi oprema merjenca. So se pa velikosti mehanskih parametrov, glede na predhodno storitev, pri vseh povečale. Glede na povečanje velikosti parametrov lahko trdimo, da je osnovno vijuganje težje izvedljivo kot prej omenjeni storitvi.

Velikosti mehanskih parametrov so se pri storitvi širši hodnik še povečale. Povprečna hitrost je narasla do $12,96 \text{ m/s}$, povprečje sil na $1,28 \text{ MG}$ ter povprečje energijskih izgub na $-19,85 \text{ J/kg}\cdot\text{m}$. Kot vidimo že iz povprečij, sta se hitrost in energijska izguba precej povečali v

primerjavi z osnovnim vijuganjem, kar pa ne moremo trditi za sile. Da bi dobili pravo vrednost povečanja sil, moramo pogledati razliko med minimalno in maksimalno vrednostjo sil, ki je bila izmerjena pri obeh storitvah. Tako vidimo, da sta te vrednosti pri osnovnem vijuganju 0,27 MG (min) in 1,85 MG (max) (razlika 1,58 MG), pri širšem hodniku pa 0,07 MG (min) in 2,1 MG (max) (razlika 2,03 MG). Ponovno lahko trdimo, da je težavnost izvedbe storitve širši hodnik v primerjavi s prejšnjimi, večja.

Tako kot pri širšem hodniku, so se tudi pri ožjem hodniku mehanski parametri precej povečali v primerjavi z osnovnim vijuganjem in so dosegli podobne povprečne velikosti kot pri širšem hodniku. Na prvi pogled bi torej lahko rekli, da storitev ožji hodnik iz biomehanskega vidika ni težje izvedljiva od širšega hodnika. Vemo pa že iz prakse, da je frekvenca zavojev pri ožjem hodniku dosti višja kot pri širšem hodniku in na podlagi teh dejstev lahko trdimo, da je storitev ožji hodnik težje učljiva, saj je potrebno v zelo kratkem času med seboj uskladiti veliko gibov. Tudi ko pogledamo minimalne in maksimalne vrednosti vidimo, da obstajajo razlike. Pri hitrostih te razlike niso bistvene, so pa nekoliko večje pri silah in energijskih izgubah. Najvišja izmerjena vrednost sile je bila pri širšem hodniku 2,1 MG, pri ožjem pa že 2,84 MG. Nadalje so meritve pokazale, da sta le dva merjenca pri storitvi širši hodnik presegla velikost sile 2 MG, medtem ko so pri ožjem hodniku vsi merjenci presegli to velikost. Večje razlike so nastale tudi pri energijskih izgubah, saj so največje izgube pri ožjem hodniku, kar pri treh merjencih, presegle $-80 \text{ J/kg}\cdot\text{m}$. Pri širšem hodniku pa so bile najnižje vrednosti dosti višje, saj sta le dva merjenca presegla $-50 \text{ J/kg}\cdot\text{m}$. Ob pregledu velikosti pridobljene energije (odziv smuči) vidimo, da vrednosti pri širšem hodniku komaj presegajo $20 \text{ J/kg}\cdot\text{m}$, pri ožjem hodniku pa te vrednosti narastejo tudi do $40 \text{ J/kg}\cdot\text{m}$. Torej lahko trdimo, da je iz stališča biomehanike, storitev ožji hodnik zahtevnejša od storitve širši hodnik. Zahtevnejša je tudi zato, ker si stvari pri ožjem hodniku sledijo dosti hitreje kot pri širšem hodniku in ima smučar dosti manj časa, da se pripravi na nov zavoj.

Na tem mestu ne smemo spregledati dejstva, da smučar pri začetnih storitvah opravlja dosti daljšo pot kot pri nadaljevalnih oblikah smučanja, ker je v storitve vključeno veliko prečenja samega smučišča in daljša izpeljava zavoja. Smer gibanja smučarja je torej lahko bolj vzporedna (nadaljevalne oblike) z vpadnico oz. je bolj prečna (začetne oblike) nanjo. V teh okoliščinah namreč smučar, časovno gledano, troši različno količino potencialne energije. Res je, da je pri ožjem in širšem hodniku prihajalo do večjih energijskih izgub na višinsko razliko znotraj enega zavoja kot npr. pri smučarskih lokih s klinastimi zavoji, je pa tudi res, da je

merjenec z enim samim zavojem premagal tudi veliko večjo višinsko razliko. Torej je moral merjenec za premaganje iste višinske razlike, s smučarskimi loki, odsmučati več zavojev, predvsem pa je opravil bistveno večjo pot. Iz biomehanike pa vemo, da je opravljeno delo (v našem primeru delo zavirajočih sil = energijskih izgub) večje, če tudi enako velike sile delujejo na daljši poti.

S pomočjo rezultatov lahko opazimo tudi, v katerem delu zavojev prihaja do večjih energijskih izgub. Če pogledamo zavoje s klinastimi odrivi, nam rezultati točno pokažejo, kje je prišlo do izpluženja, saj so se v tistem območju nenadno povečale energijske izgube, merjencu pa se je posledično zmanjšala tudi hitrost (oddrsavanje). V tem primeru izpluževanje smuči oziroma tudi del pluženja (smučanja v klinastem položaju) pomaga pri kontroli hitrosti in ne samo pri začenjanju novega zavoja.

Tako kot vse meritve, pa imajo tudi naše določene pomanjkljivosti. Težava, ki se je pri našem merjenju pojavila je bila ta, da GNSS naprava ni bila nameščena na merjencih, kjer je težišče telesa ampak je bila naprava nameščena na njihovih hrbtih (antene GNSS naprave enostavno ni možno postaviti v točko težišča telesa). Tukaj lahko pride do problema pri računanju rezultatov (predvsem sil), ker se zgornji del telesa lahko giblje drugače (z večjo amplitudo) kot del telesa, kjer je naše težišče to pa pri izračunih pripelje do določene napake. Druga metodološka težava pa je bila, ker so bile analize zavojev in posledično faze zavojev določene na 0.02 s natančno, saj so bile določene iz 50 Hz video posnetkov. To lahko posledično pripelje do napake pri določanju začetka in konca zavoja. Ker pa so zavoji časovno dosti daljši, pa lahko rečemo, da te napake najverjetneje nimajo večjega vpliva. Obe težavi bi v resnici lahko rešili tako, da bi smučanje posneli s pomočjo inercialne obleke v kombinaciji z GNSS napravo, kjer bi podatke zajeli z višjo frekvenco, težišče telesa pa bi lahko natančno določili (Supej, 2010). Za še bolj natančno analizo sil, pa bi lahko uporabili posebne merilne plošče, ki merijo silo reakcije podlage med smučanjem.

Ob pregledu vseh teh rezultatov torej vidimo, da se mehanski parametri povečujejo od prve opisane, do zadnje opisane storitve. Na podlagi teh parametrov lahko torej trdimo, da je vsaka nadaljnja storitev, od smučarskih lokov s klinastimi zavoji naprej, težje izvedljiva in smučar za njeno izvedbo potrebuje več znanja in tudi motoričnih sposobnosti.

8. SKLEP

Navzven je smučanje zelo enostaven šport, s katerim se v Sloveniji ukvarja zelo veliko ljudi. Ko pa pogledamo podrobneje, kaj se dogaja s samim smučarjem med smučanjem, lahko rečemo, da je smučanje zelo kompleksen šport. Biomehanska analiza zavoja nam postreže s številnimi informacijami, na podlagi katerih lahko določimo kakovost, hkrati pa tudi težavnost zavoja. Sam sem s pomočjo hitrosti, sil in energijskih izgub ugotavljal ali si storitve v slovenski šoli smučanja smiselno sledijo, glede na težavnost njihove izvedbe. Na podlagi dobljenih rezultatov lahko hipotezo, da se osnovni mehanski parametri v slovenski šoli alpskega smučanja logično stopnjujejo glede na zahtevnost storitve, z zagotovostjo potrdim. Prav tako lahko potrdim drugo hipotezo, ki pravi, da se s stopnjevanjem osnovnih storitev, zvišujejo tudi osnovni mehanski parametri pri vseh demonstratorjih. Pri pregledu rezultatov namreč vidimo, da se velikosti mehanskih parametrov pri vseh merjencih stopnjujejo skladno s stopnjevanjem težavnosti storitve. Razlike, ki pa so nastale pri posameznih storitvah med merjenci, pa lahko v prvi vrsti pripišemo različni izpeljavi zavojev posameznih merjencev, ne smemo pa pozabiti tudi na različno opremo merjencev.

Zaenkrat lahko torej trdimo, da je koncept slovenske šole alpskega smučanja pravilno zastavljen. Zavedati pa se moramo, da zahteva vsak učenec čim bolj individualni pristop učenja in je potrebno šolo smučanja prilagoditi njegovemu predznanju in pa sposobnostim. Pričakujemo lahko tudi, da se bosta v prihodnosti smučarska oprema in tehnika še naprej spreminjali in izboljševali, tako da bi bile podobne meritve dobrodošle tudi v prihodje.

9. LITERATURA

1. Fellows, C. Learning on Short Skis. Pridobljeno dne 1.6.2012 iz <http://www.adventuresportsonline.com/shortskis.htm>
2. Kržišnik, M. Zakaj vpisati otroka v šolo smučanja? Pridobljeno dne 25.02.2012 iz <http://bibaleze.si/clanek/starsi/zakaj-vpisati-otroka-v-solo-smucanja.html>.
3. Kugovnik, O., Supej, M., in Nemeč, B. (2003). *Biomehanika alpskega smučanja*. Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za šport.
4. Lešnik B., Žvan, M. (2007). *Naše smučine*. Ljubljana: SZS – Združenje učiteljev in trenerjev smučanja.
5. Muller, E., Lindinger, S., Stoggl, T. (2009). *Science and skiing IV*. Maidenhead: Meyer & Meyer Sport (UK).
6. Supej, M. (2011). *Biomehanika 1*. Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za šport.
7. Supej, M. Differential specific mechanical energy as a quality parameter in racing alpine skiing. *Journal of applied biomechanics.*, 2008, vol. 24, no. 2, str. 121-129.
8. Supej, M. 3D measurements of alpine skiing with an inertial sensor motion capture suit and GNSS RTK system. *Journal of sports sciences.*, 2010, vol. 28, no. 7, str. 759-769.
9. Supej, M., Kugovnik, O., Nemeč, B., Šmitek, J. Doba smučanja s sledenjem telesa - Tekmovalna slalomska tehnika z vidika biomehanike = [Slalom racing technique from the viewpoint of biomechanics]. *Šport (Ljublj.)*, 2001, letn. 49, št. 4, str. 49-55. Ljubljana: Fakulteta za šport.
10. Supej, M., Kugovnik, O., Nemeč, B. Kateri del zavoja v slalomu je najpomembnejši in kako oceniti njegovo kakovost? - Biomehanska analiza svetovnega pokala. *Šport (Ljublj.)*, 2003, letn. 51, št. 4, str. 13-18. Ljubljana: Fakulteta za šport.
11. Zidanšek, A. Numerične metode v fiziki. Interpolacija in ekstrapolacija funkcij. Pridobljeno dne 26.4.2012 iz <http://www2.ijs.si/~zidansek/model7.html>.

12. PRILOGA

Na koncu diplomskega dela so priloženi še vsi ostali diagrami, ki zaradi obsežnosti niso bili prikazani v glavnem delu diplomskega dela, so pa za delo enako pomembni kot prikazani.

10.1. Smučarski loki s klinastimi zavoji

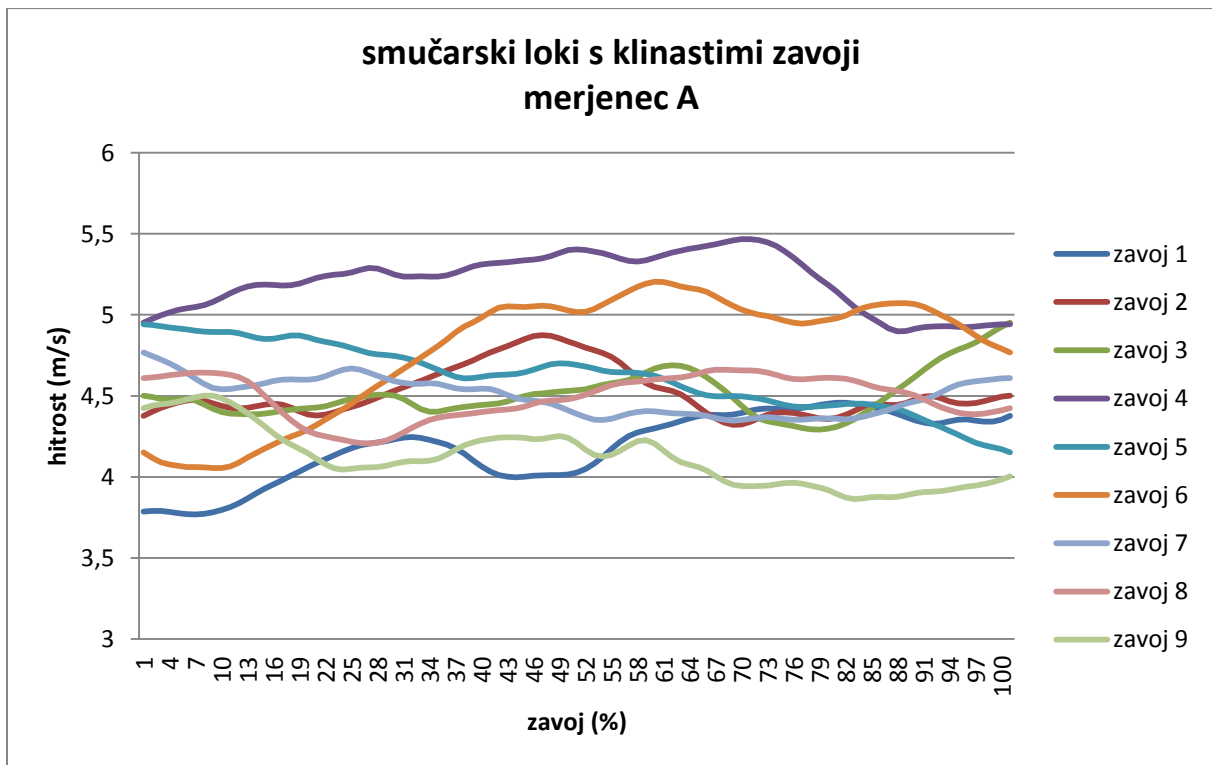


Diagram 34: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec A

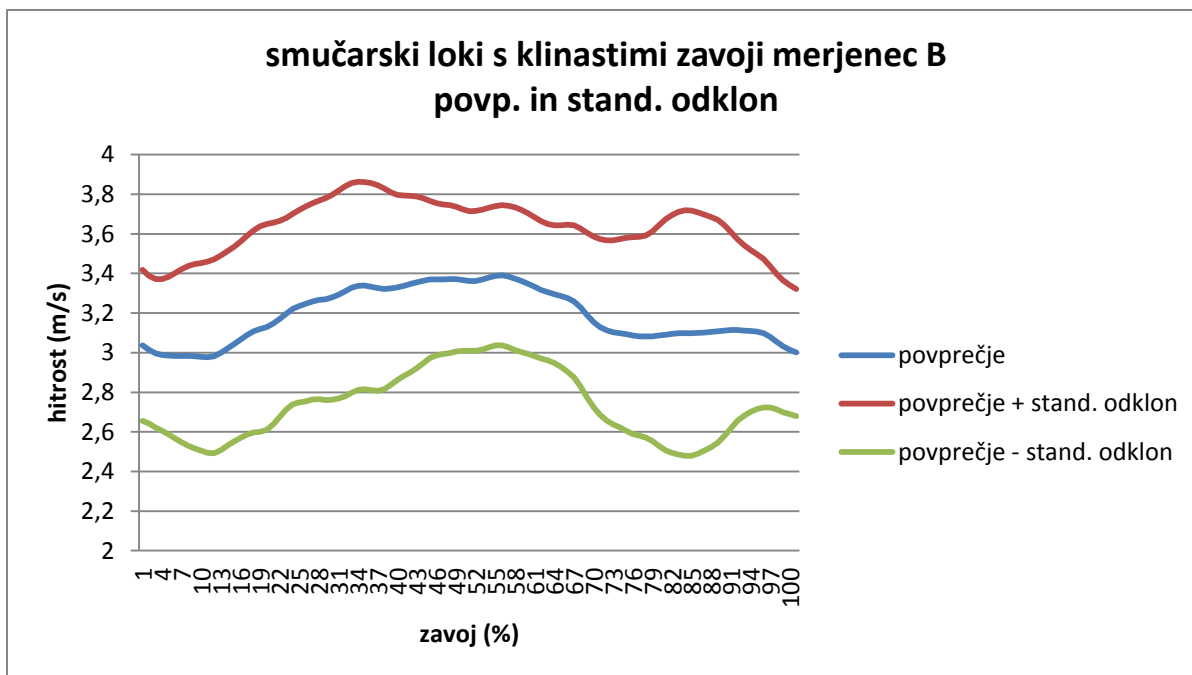


Diagram 35: Povprečna hitrost pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec B

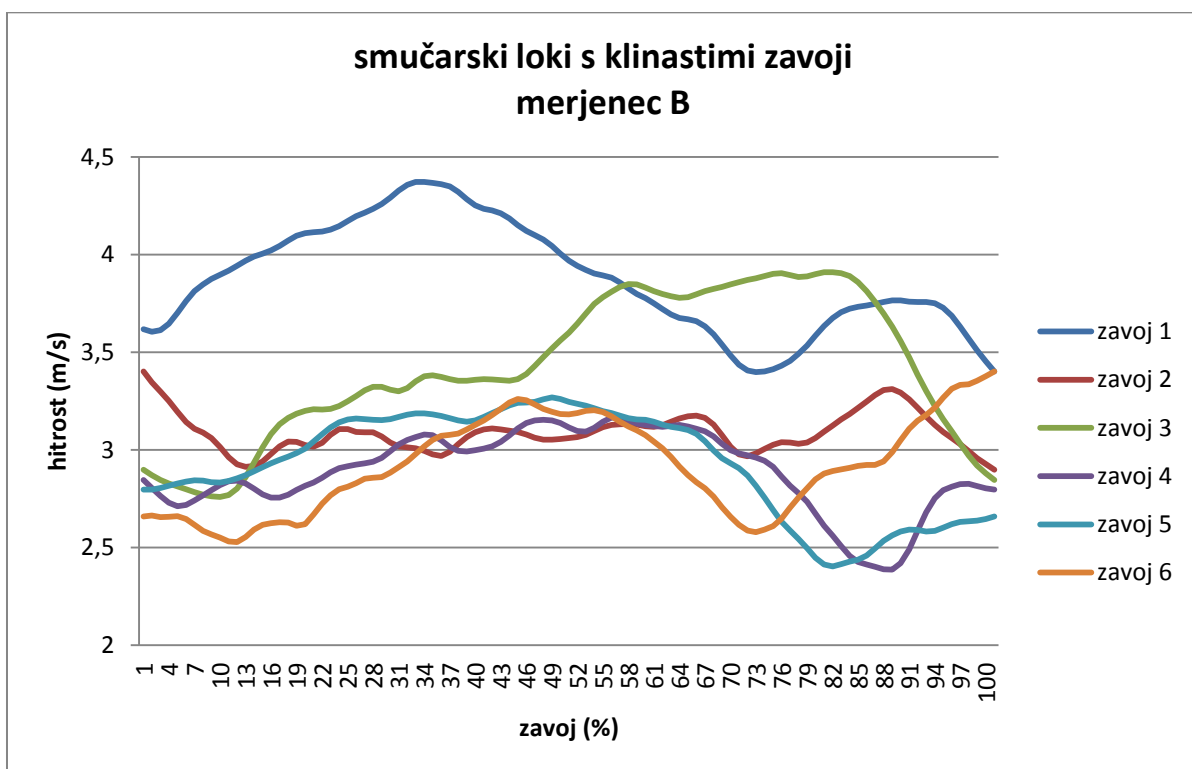


Diagram 36: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec B

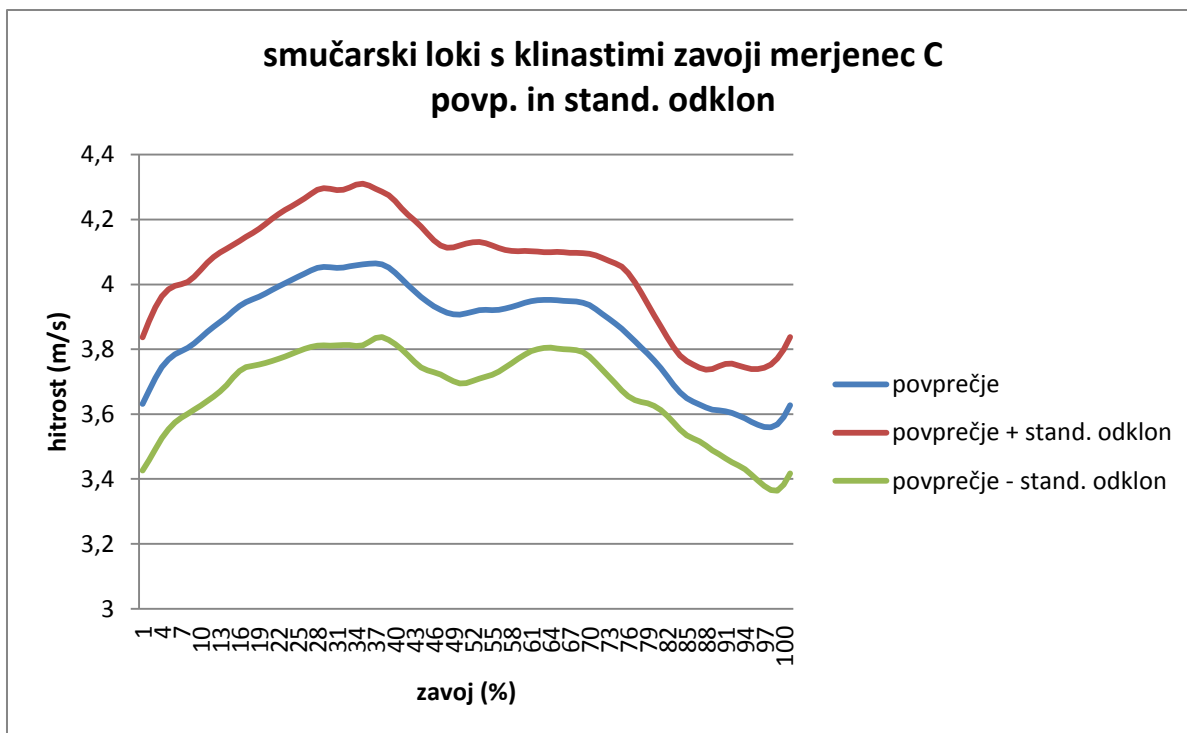


Diagram 37: Povprečna hitrost pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec C

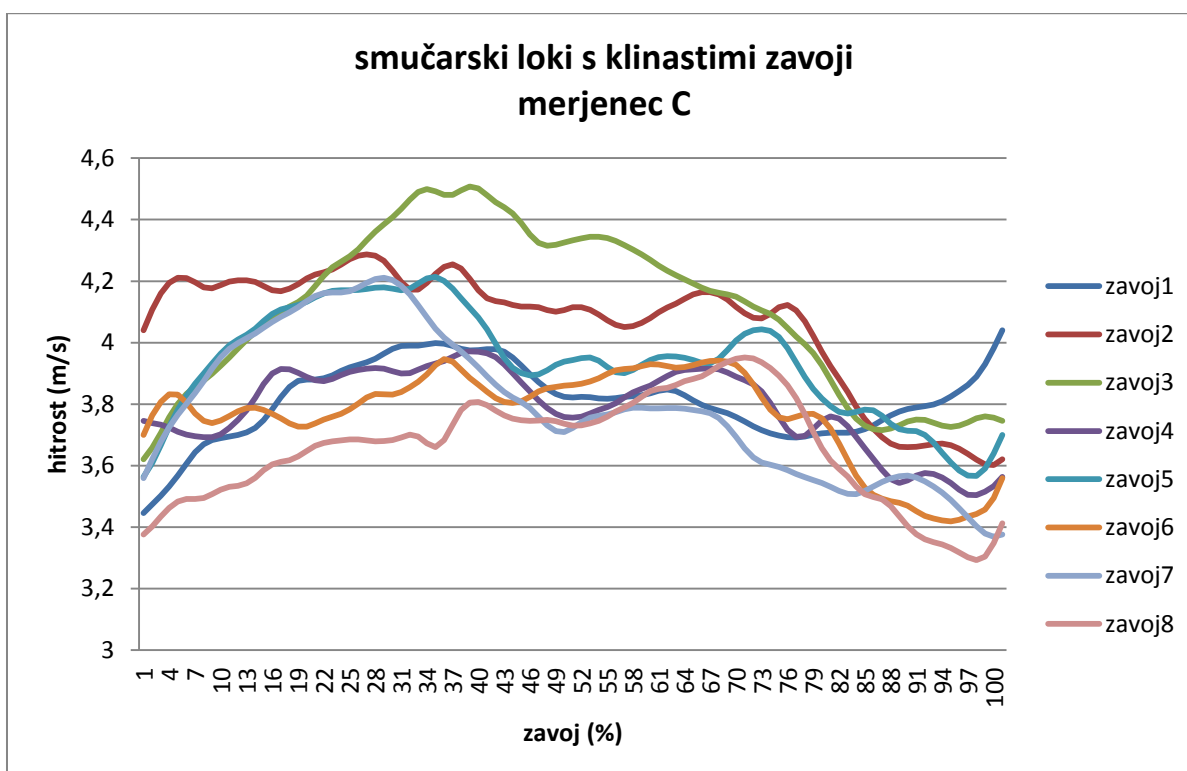


Diagram 38: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec C

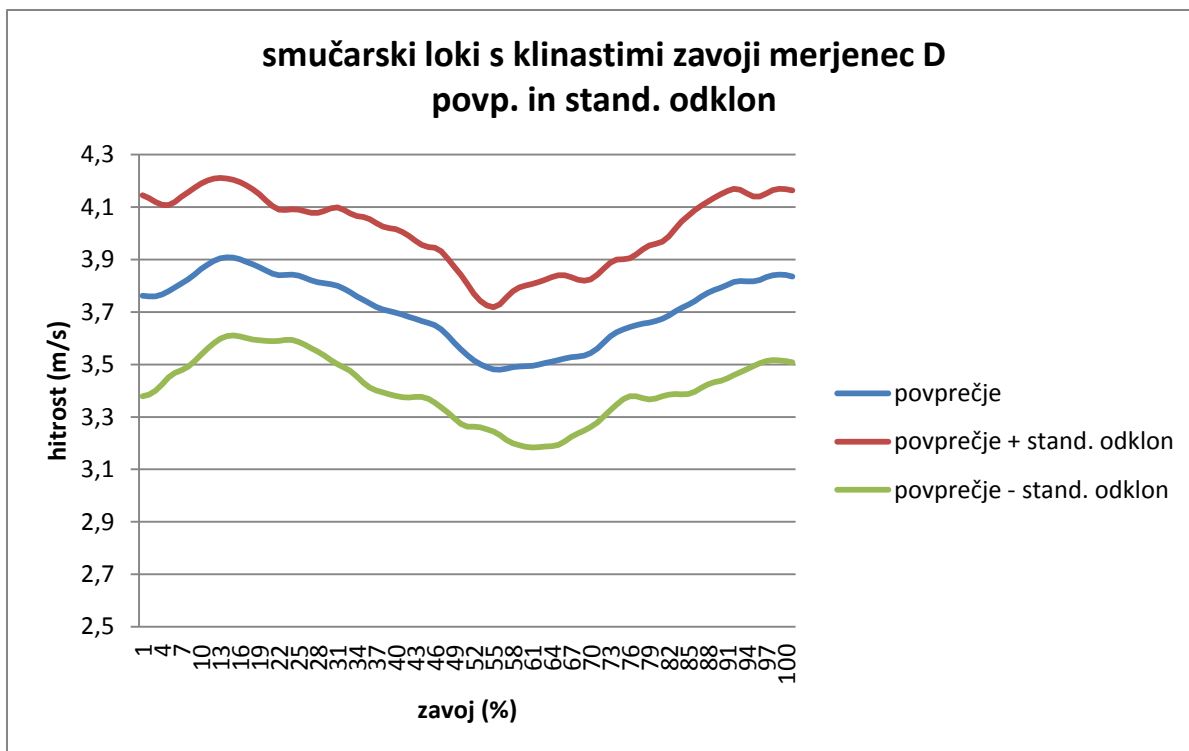


Diagram 39: Povprečna hitrost pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec D

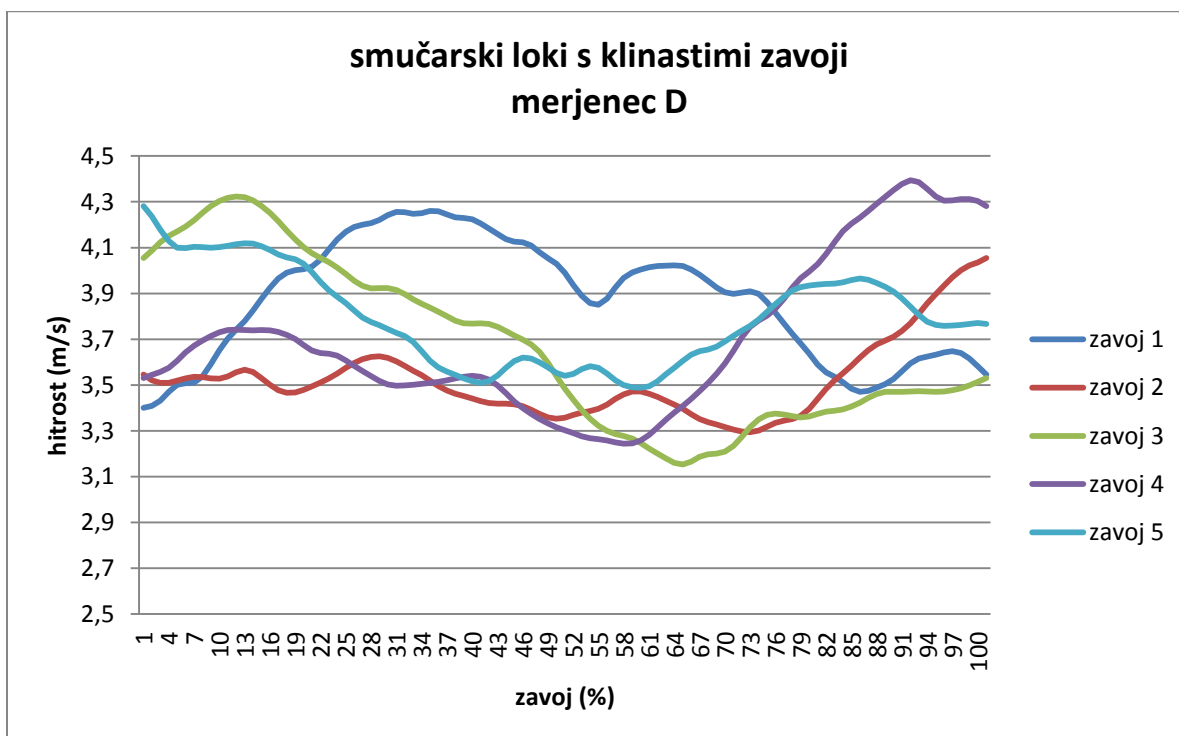


Diagram 40: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec D

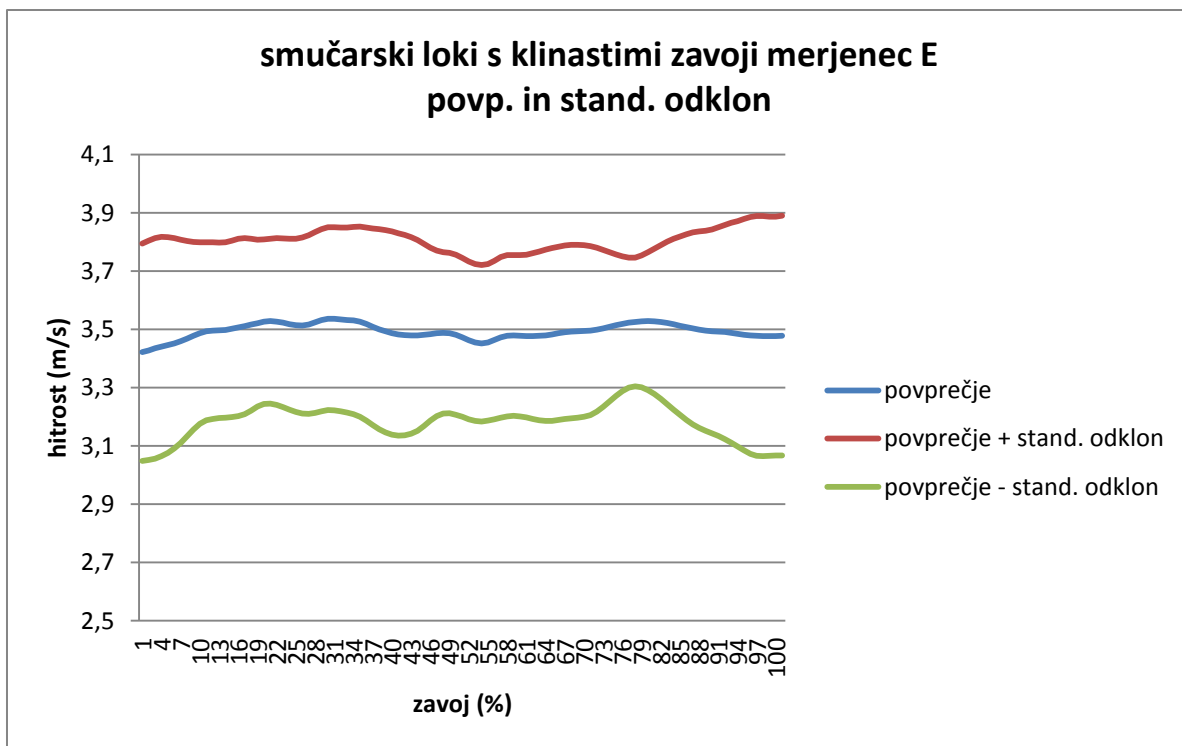


Diagram 41: Povprečna hitrost pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec E

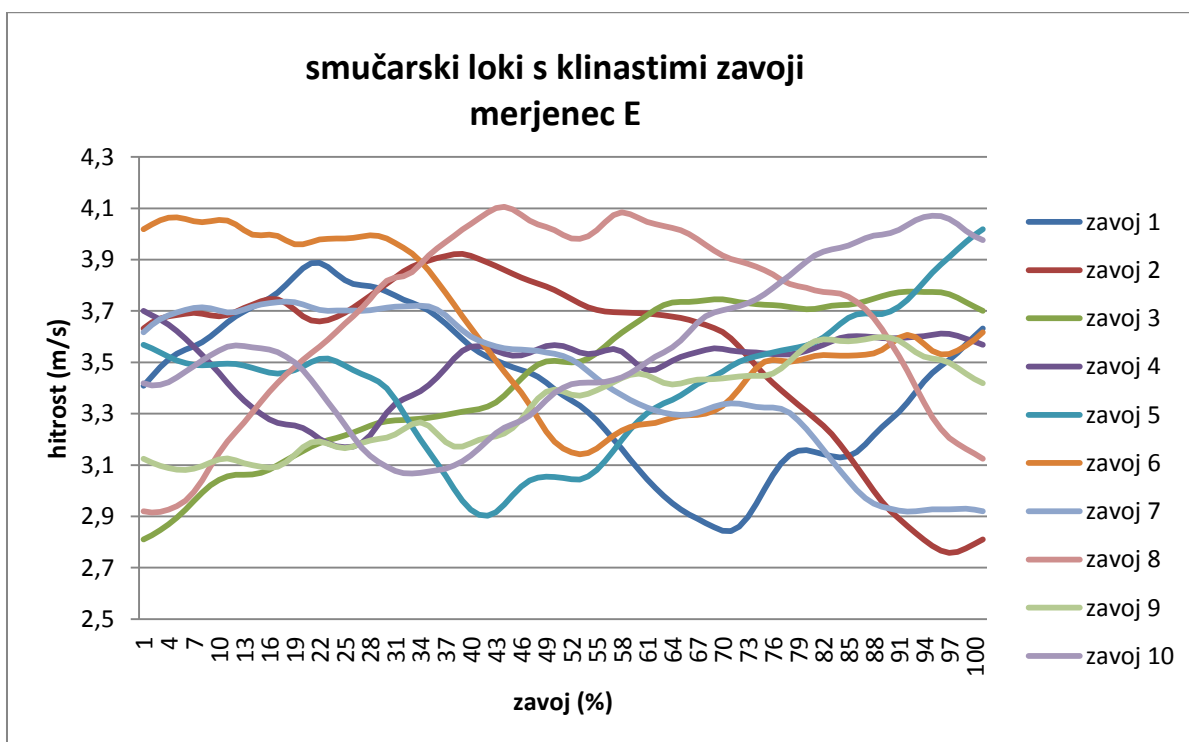


Diagram 42: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec E

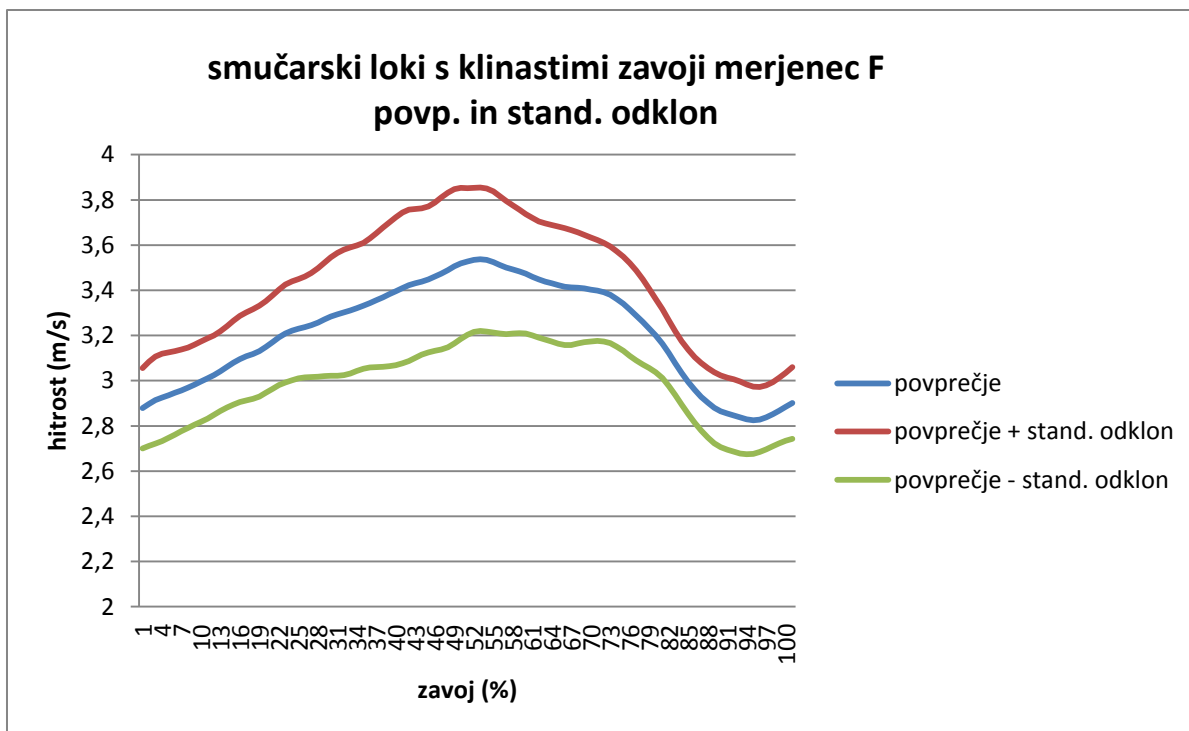


Diagram 43: Povprečna hitrost pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec F

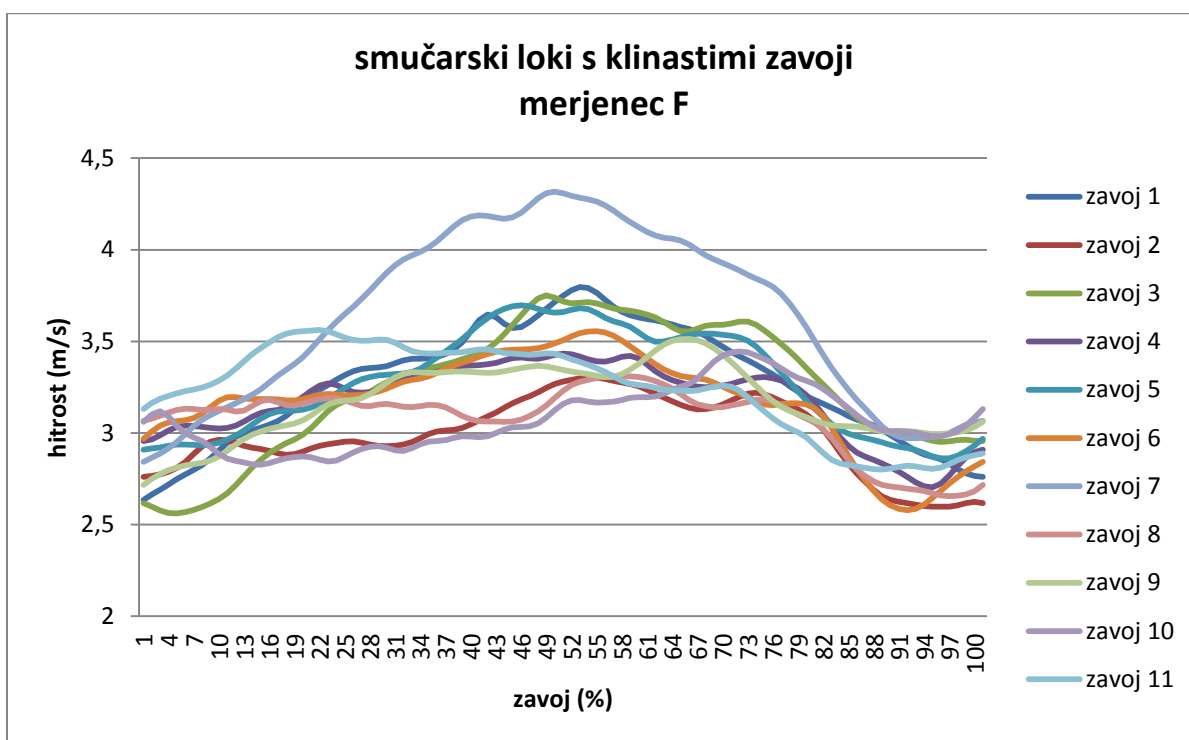


Diagram 44: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec F

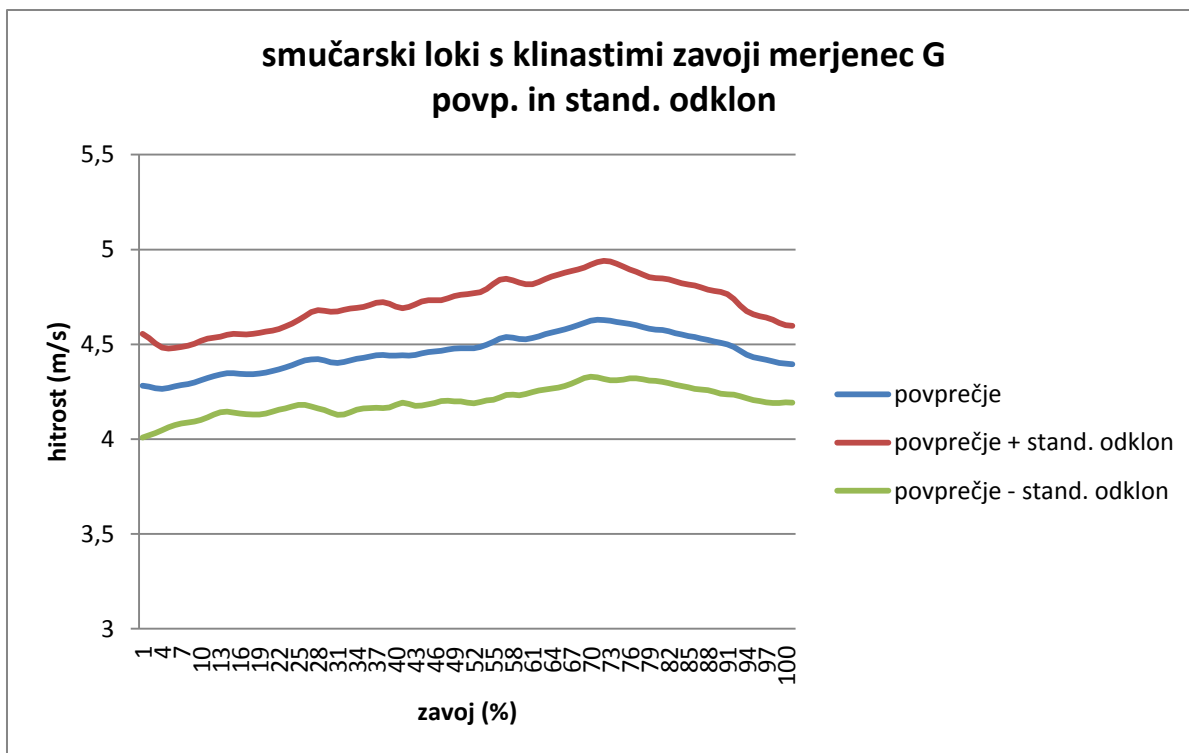


Diagram 45: Povprečna hitrost pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec G

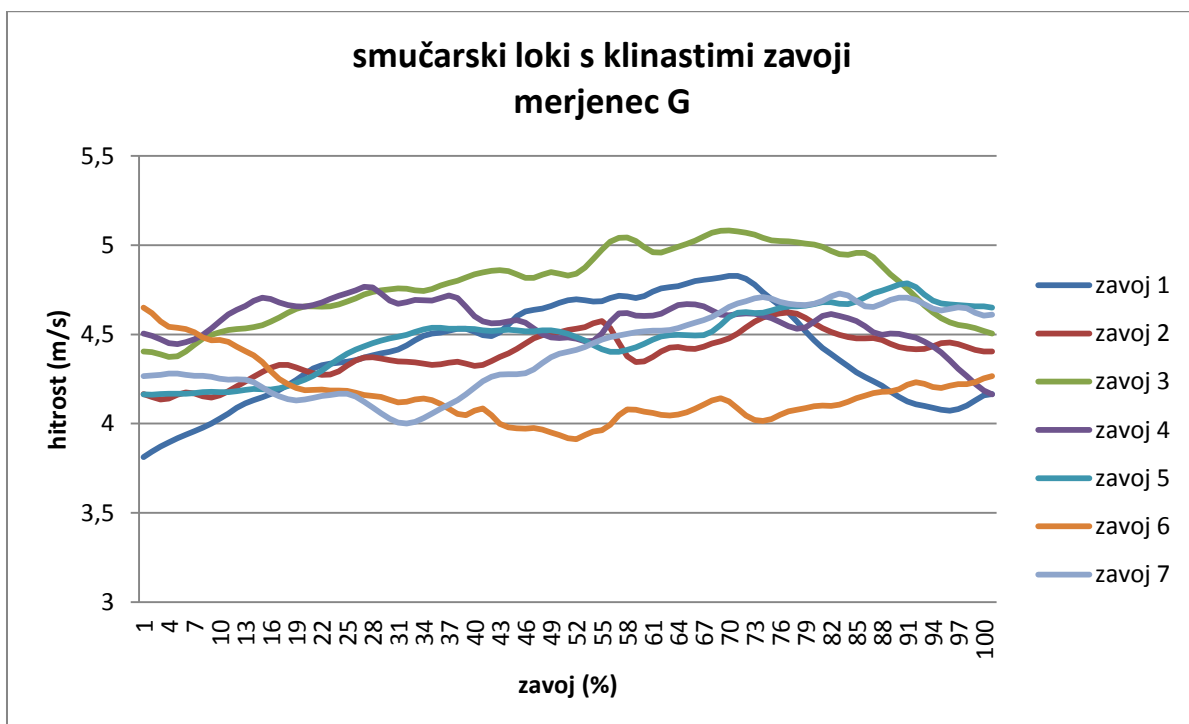


Diagram 46: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec G

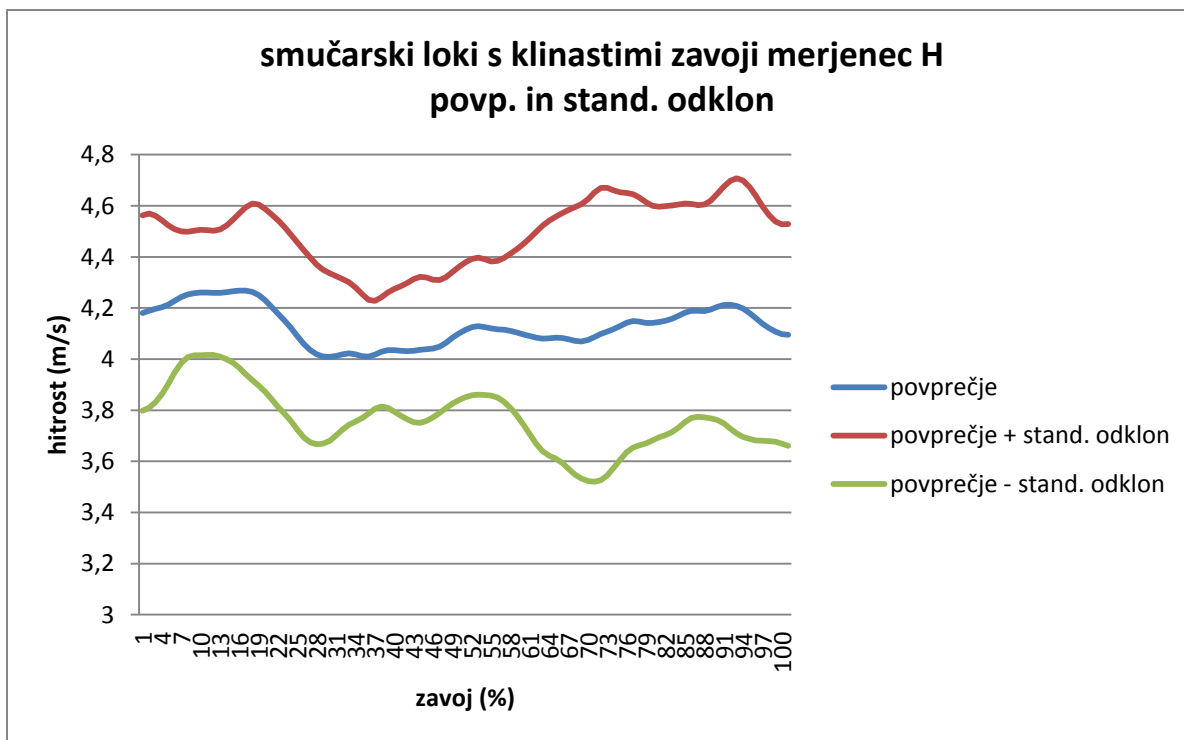


Diagram 47: Povprečna hitrost pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec H

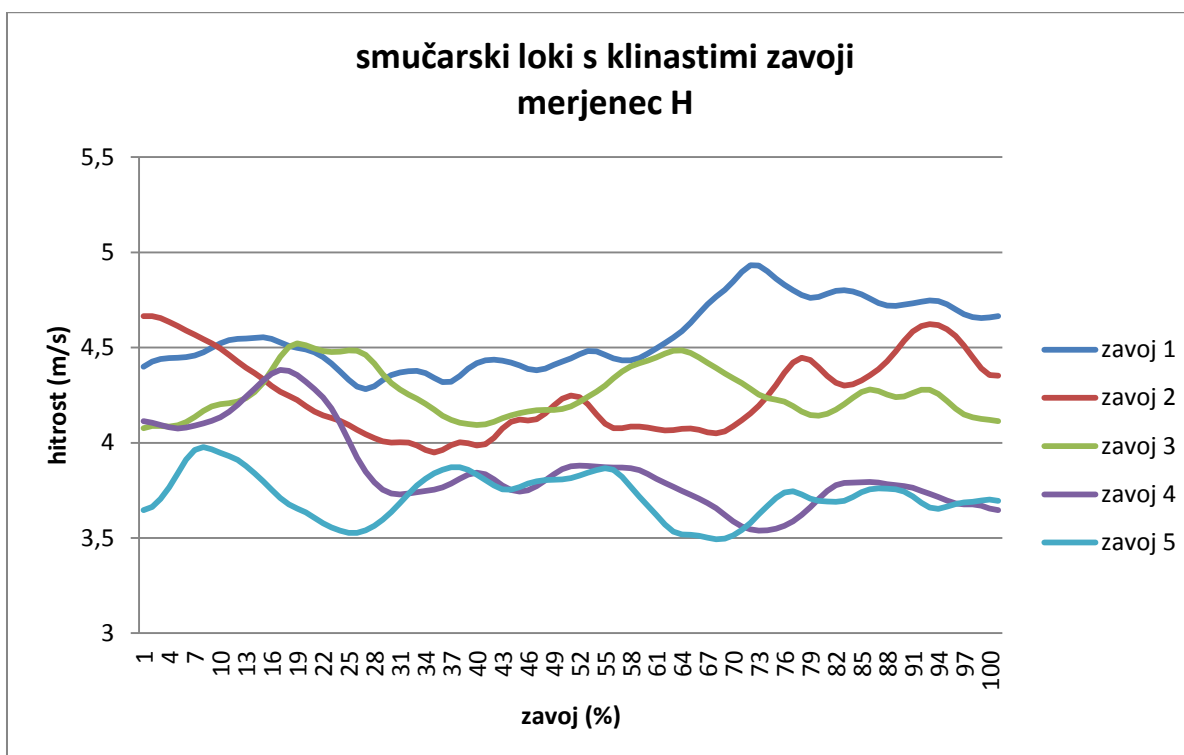


Diagram 48: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec H

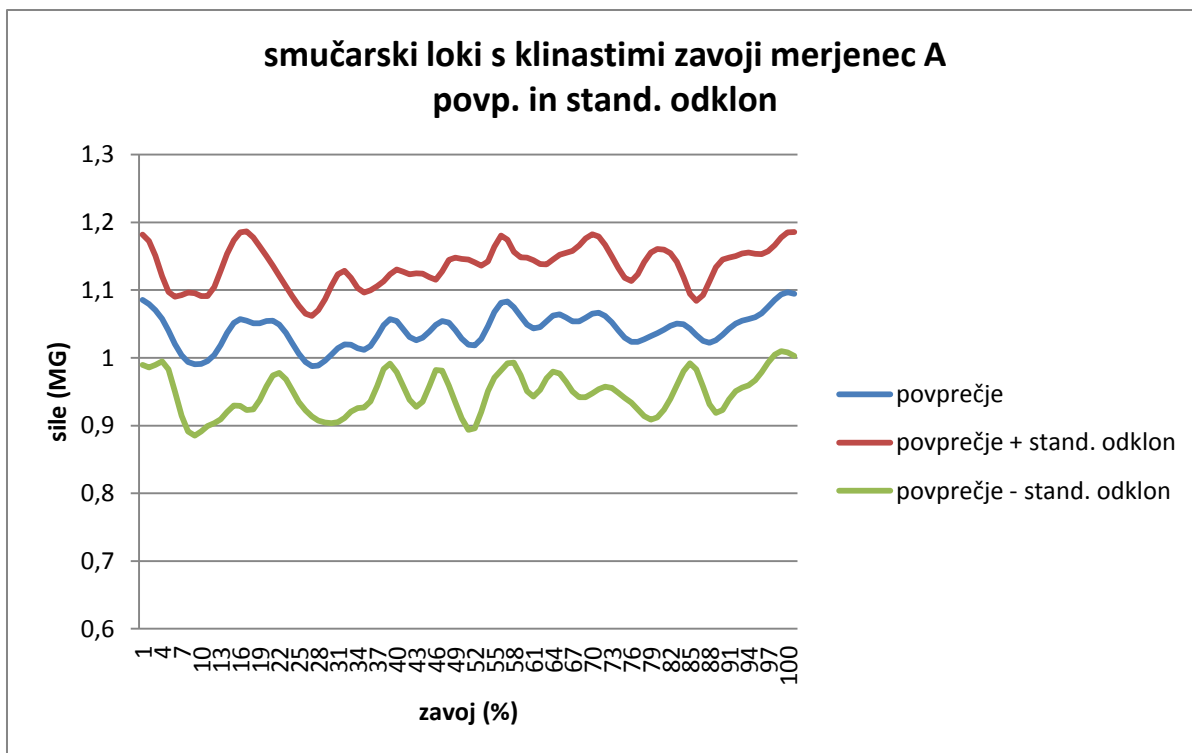


Diagram 49: Povprečje sil pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec A

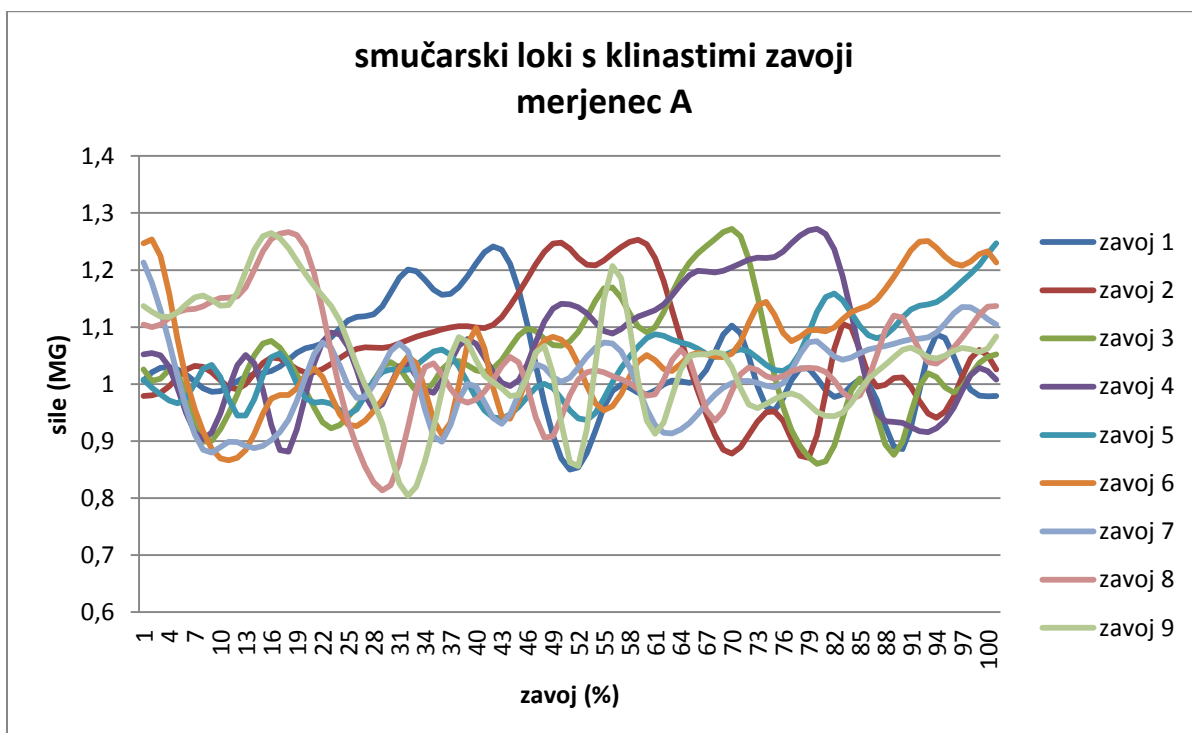


Diagram 50: Sile posameznih zavojev pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec A

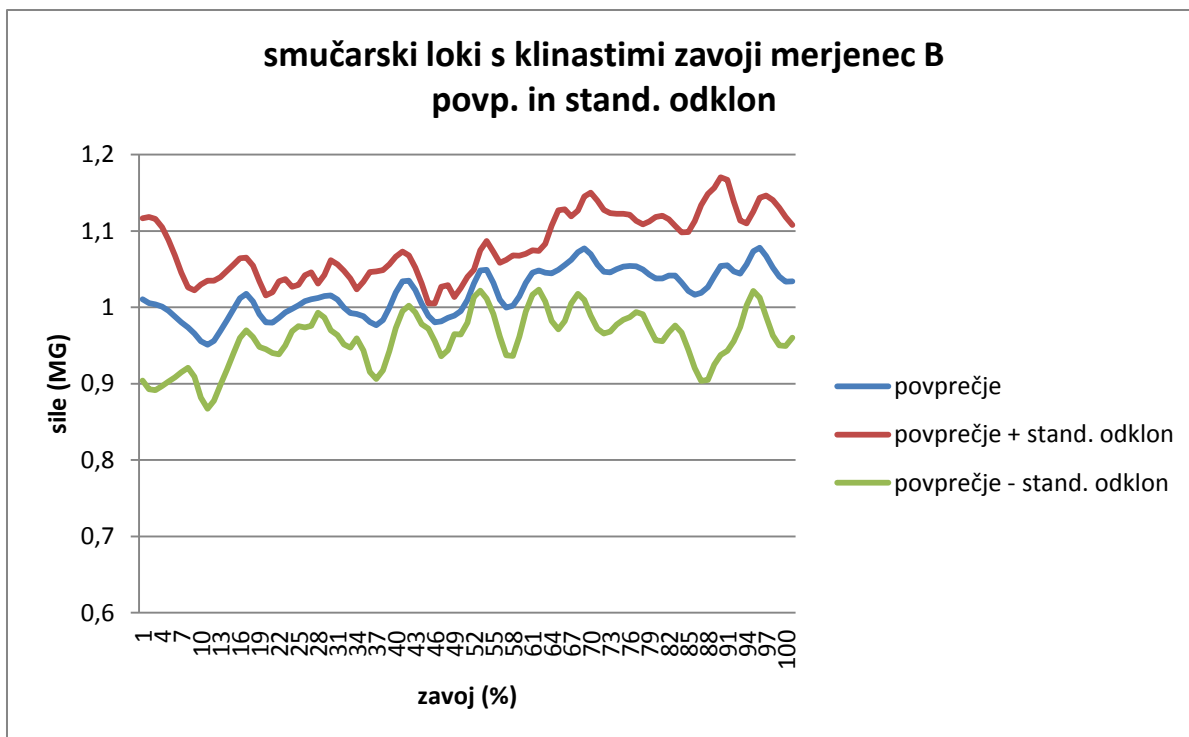


Diagram 51: Povprečje sil pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec B

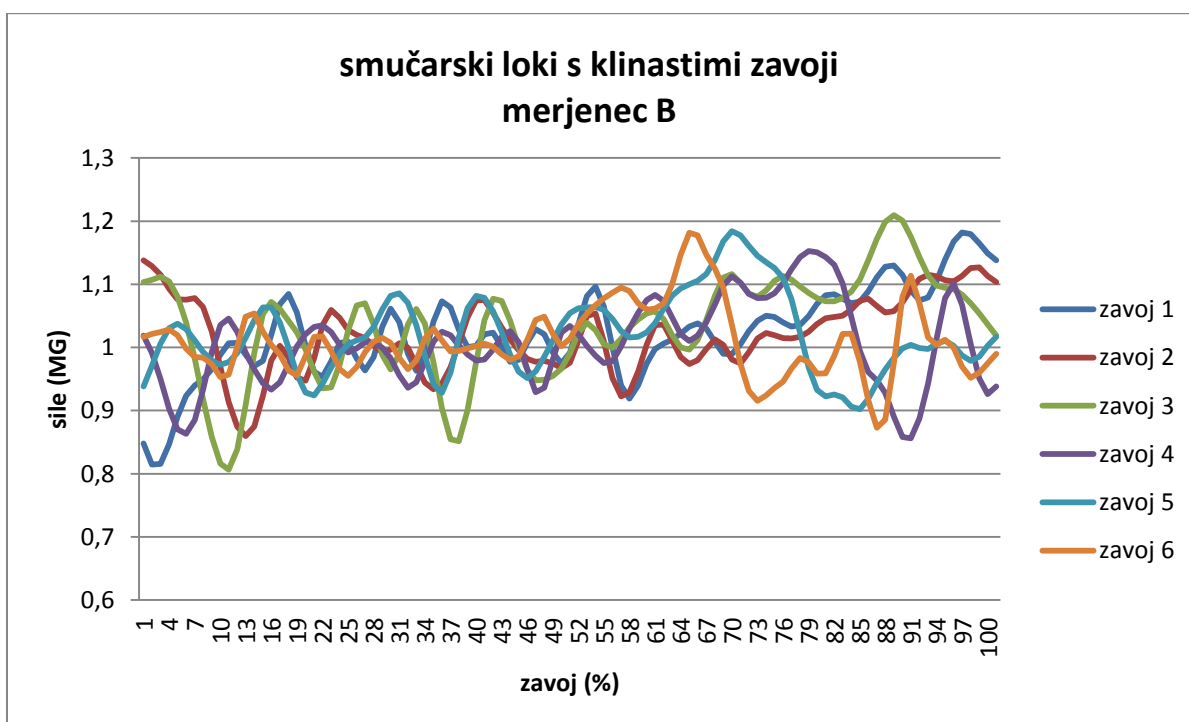


Diagram 52: Sile posameznih zavojev pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec B

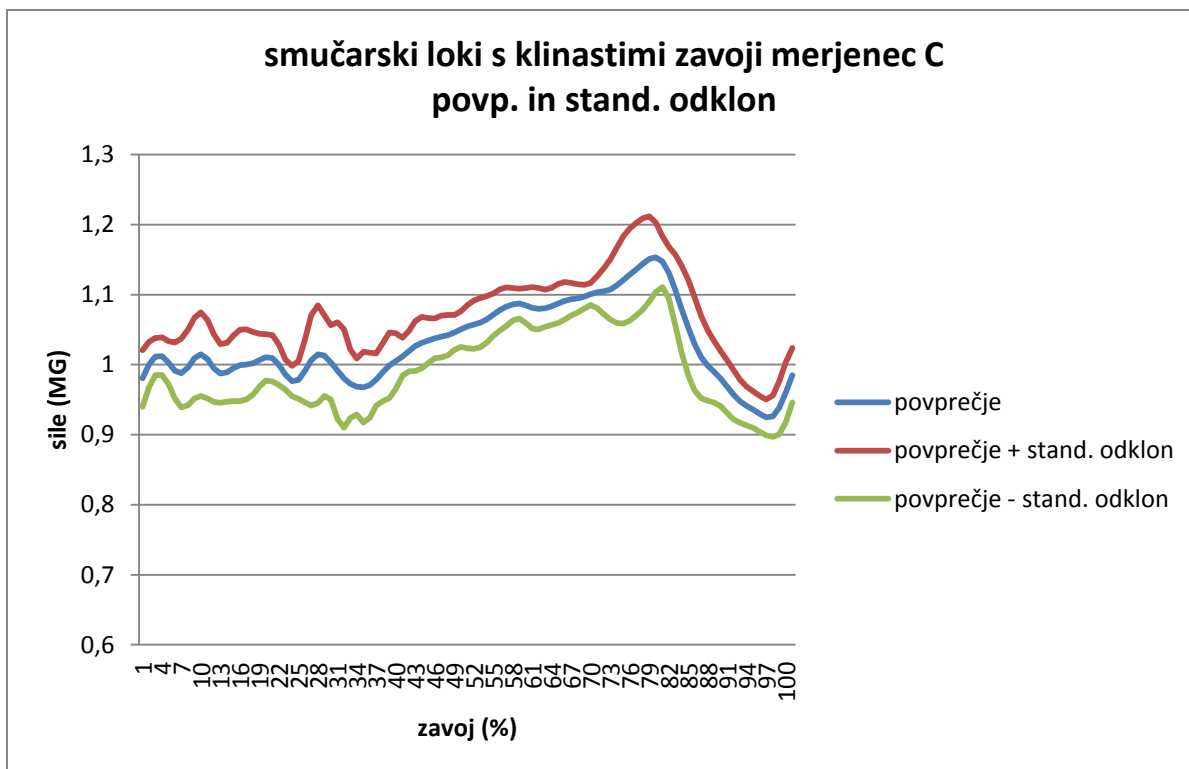


Diagram 53: Povprečje sil pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec C

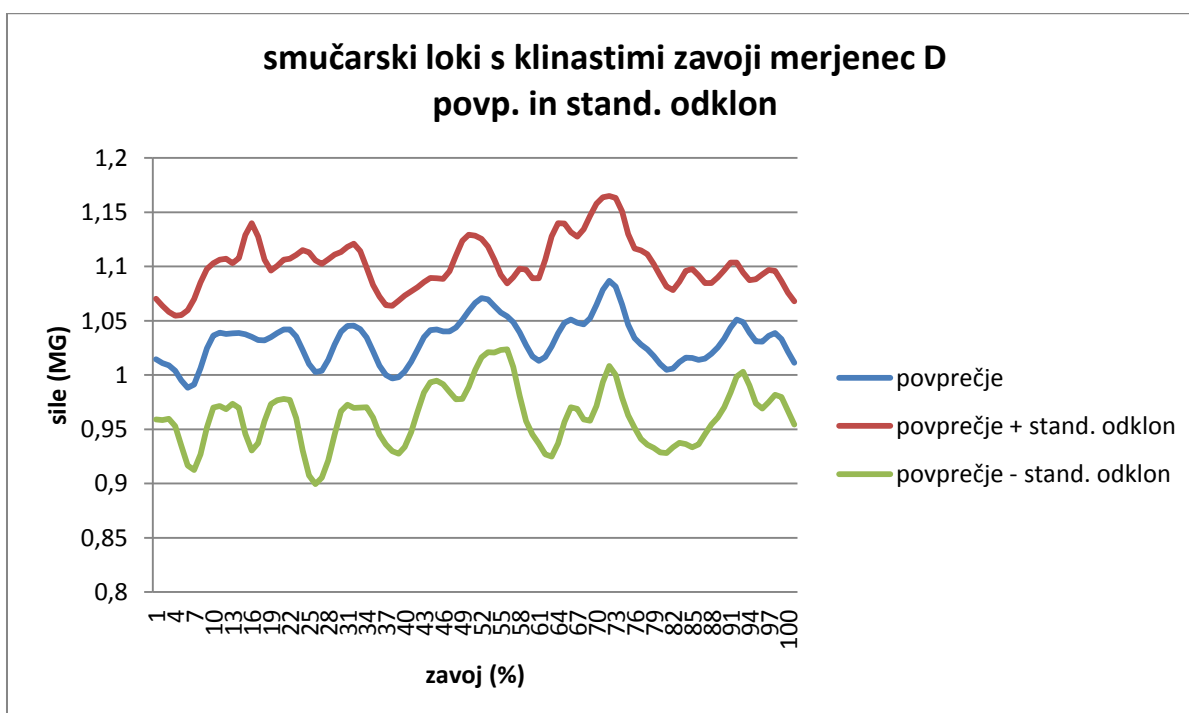


Diagram 54: Povprečje sil pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec D

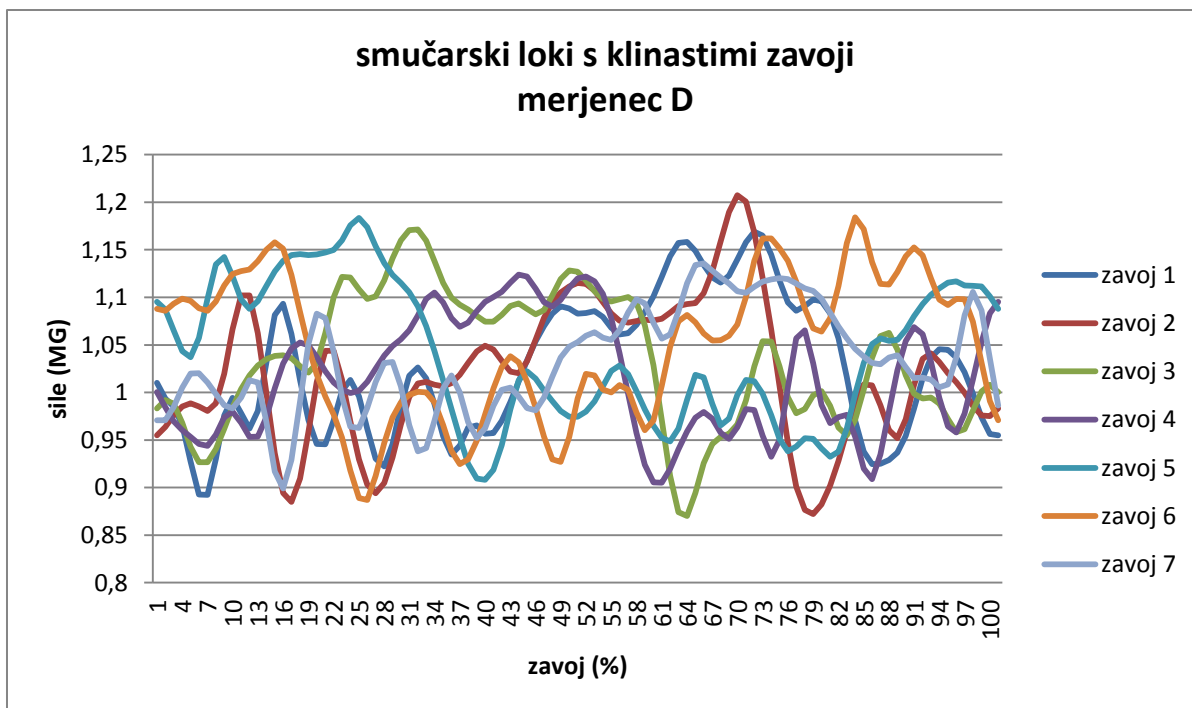


Diagram 55: Sile posameznih zavojev pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec D

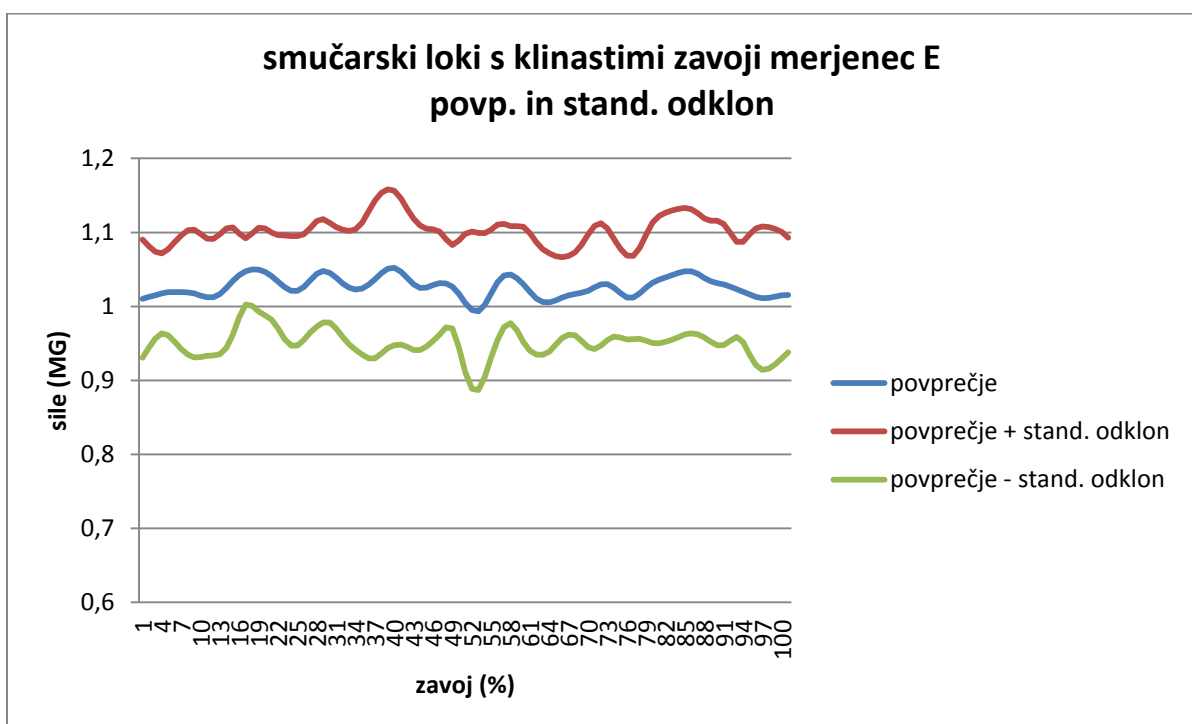


Diagram 56: Povprečje sil pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec E

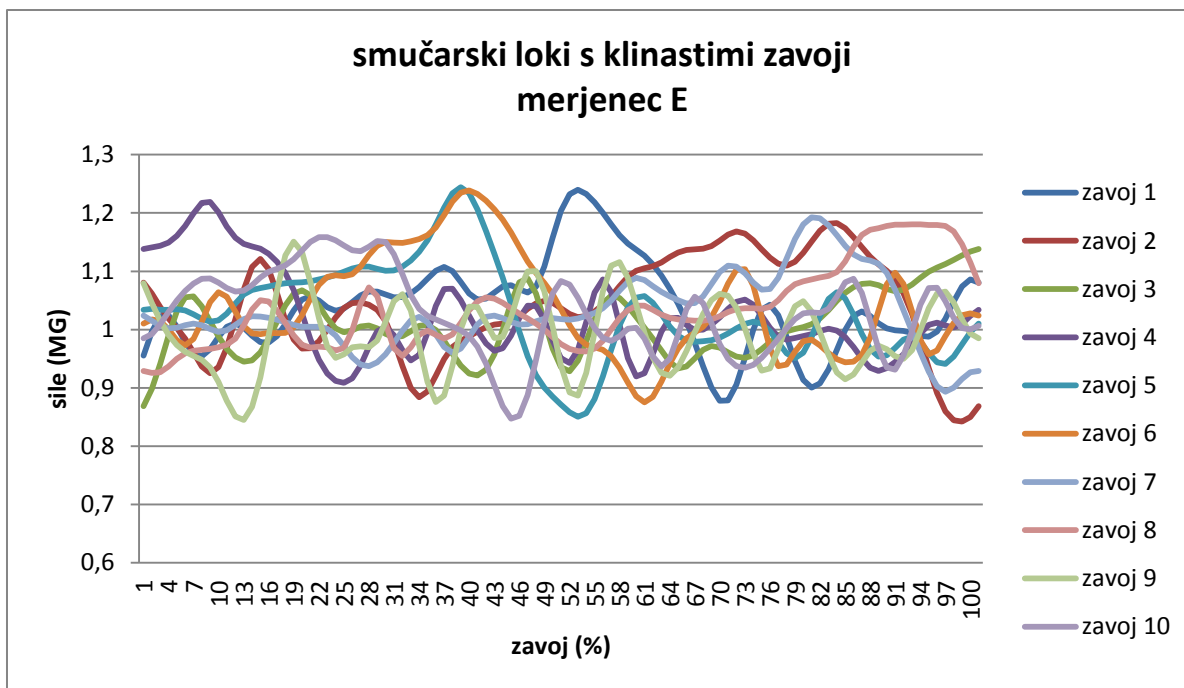


Diagram 57: Sile posameznih zavojev pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec E

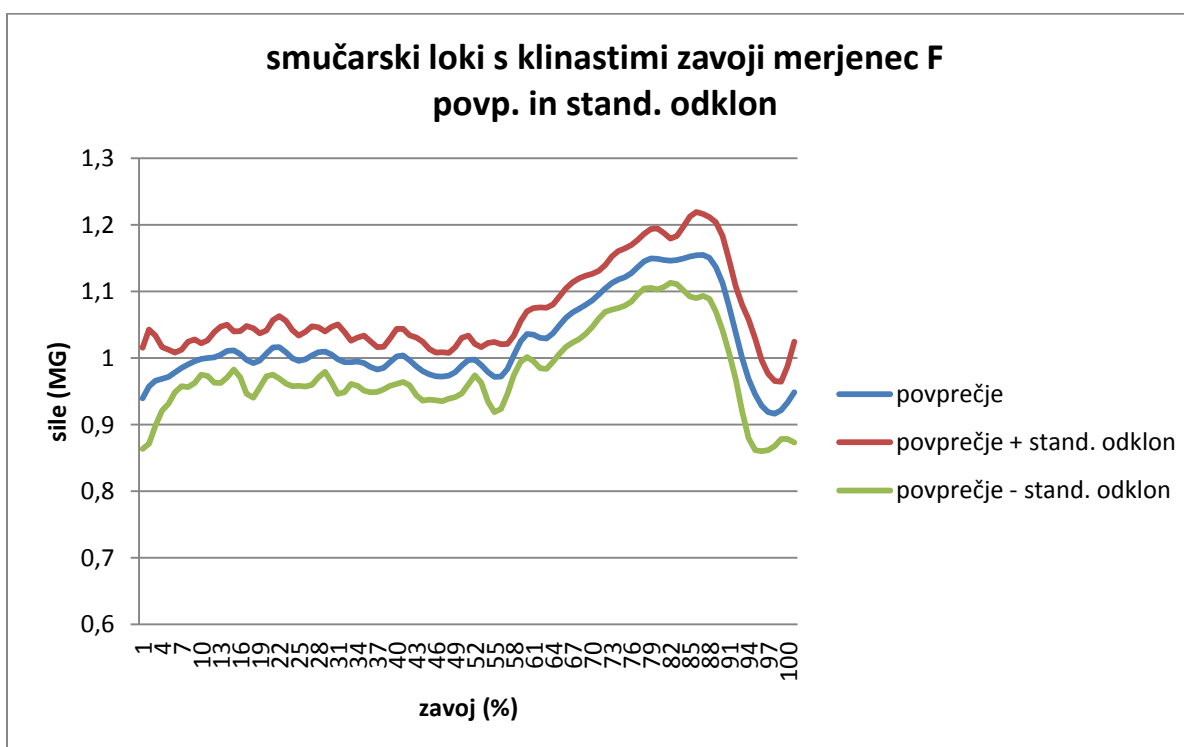


Diagram 58: Povpreĉje sil pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec F

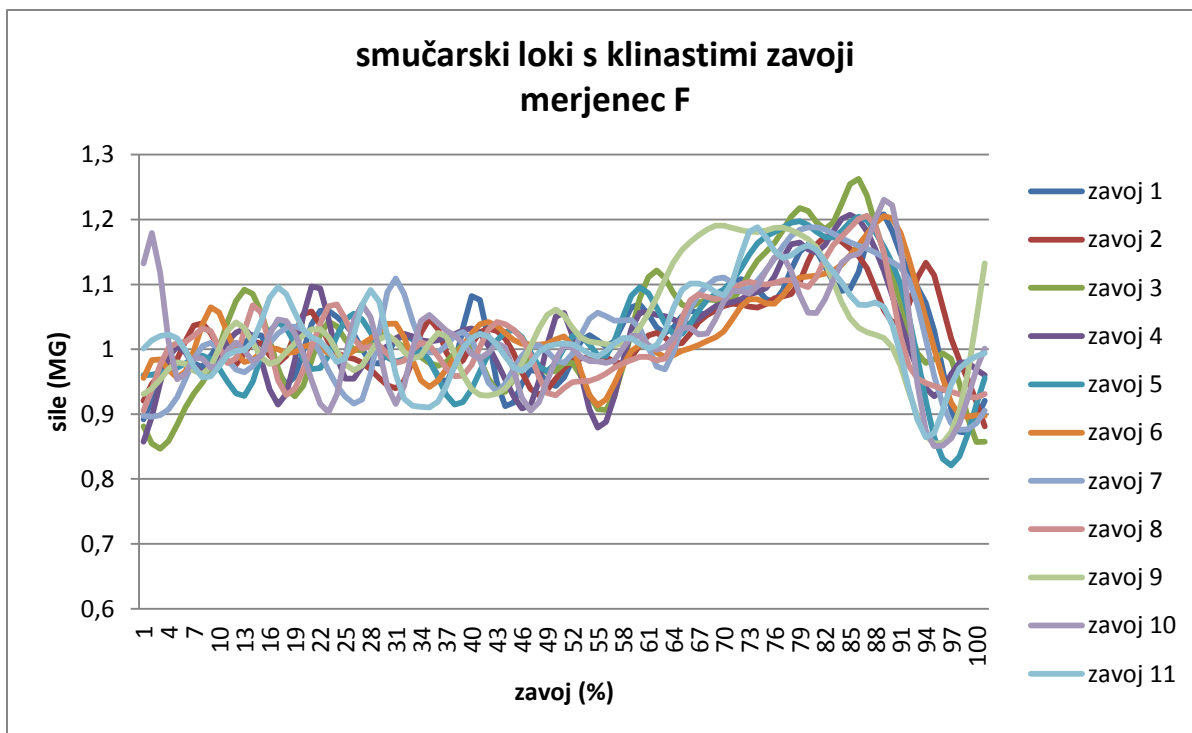


Diagram 59: Sile posameznih zavojev pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec F

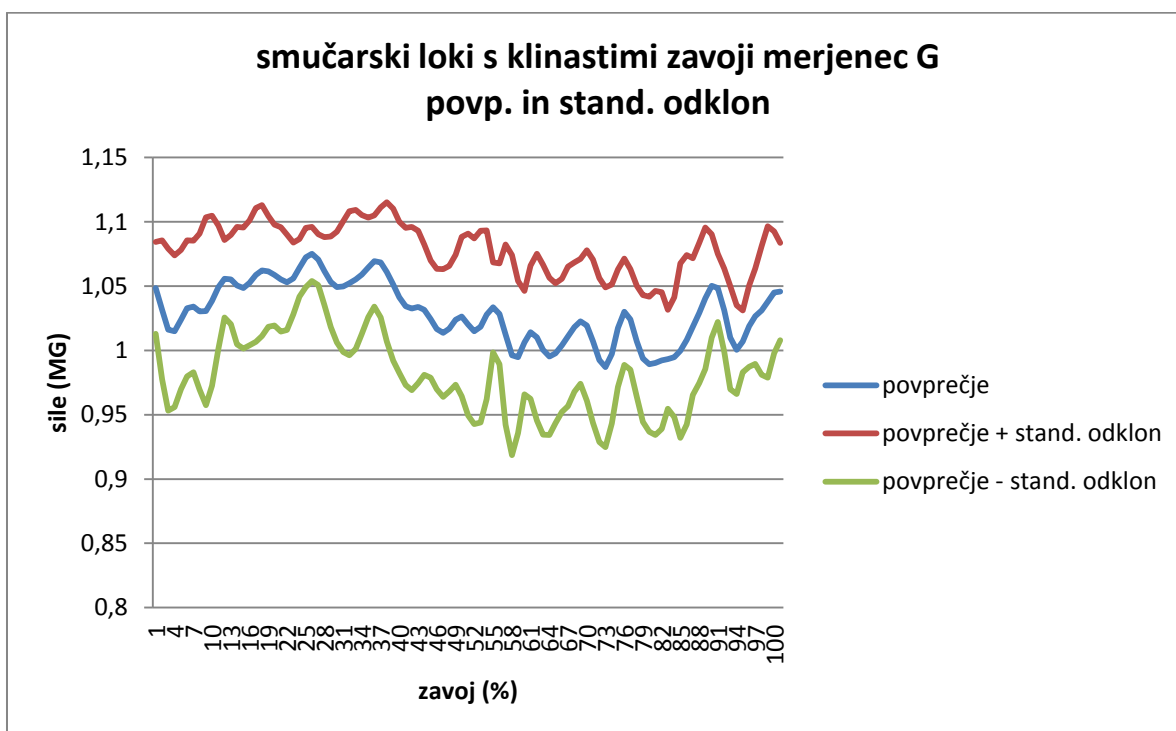


Diagram 60: Povprečje sil pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec G

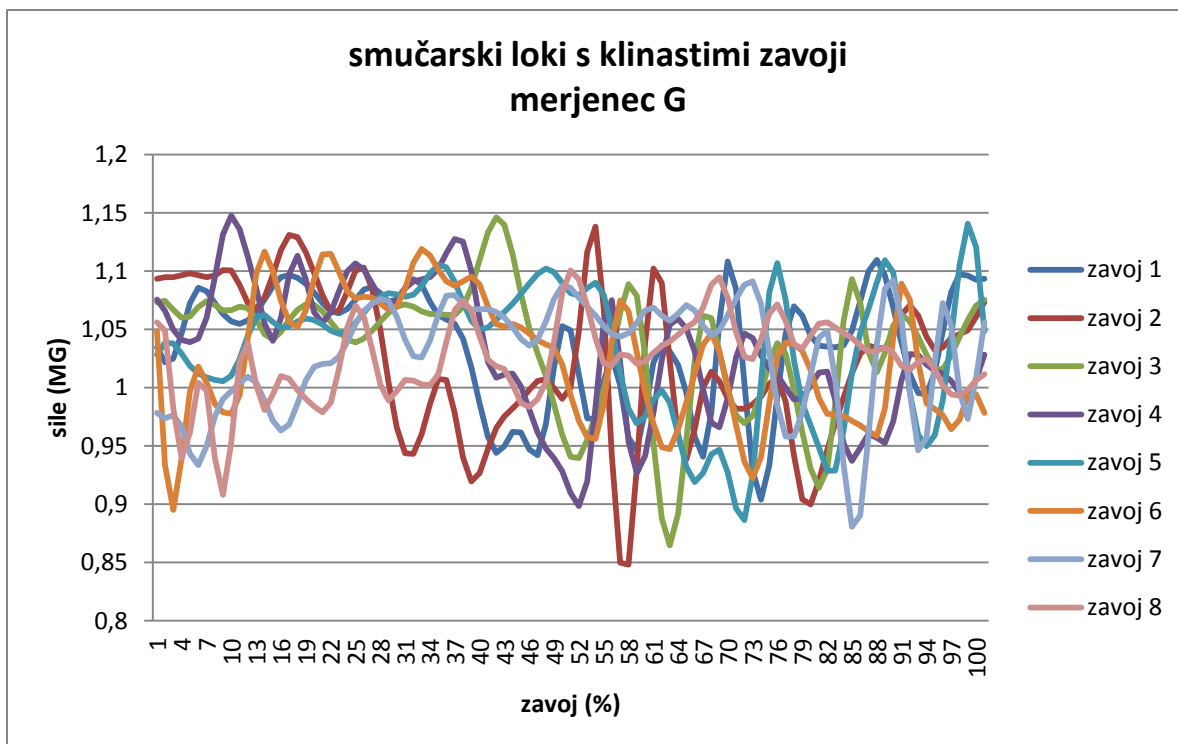


Diagram 61: Sile posameznih zavojev pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec G

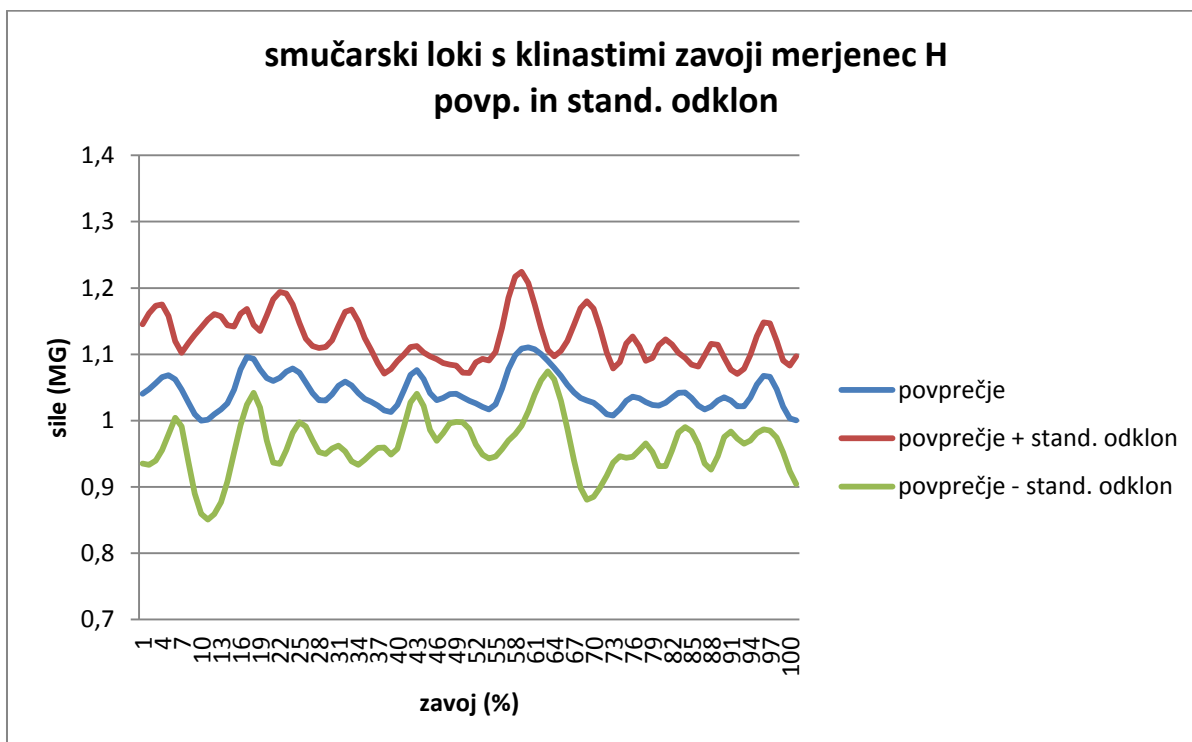


Diagram 62: Povprečje sil pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec H

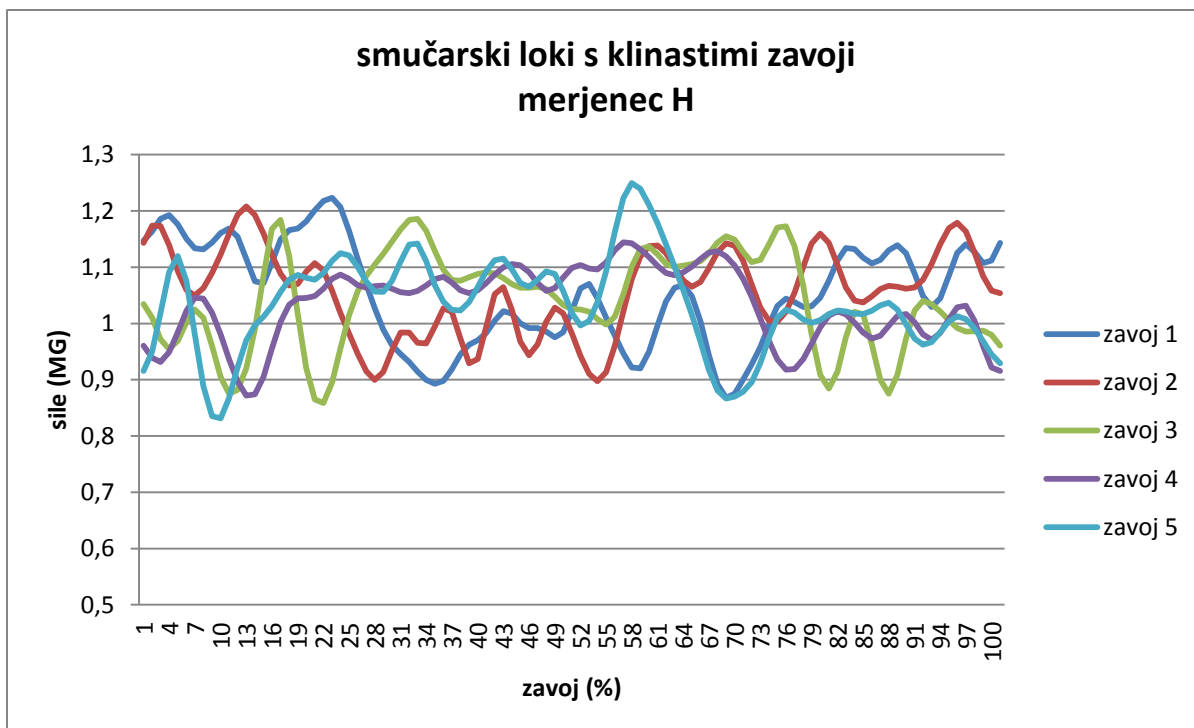


Diagram 63: Sile posameznih zavojev pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec H

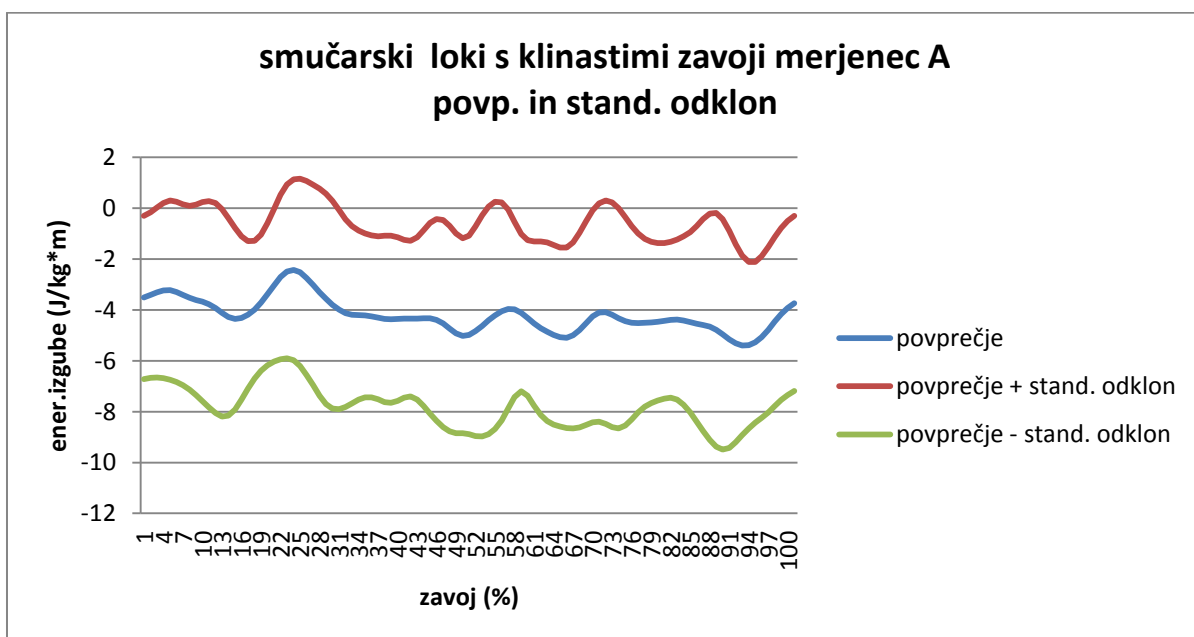


Diagram 64: Povprečje energijskih izgub pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec A

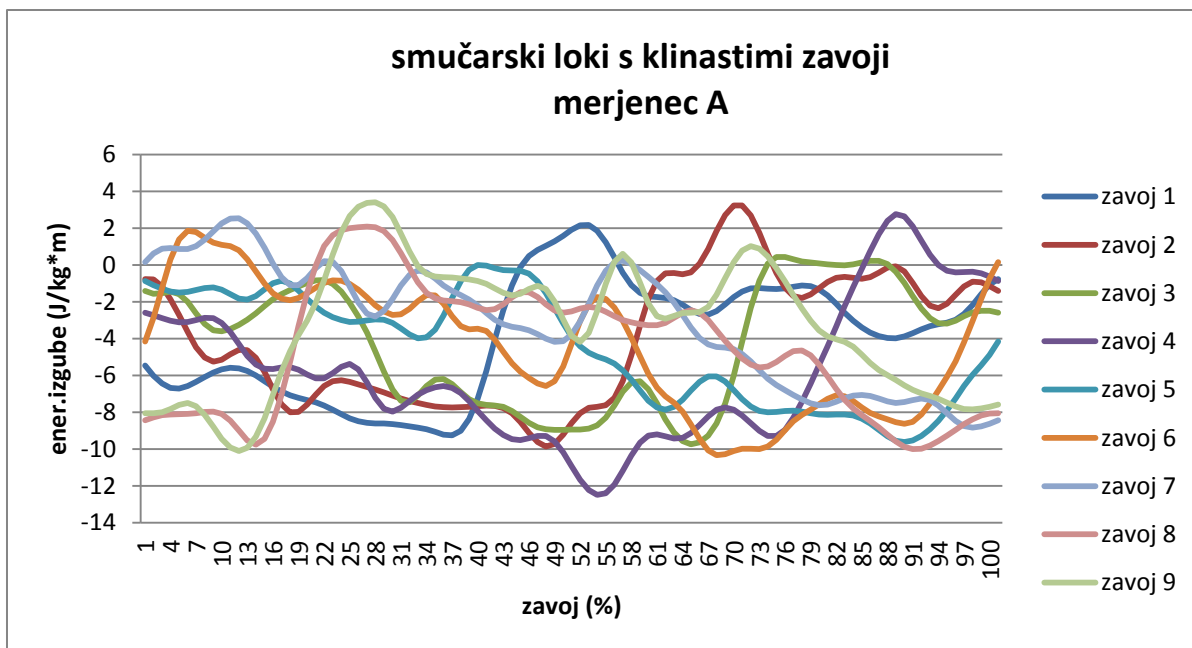


Diagram 65: Energijske izgube pri storitvi smučarski loki s linastimi zavoji – merjenec A

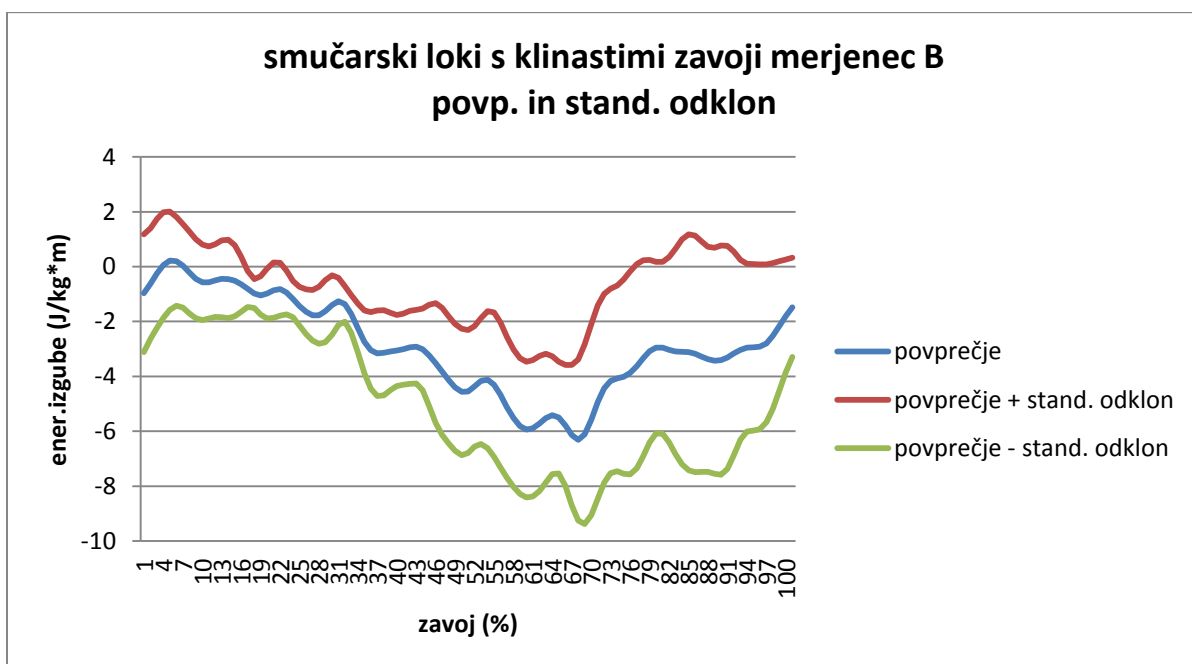


Diagram 66: Povprečje energijskih izgub pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec B

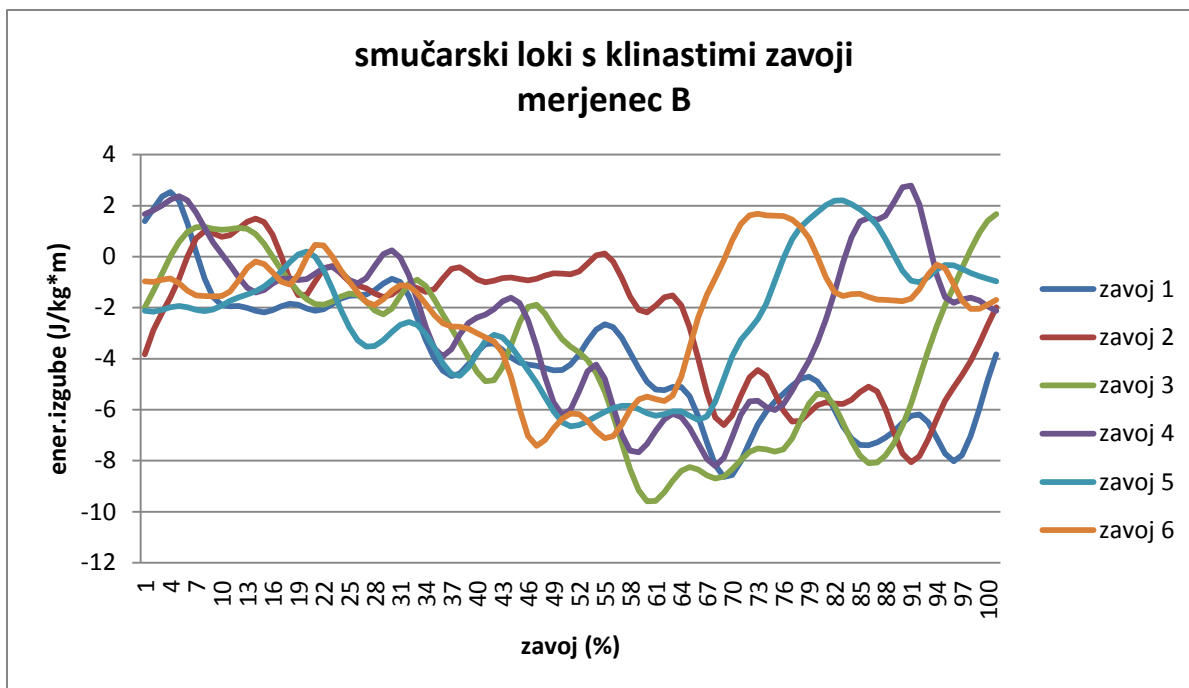


Diagram 67: Energijske izgube pri storitvi smučarski loki s linastimi zavoji – merjenec B

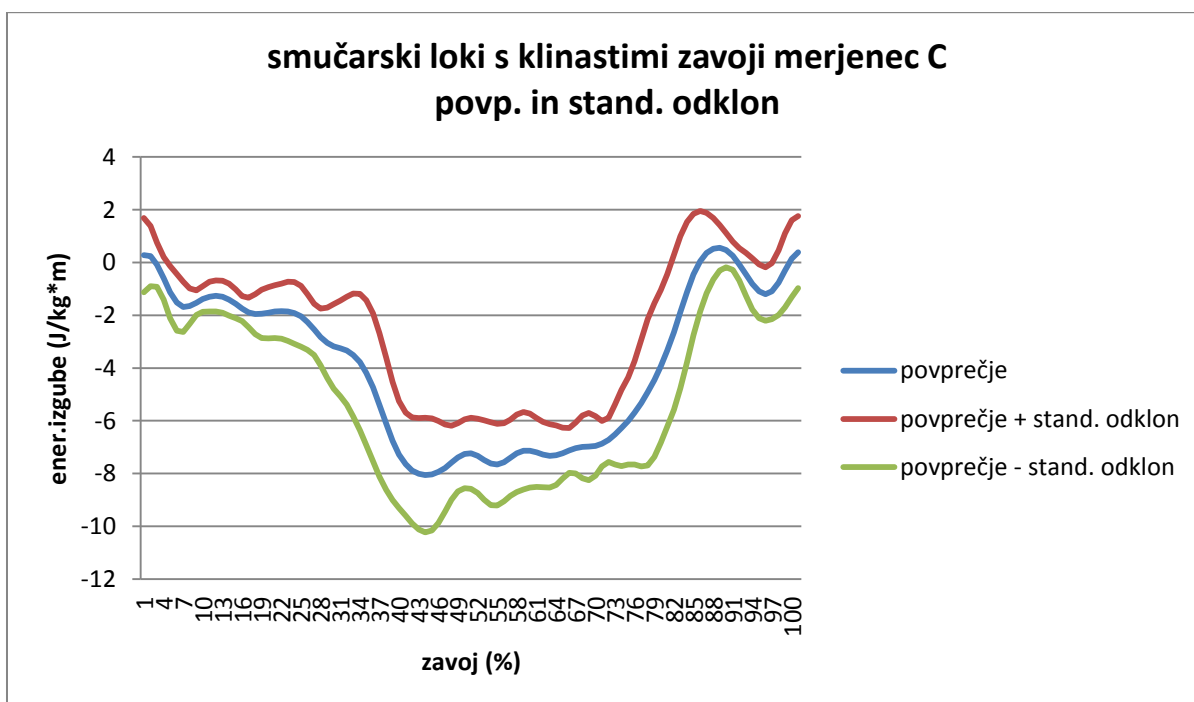


Diagram 68: Povprečje energijskih izgub pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec C

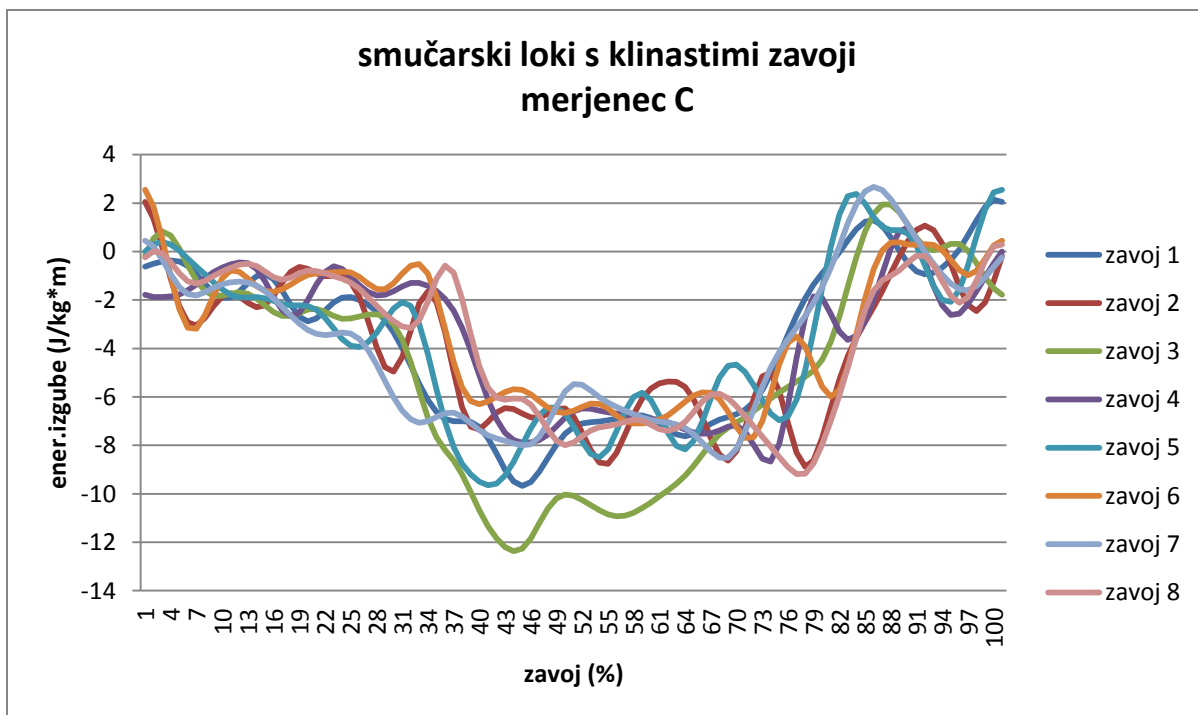


Diagram 69: Energijske izgube pri storitvi smučarski loki s linastimi zavoji – merjenec C

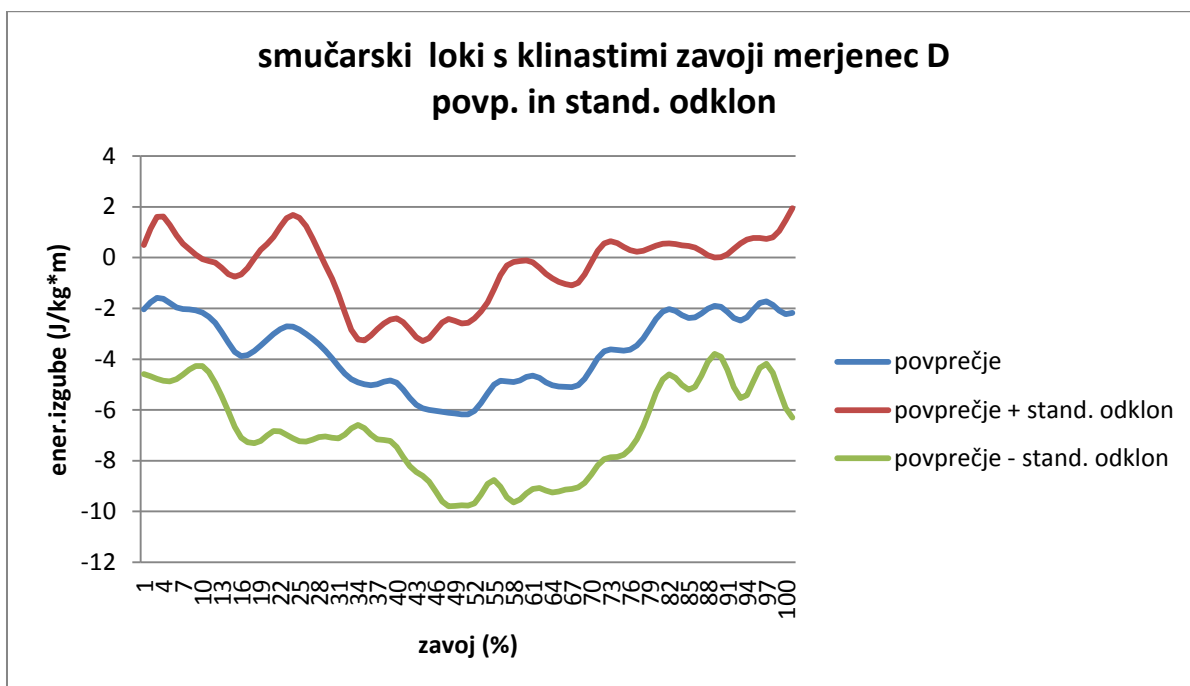


Diagram 70: Povprečje energijskih izgub pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec D

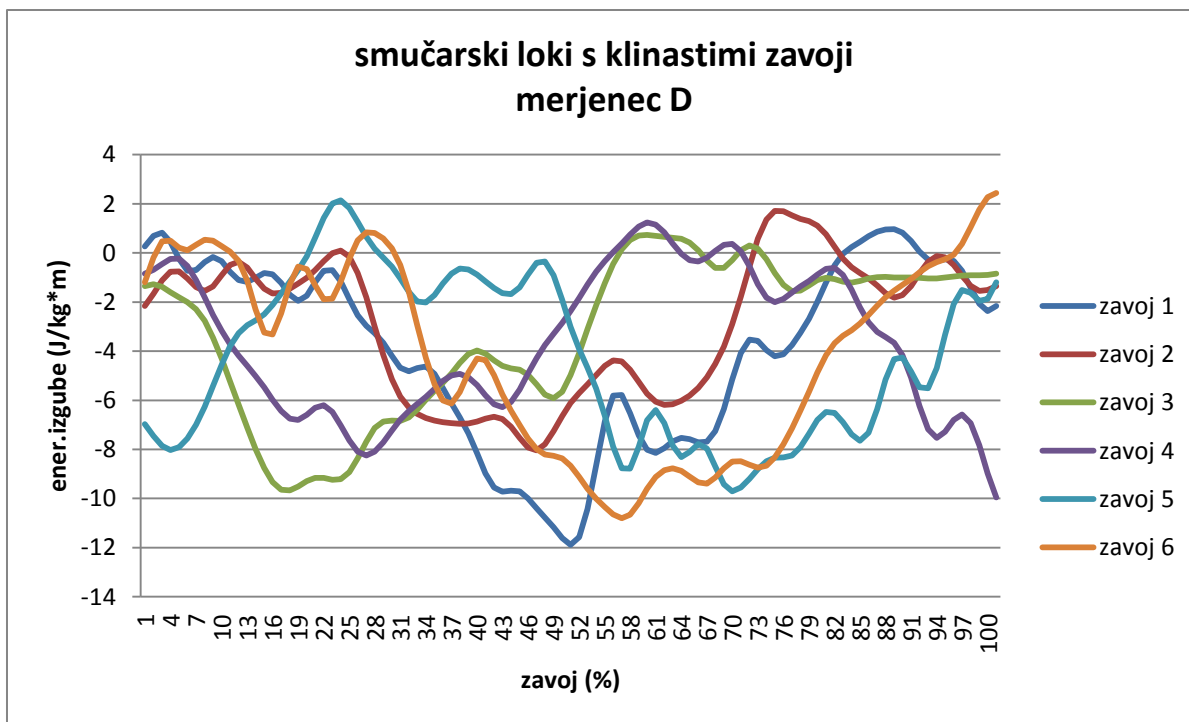


Diagram 71: Energijske izgube pri storitvi smučarski loki s linastimi zavoji – merjenec D

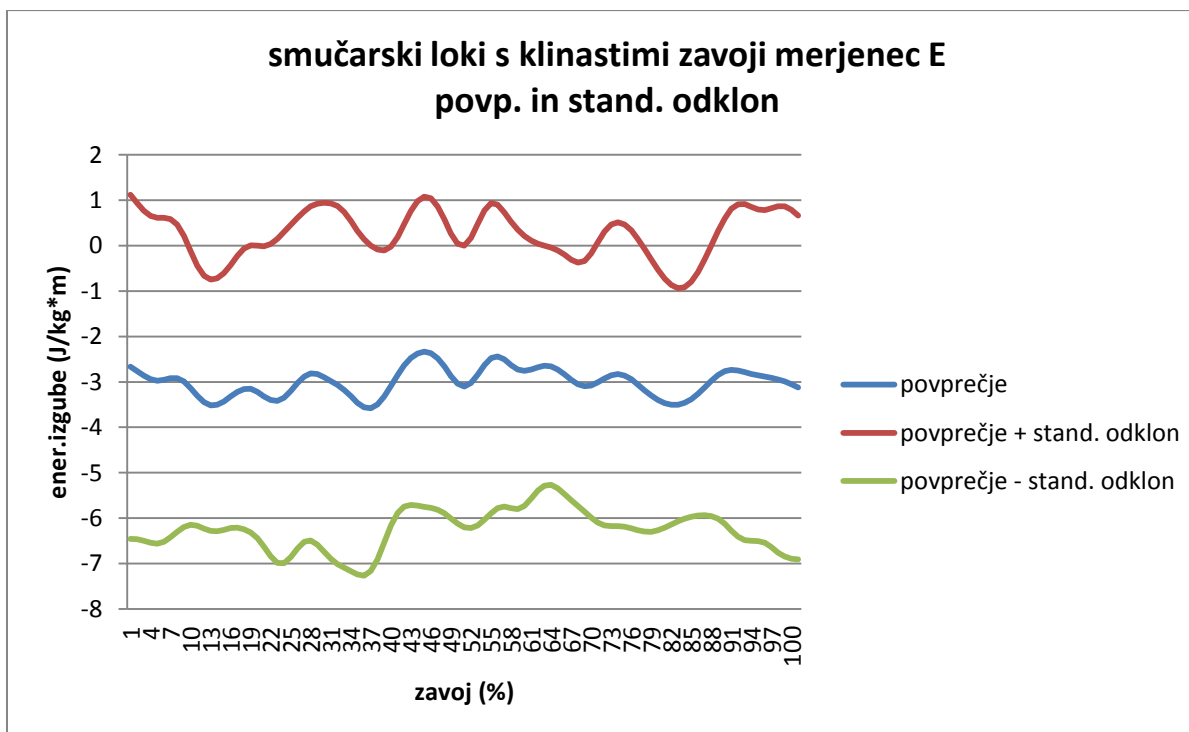


Diagram 72: Povprečje energijskih izgub pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec E

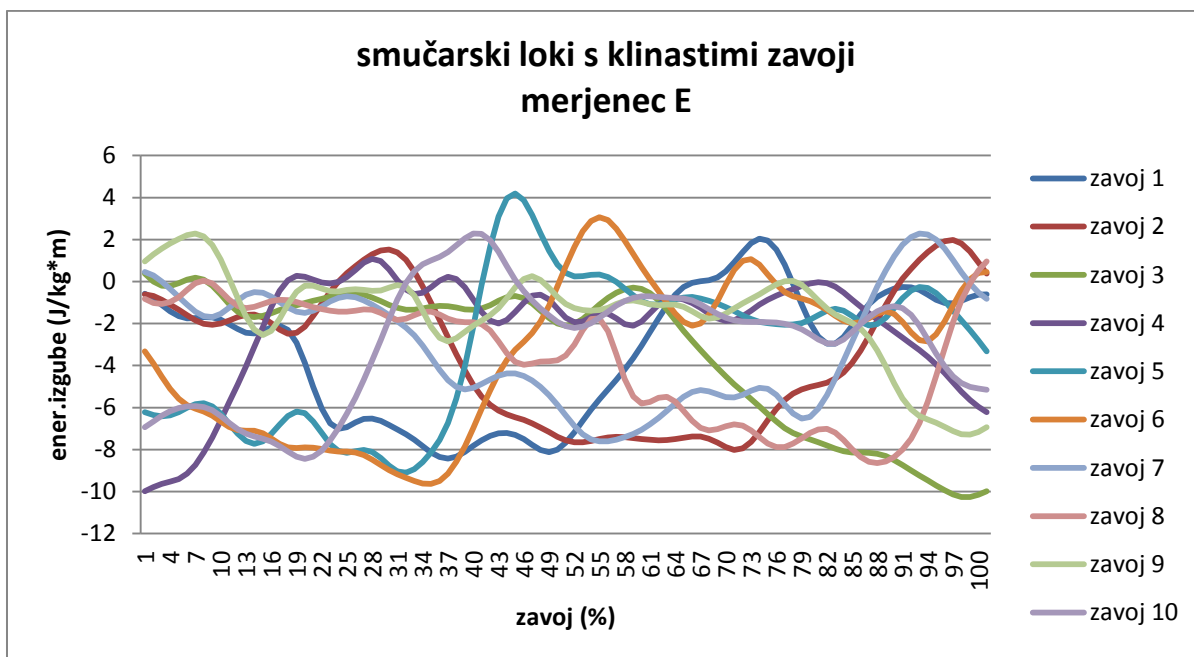


Diagram 73: Energijske izgube pri storitvi smučarski loki s linastimi zavoji – merjenec E

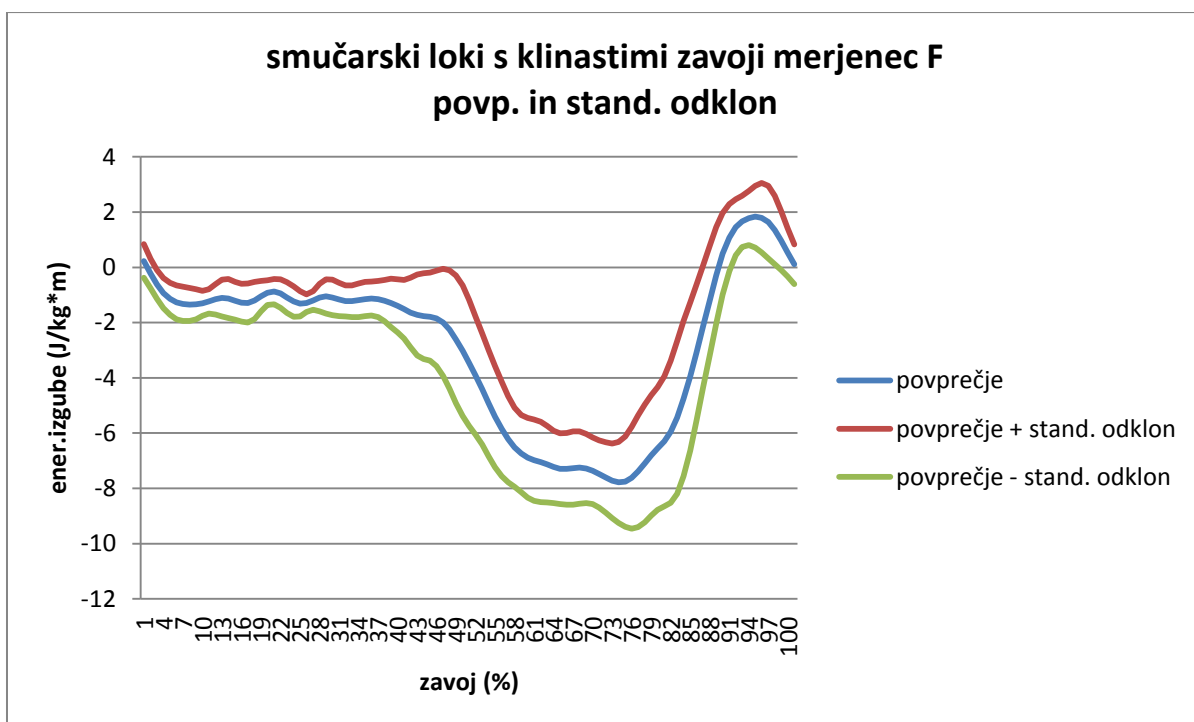


Diagram 74: Povprečje energijskih izgub pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec F

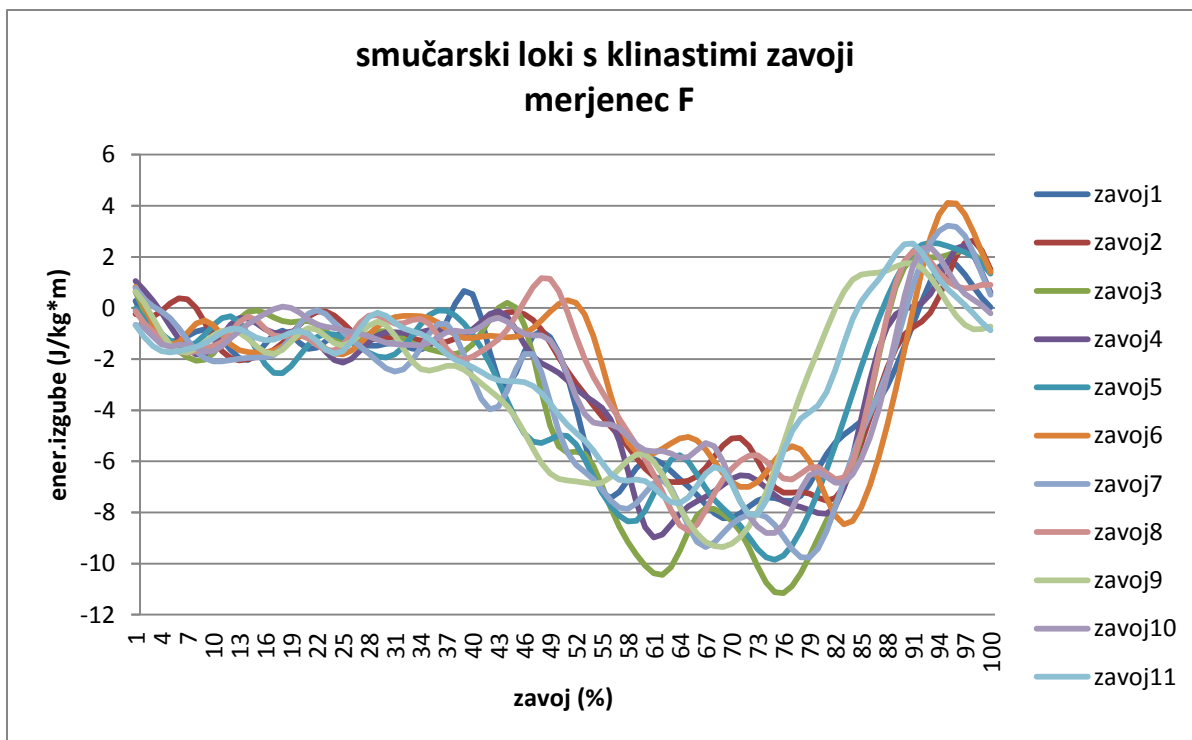


Diagram 75: Energijske izgube pri storitvi smučarski loki s linastimi zavoji – merjenec F

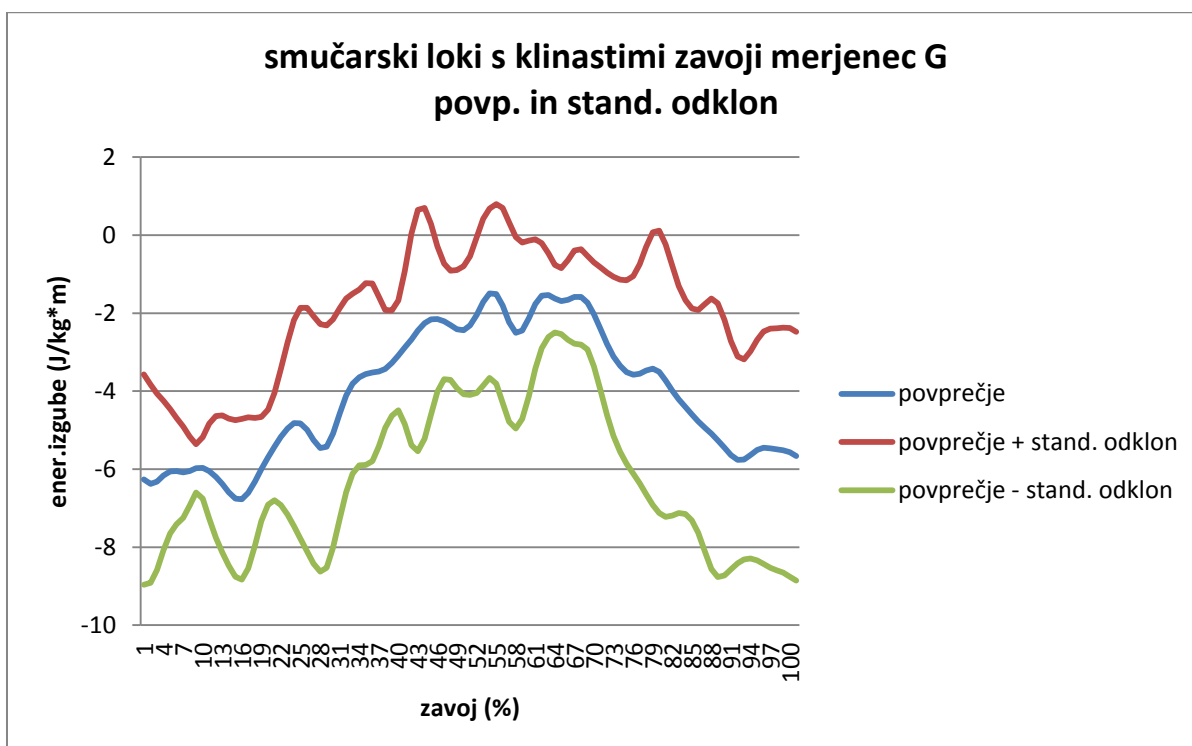


Diagram 76: Povprečje energijskih izgub pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec G

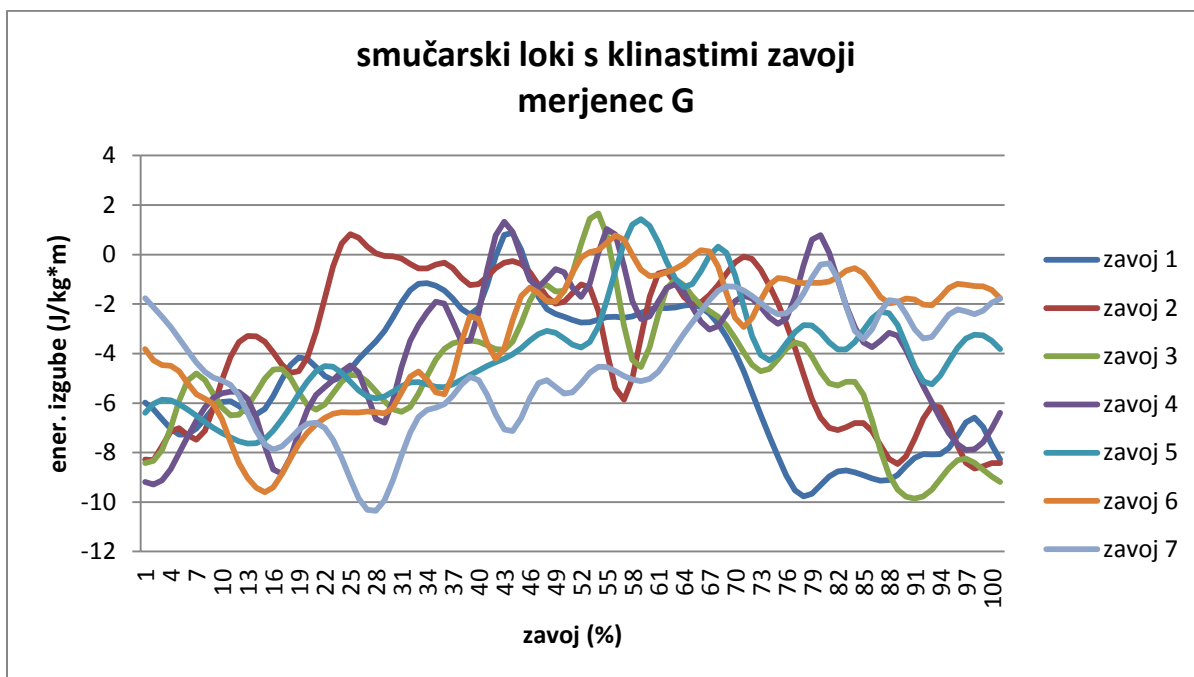


Diagram 77: Energijske izgube pri storitvi smučarski loki s linastimi zavoji – merjenec G

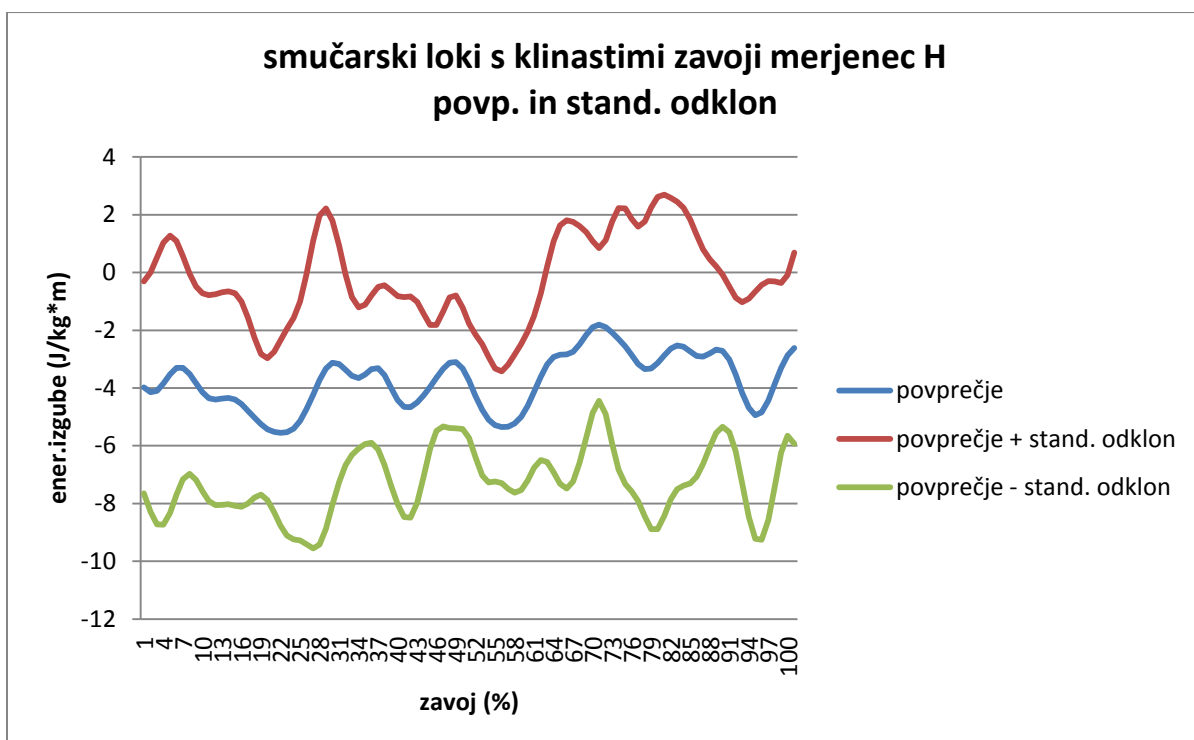


Diagram 78: Povprečje energijskih izgub pri storitvi smučarski loki s klinastimi zavoji – merjenec H

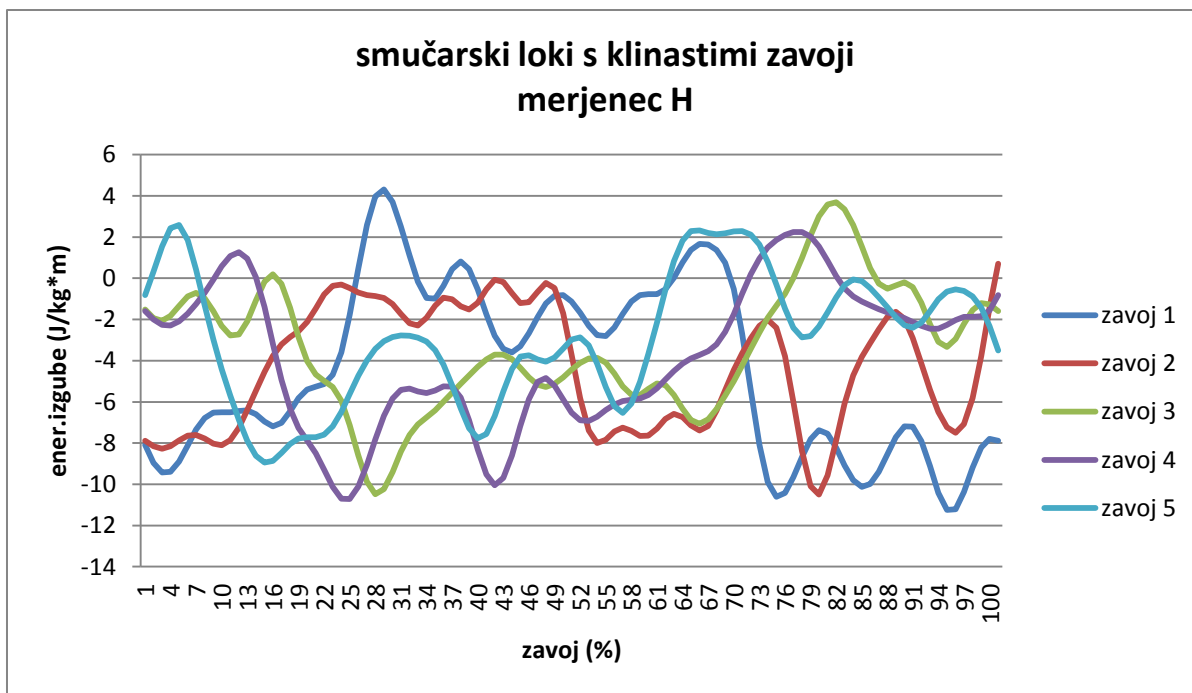


Diagram 79: Energijske izgube pri storitvi smučarski loki s linastimi zavoji – merjenec H

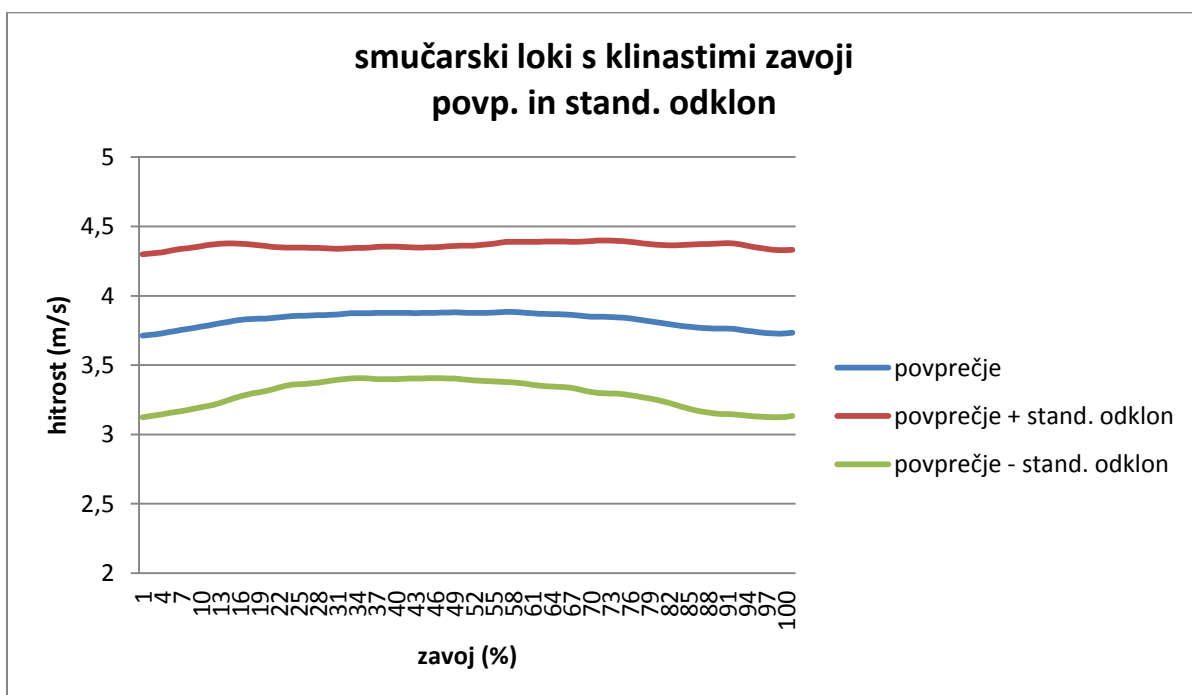


Diagram 80: Skupna povprečna hitrost pri storitvi smučarski loki s klinastmi zavoji

10.2. Zavoje s klinastim odzivom / vbod palice

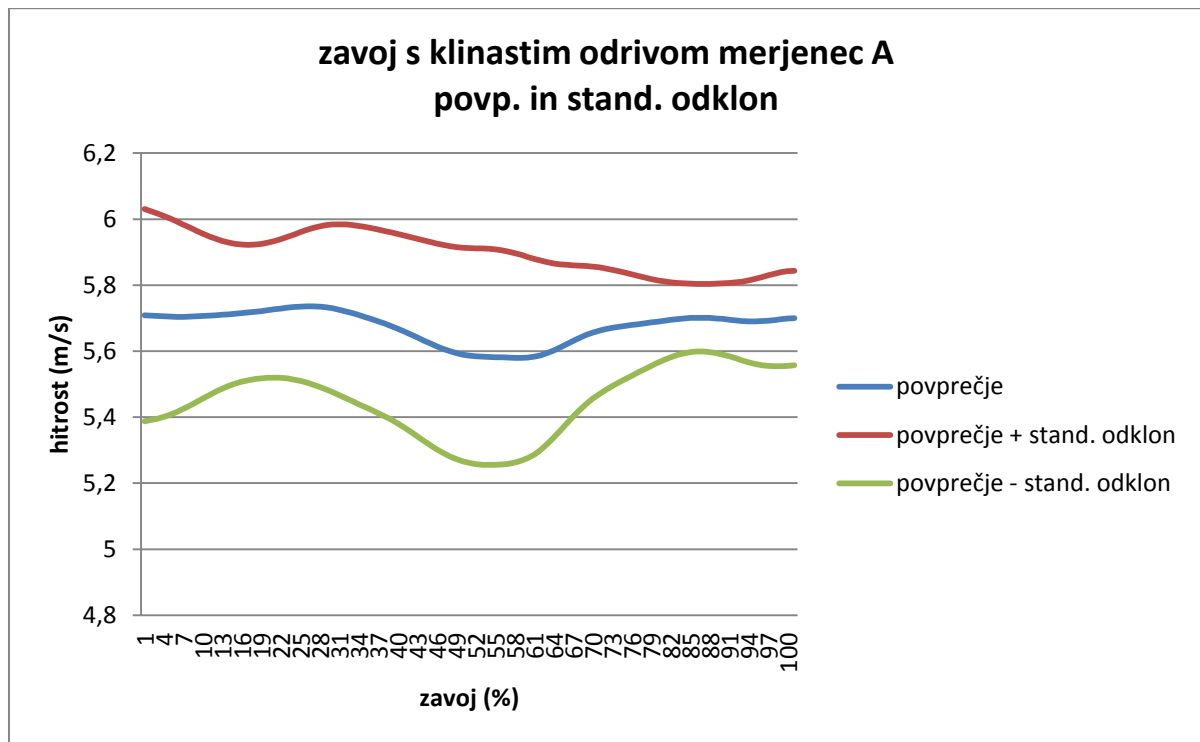


Diagram 81: Povprečje hitrosti pri storitvi zavoj s klinastim odzivom – merjenec A

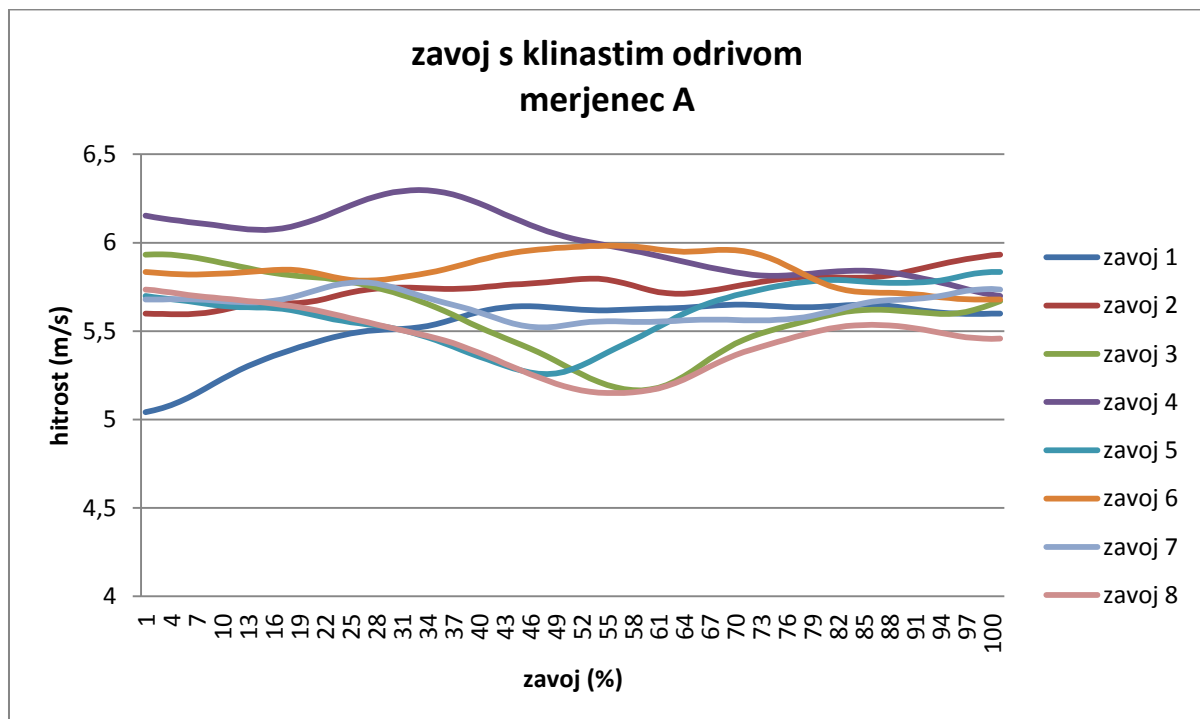


Diagram 82: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi zavoj s klinastim odzivom – merjenec A

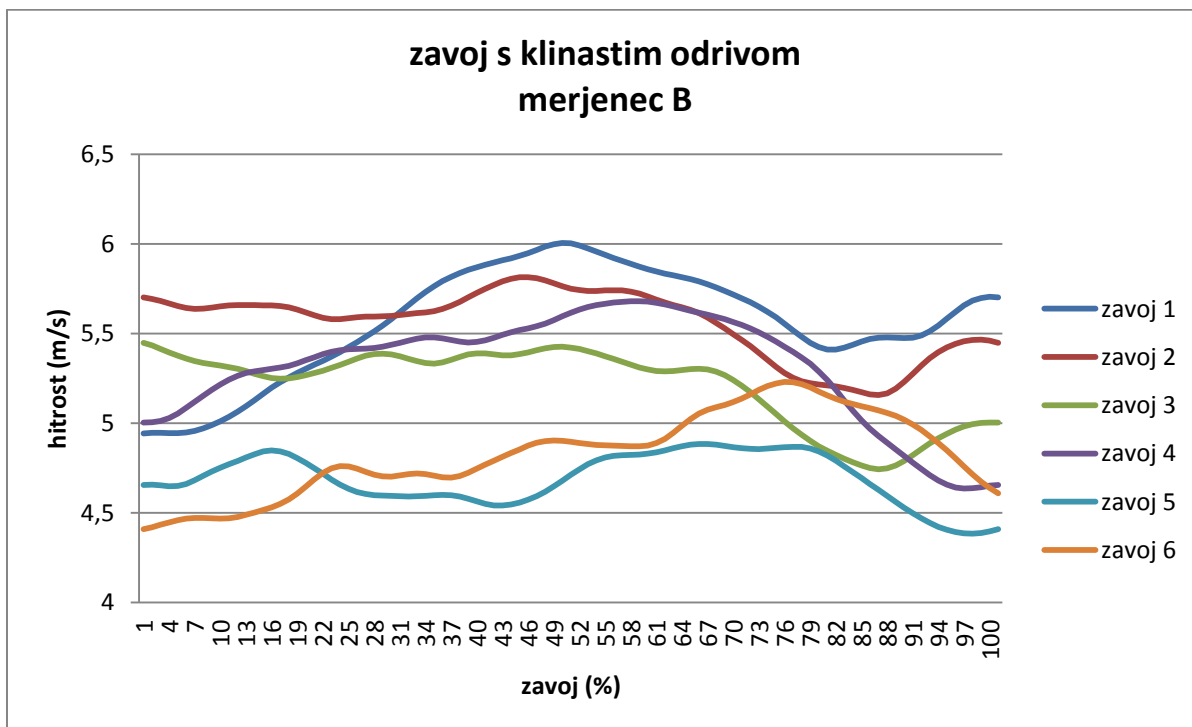


Diagram 83: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi zavoj s klinastim odzivom – merjenec B

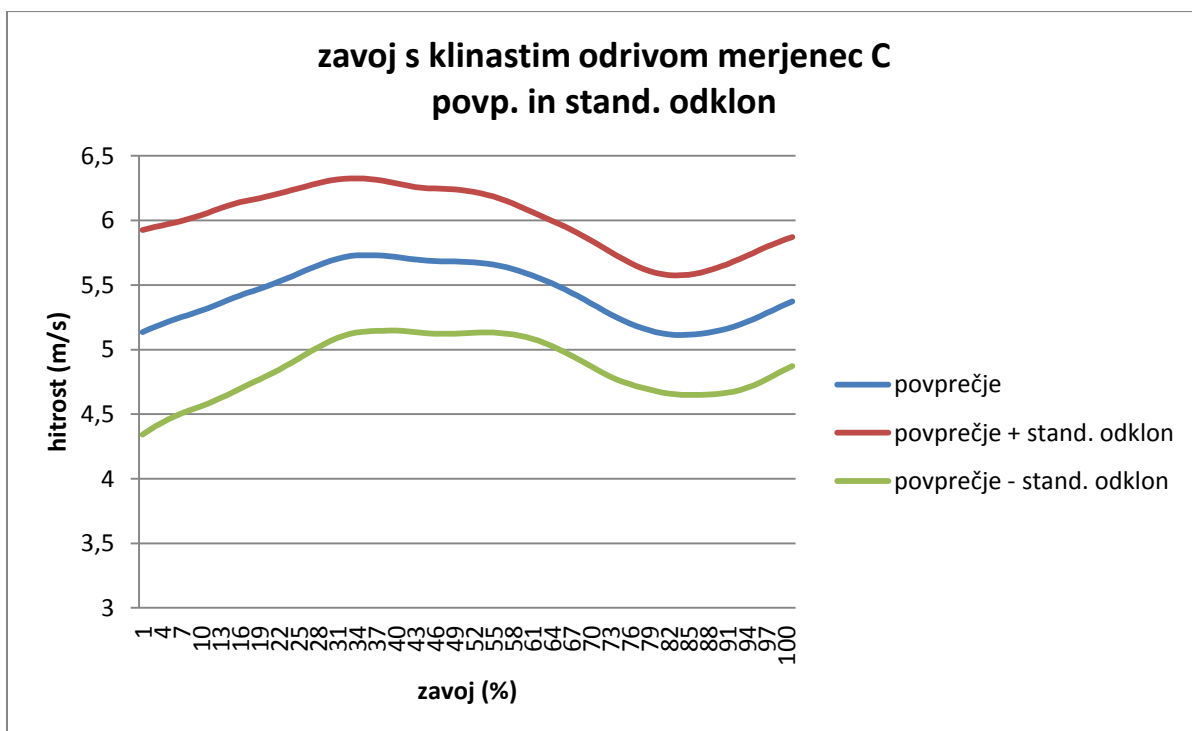


Diagram 84: Povprečje hitrosti pri storitvi zavoj s klinastim odzivom – merjenec C

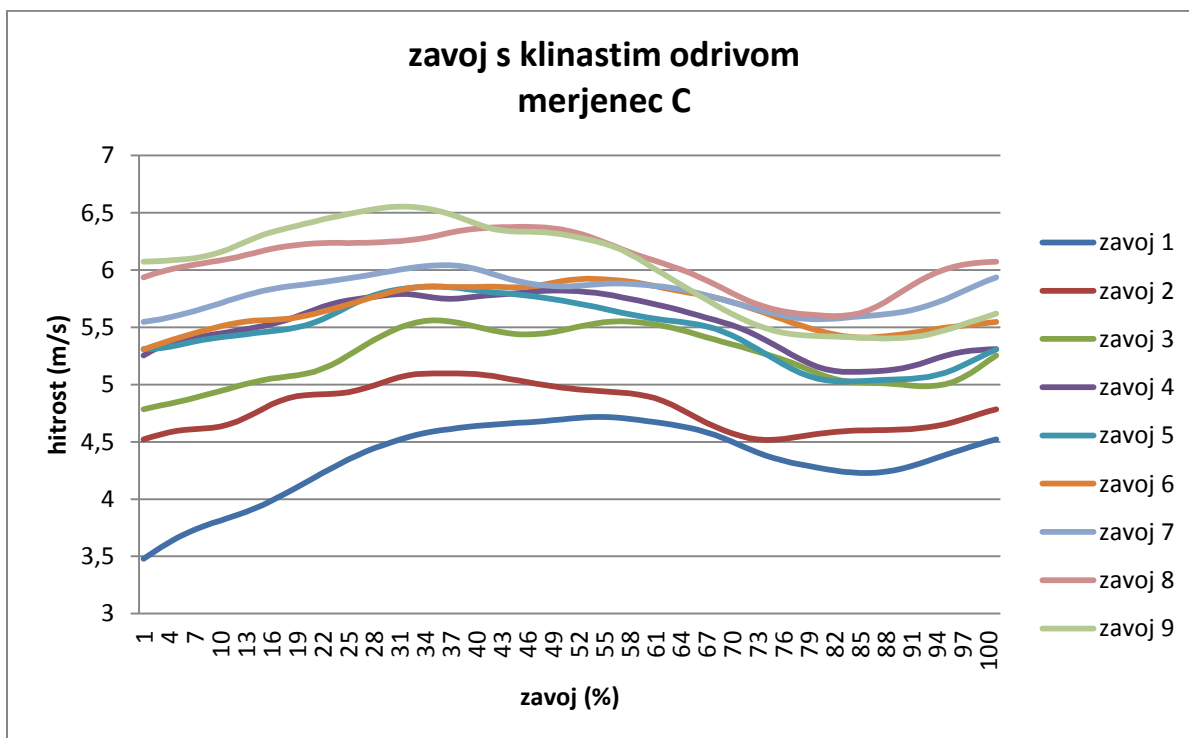


Diagram 85: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi zavoj s klinastim odzivom – merjenec C

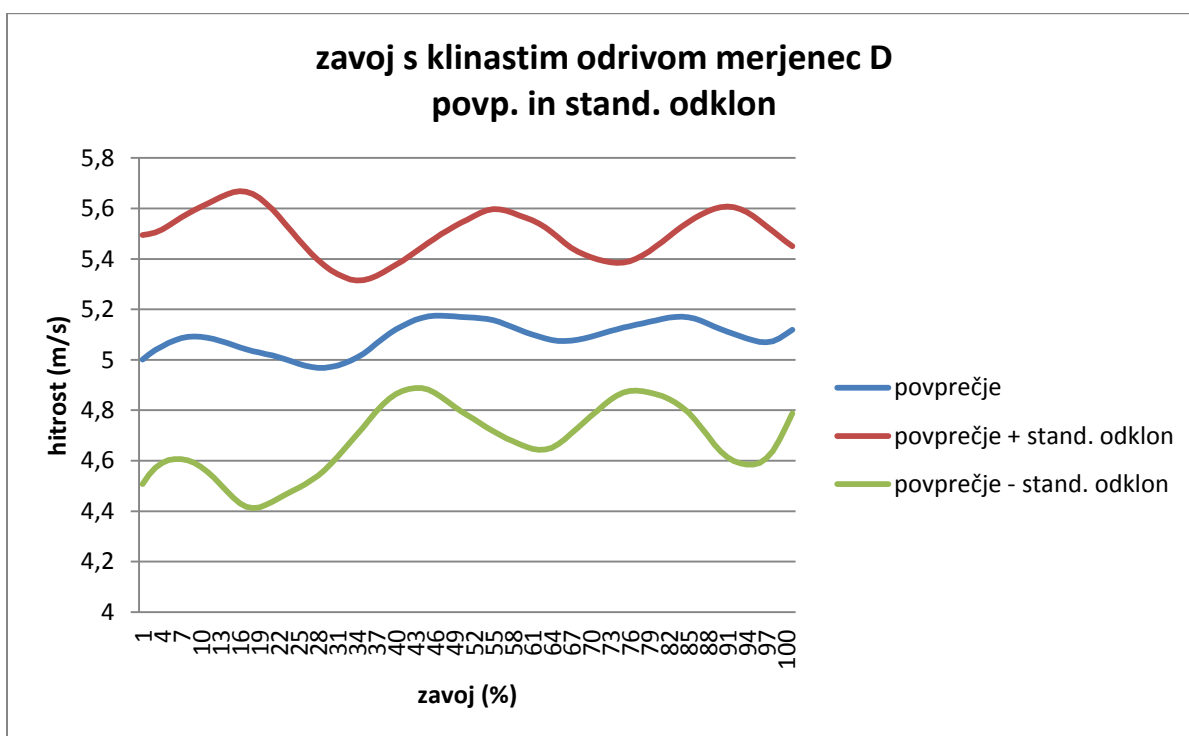


Diagram 86: Povprečje hitrosti pri storitvi zavoj s klinastim odzivom – merjenec D

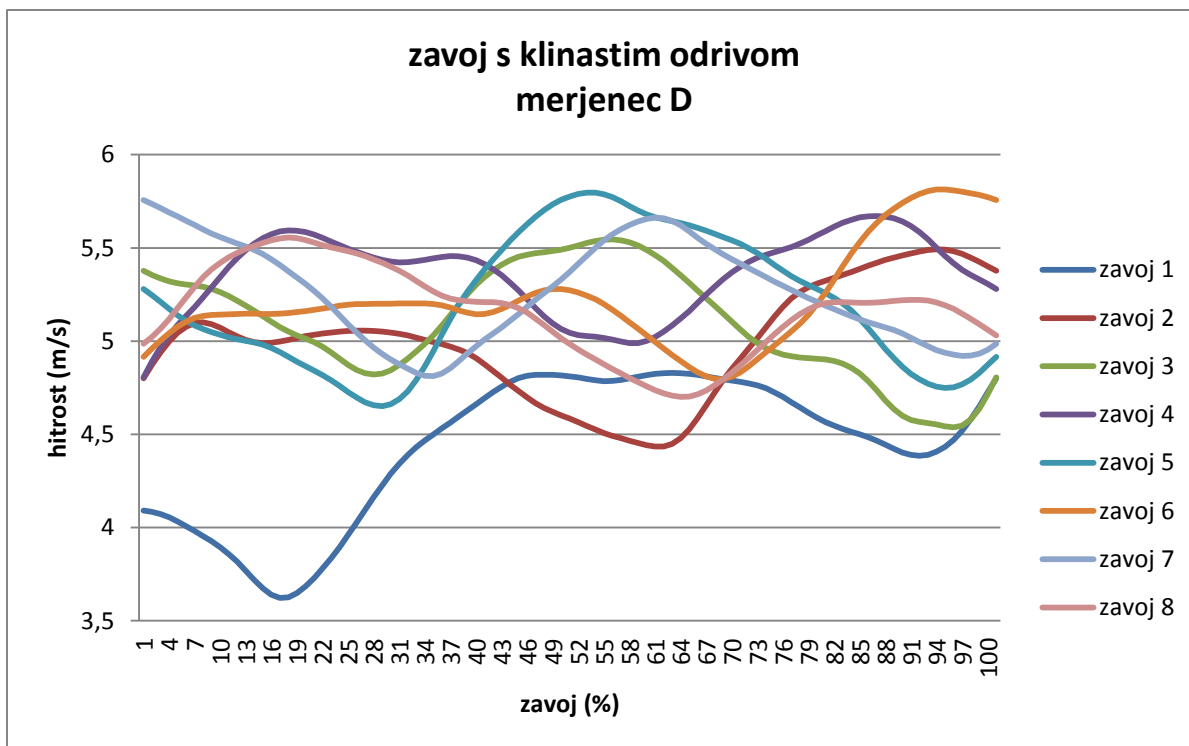


Diagram 87: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi zavoj s klinastim odzivom – merjenec D

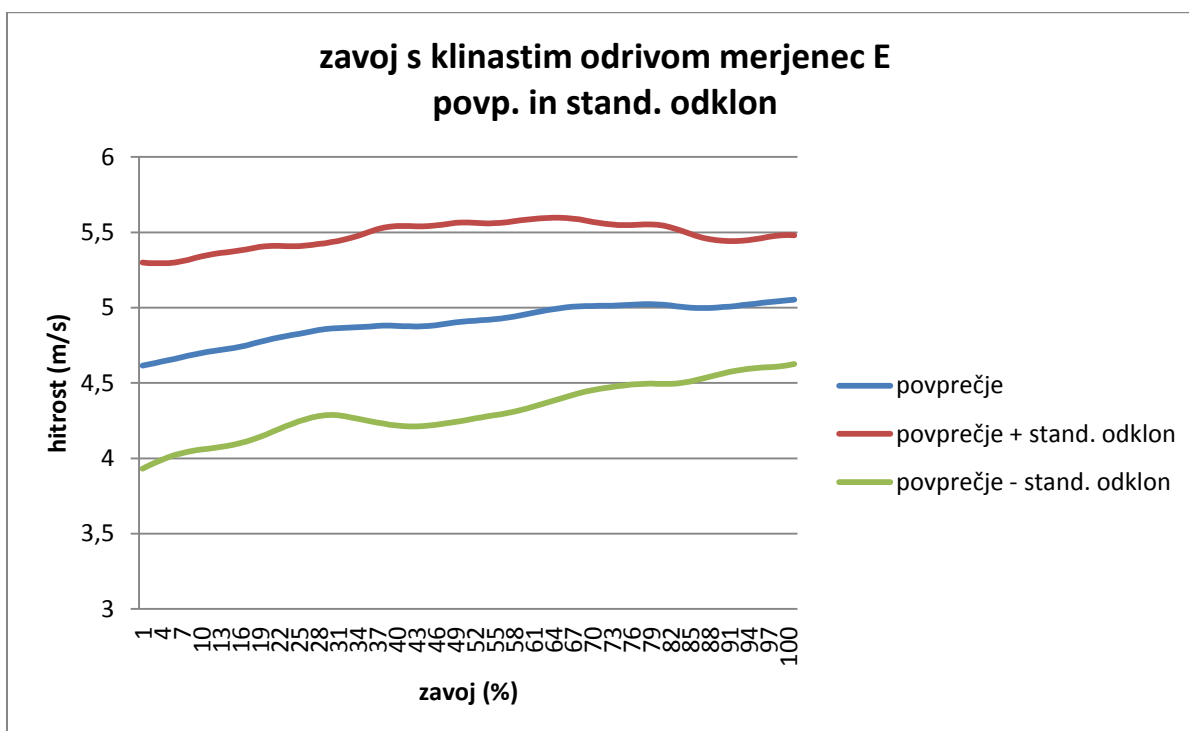


Diagram 88: Povprečje hitrosti pri storitvi zavoj s klinastim odzivom – merjenec E

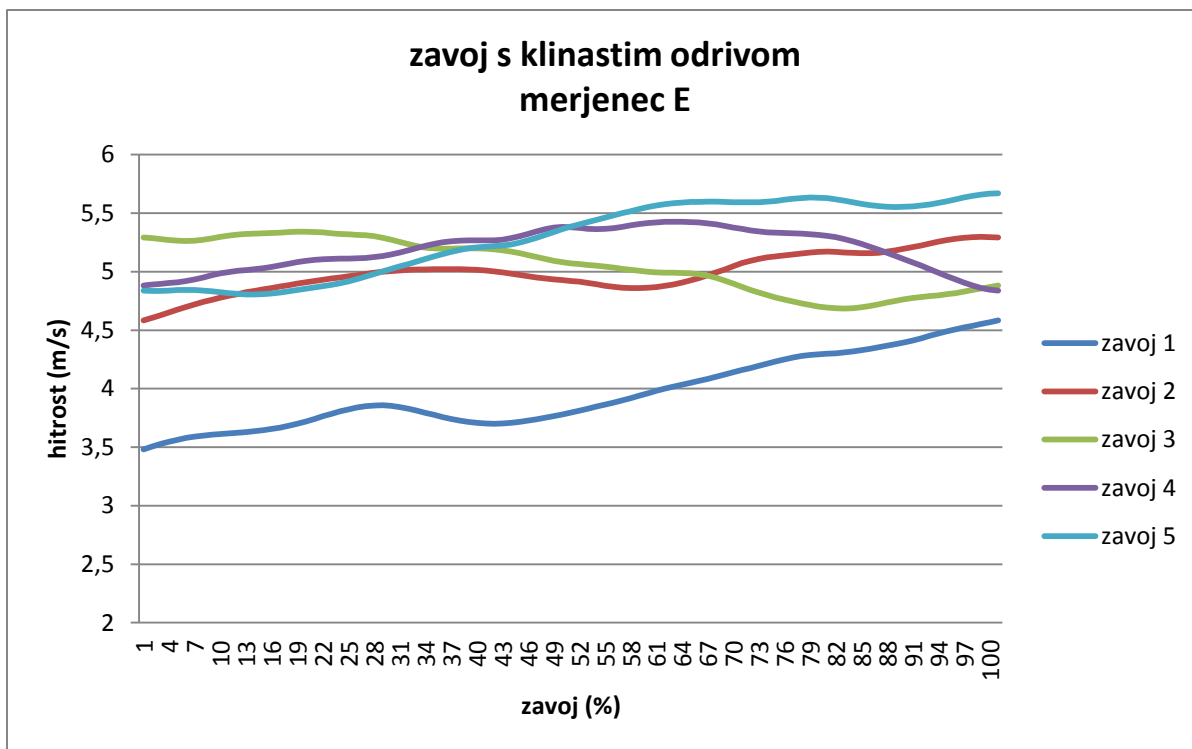


Diagram 89: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi zavoj s klinastim odzivom – merjenec E

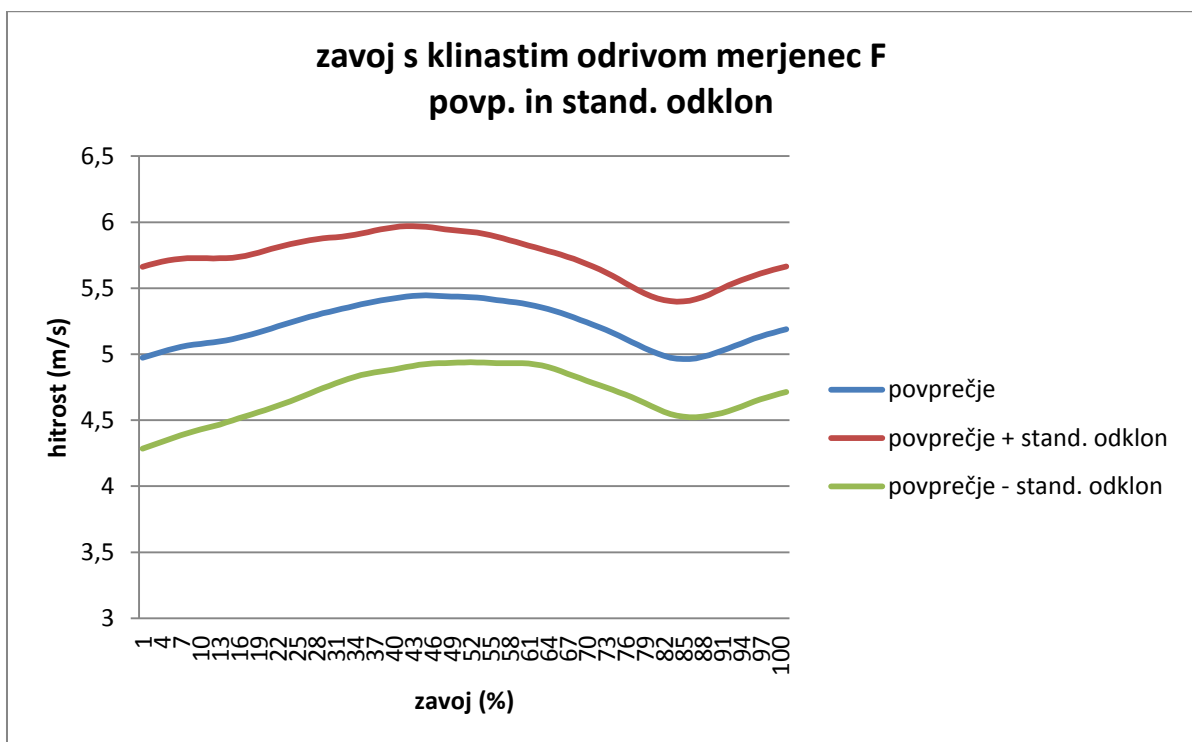


Diagram 90: Povprečje hitrosti pri storitvi zavoj s klinastim odzivom – merjenec F

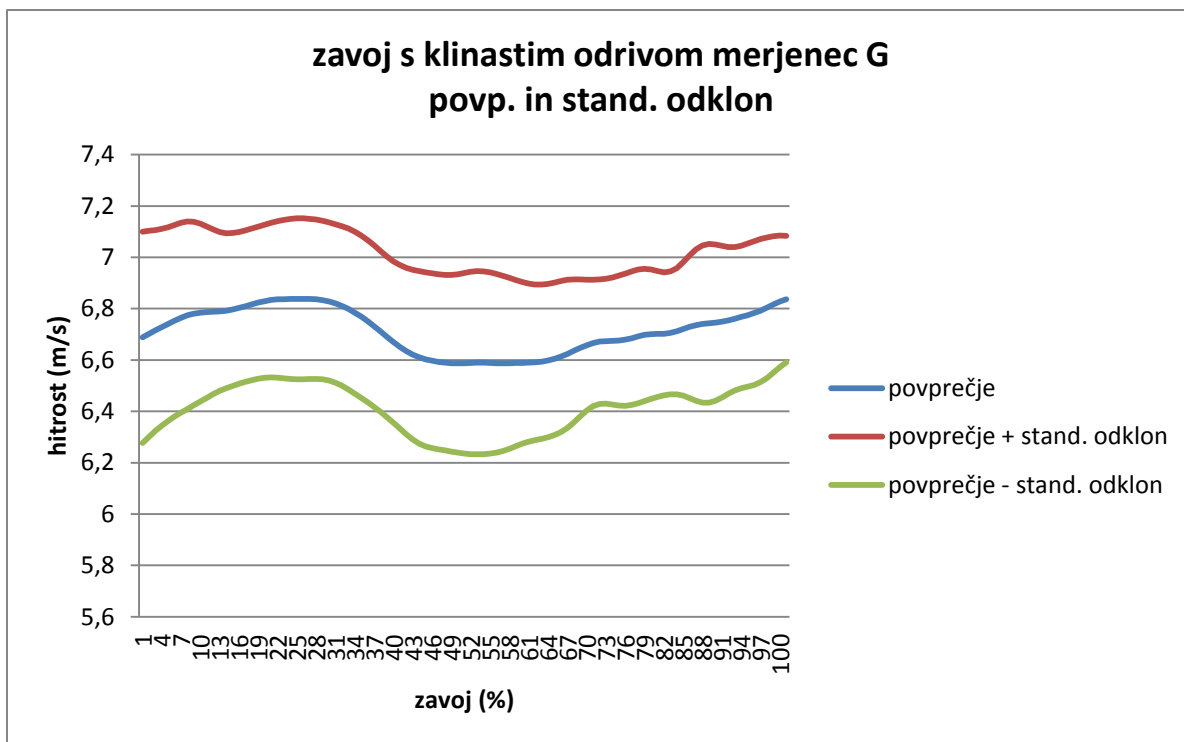


Diagram 91: Povprečje hitrosti pri storitvi zavoj s klinastim odrivom – merjenec G

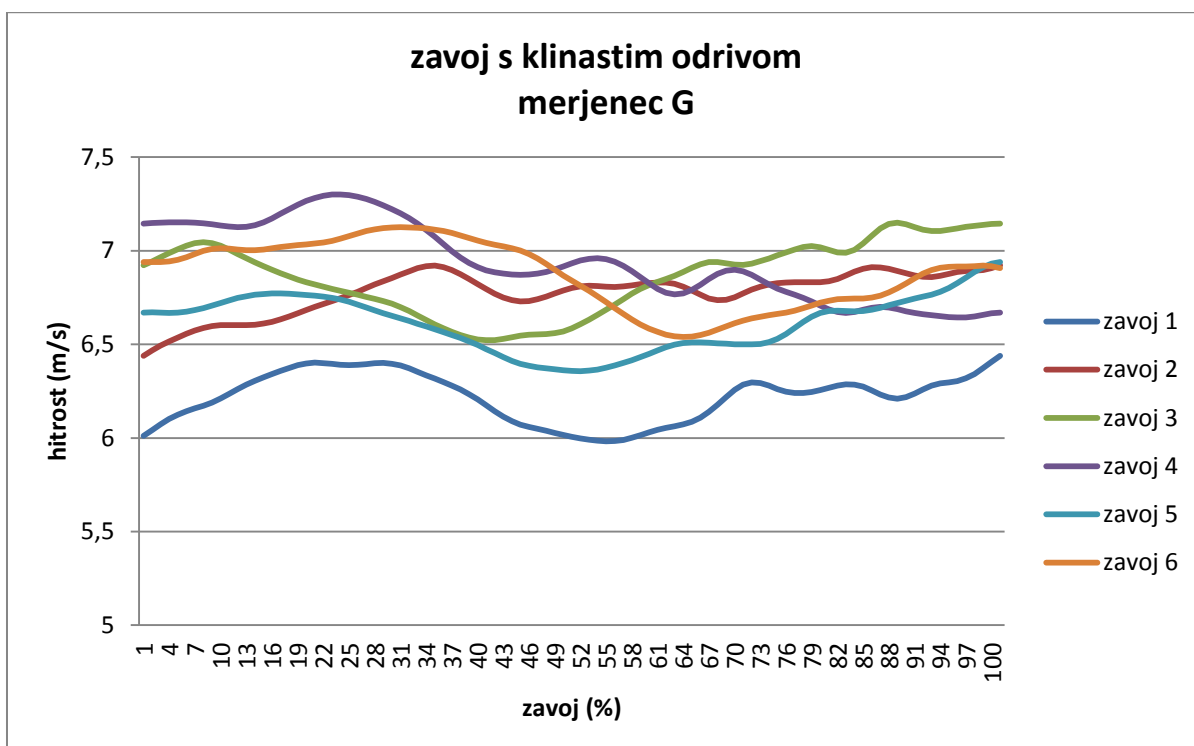


Diagram 92: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi zavoj s klinastim odrivom – merjenec G

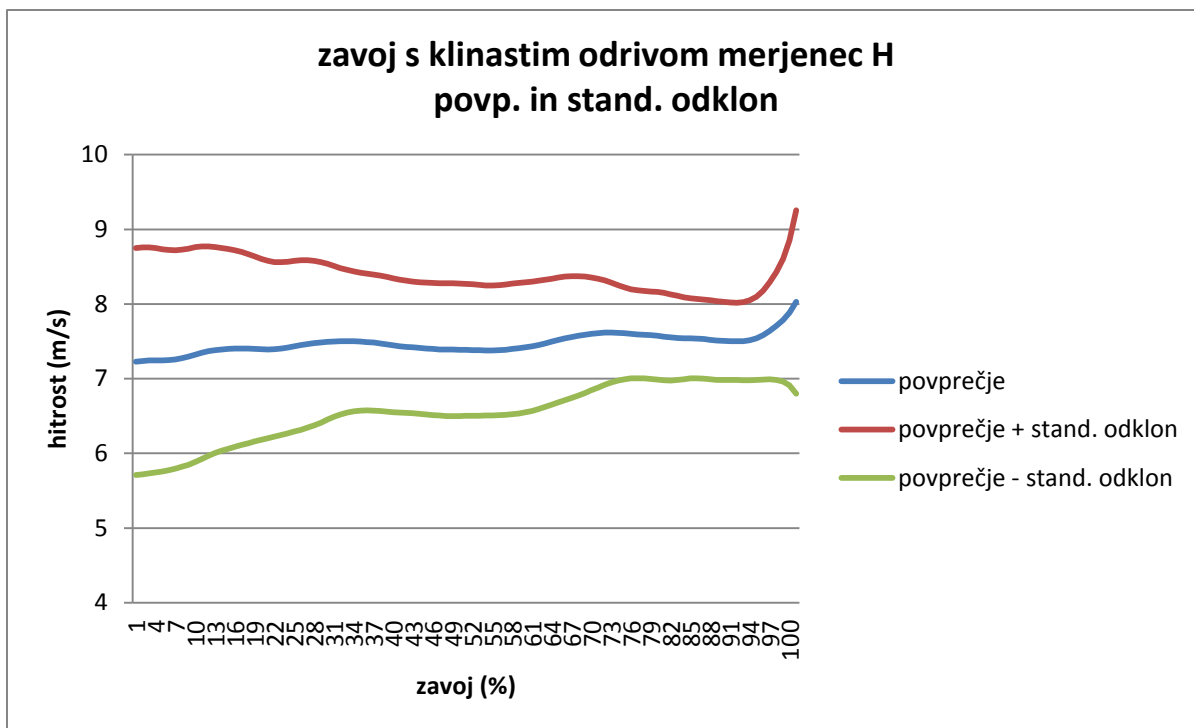


Diagram 93: Povprečje hitrosti pri storitvi zavoj s klinastim odrivom – merjenec H

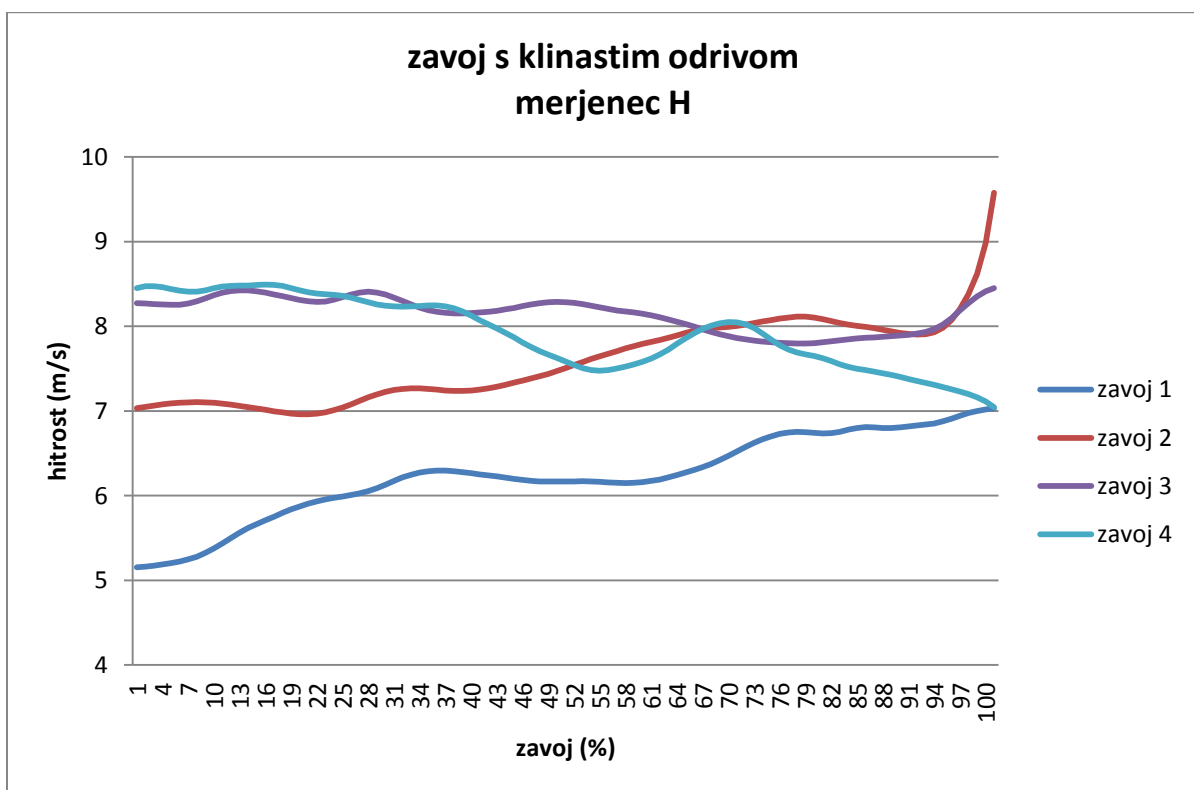


Diagram 94: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi zavoj s klinastim odrivom – merjenec H

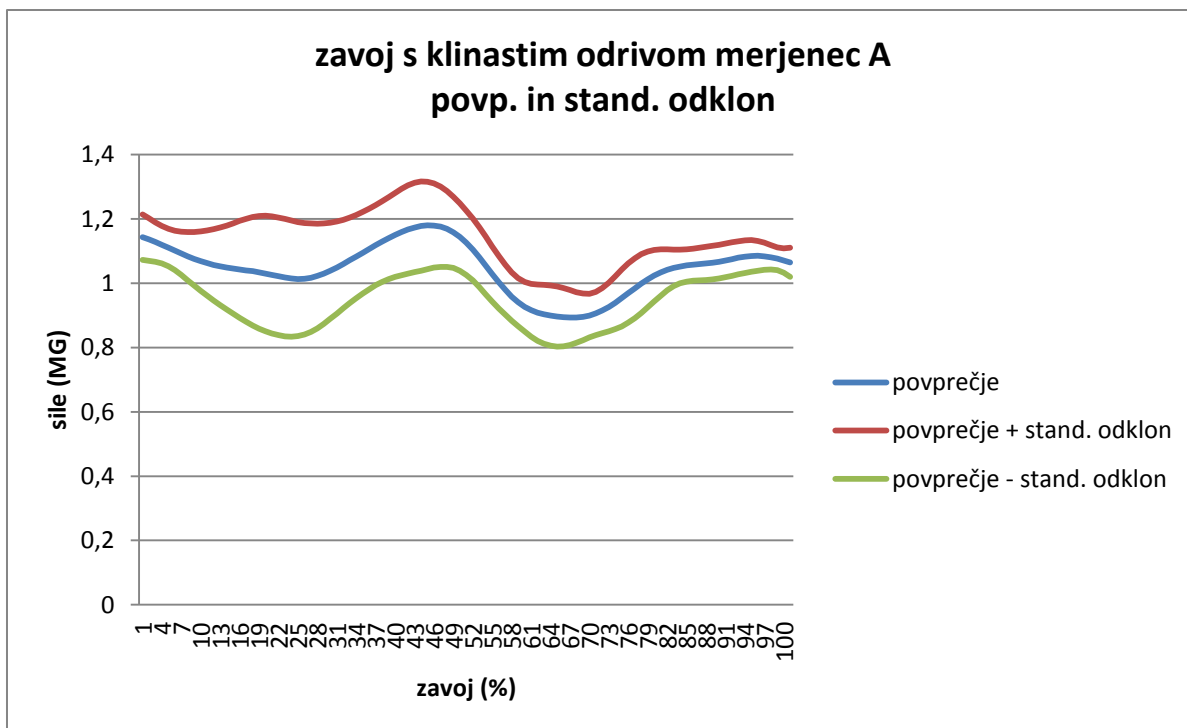


Diagram 95: Povprečje sil pri storitvi zavoj s klinastim odzivom - merjenec A

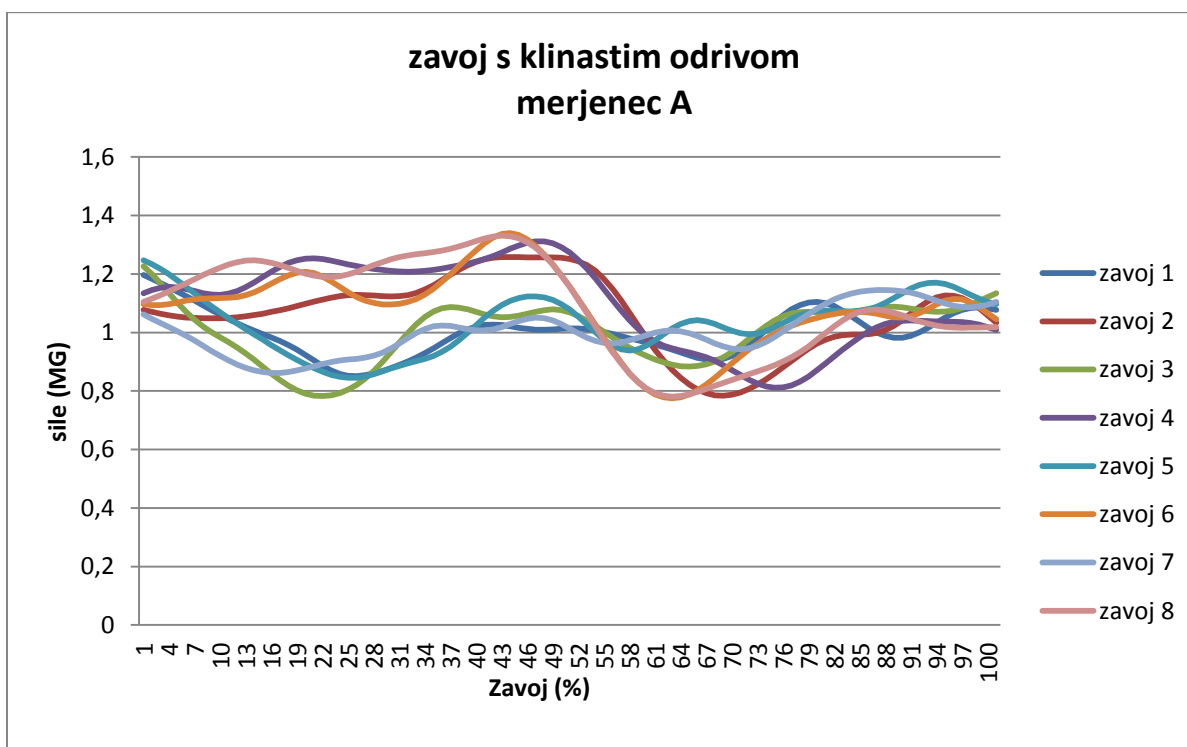


Diagram 96: Sile posameznih zavojev pri storitvi zavoj s klinastim odzivom – merjenec A

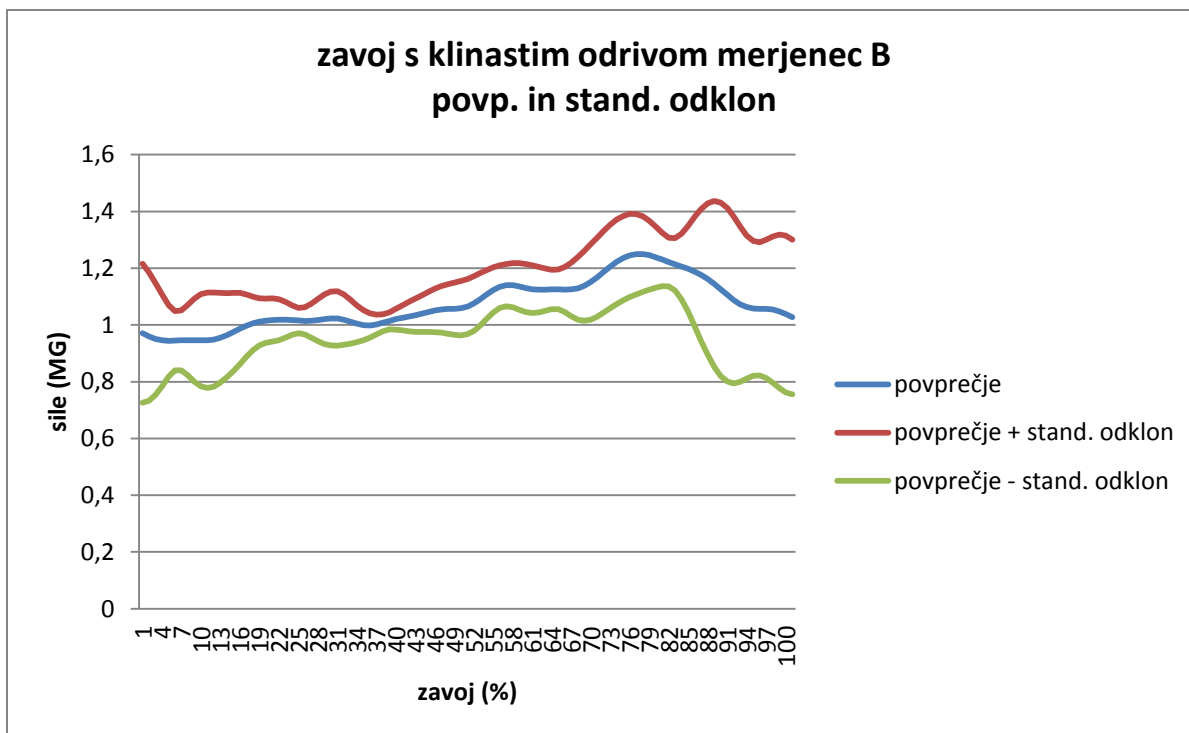


Diagram 97: Povprečje sil pri storitvi zavoj s klinastim odzivom - merjenec B

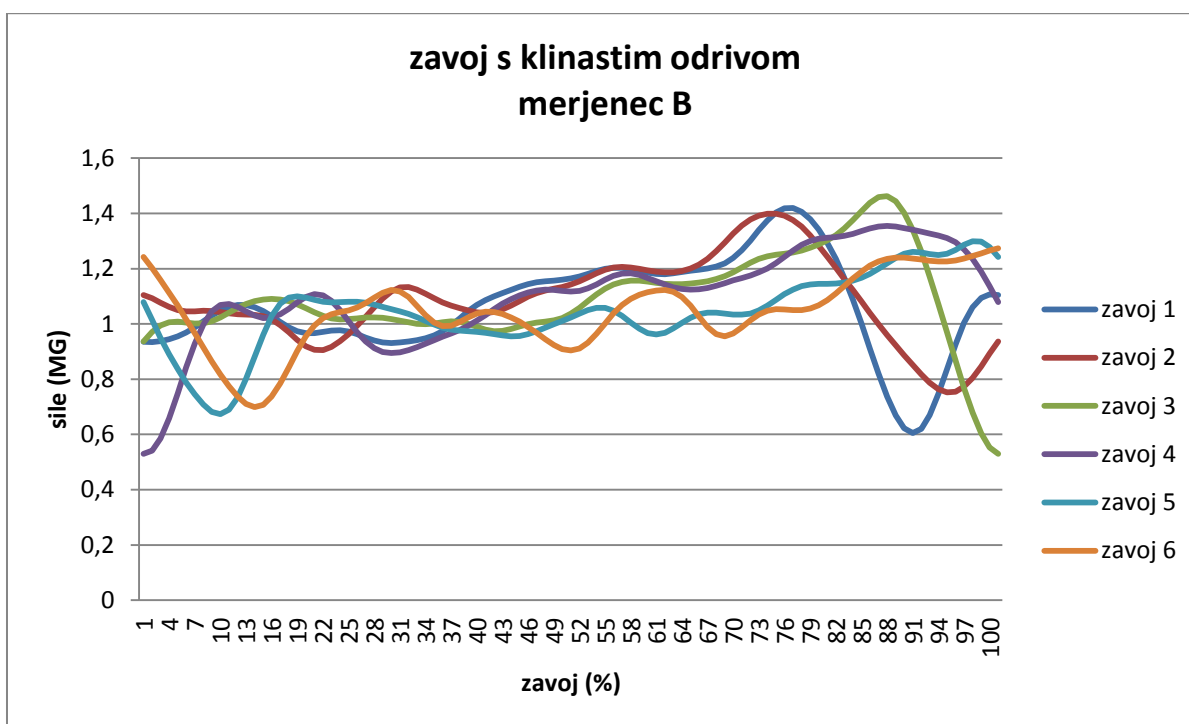


Diagram 98: Sile posameznih zavojev pri storitvi zavoj s klinastim odzivom – merjenec B

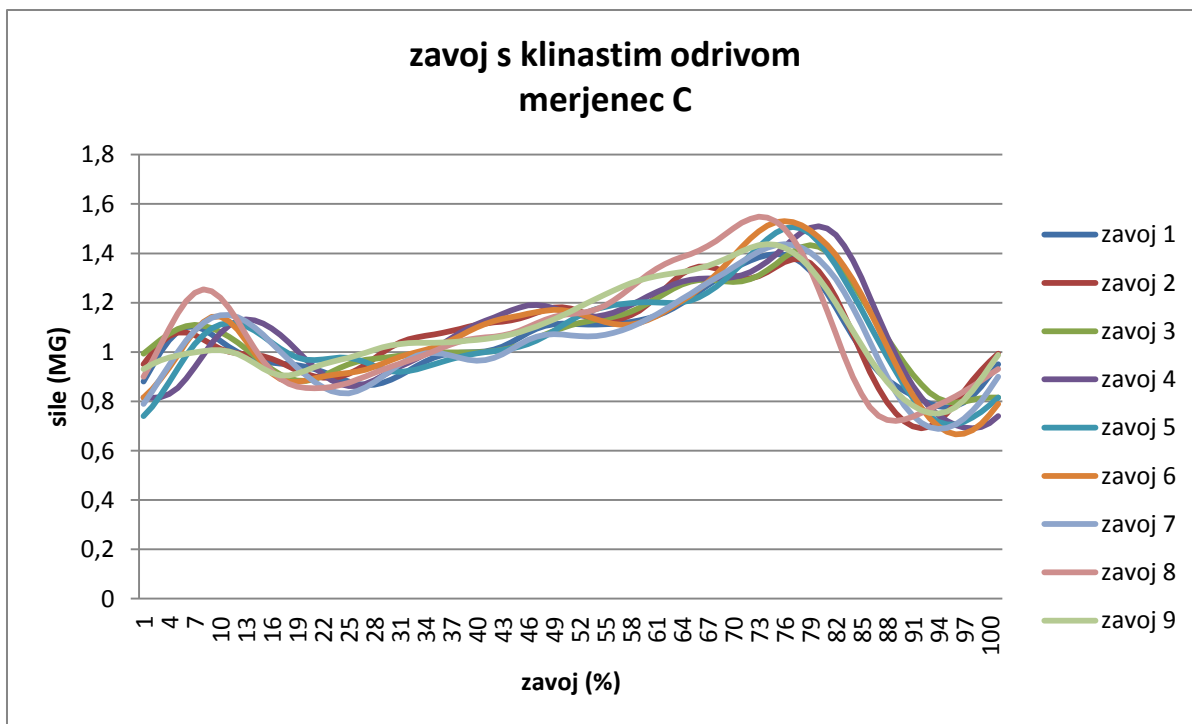


Diagram 99: Sile posameznih zavojev pri storitvi zavoj s klinastim odzivom – merjenec C

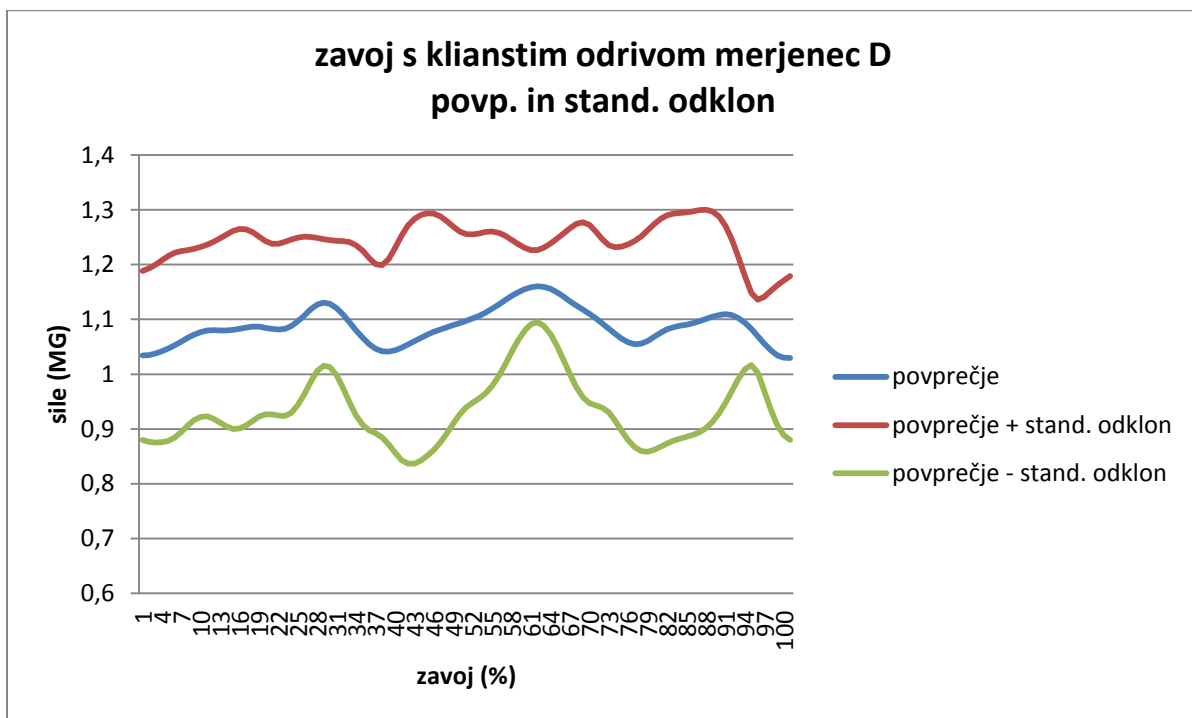


Diagram 100: Povprečje sil pri storitvi zavoj s klinastim odzivom - merjenec D

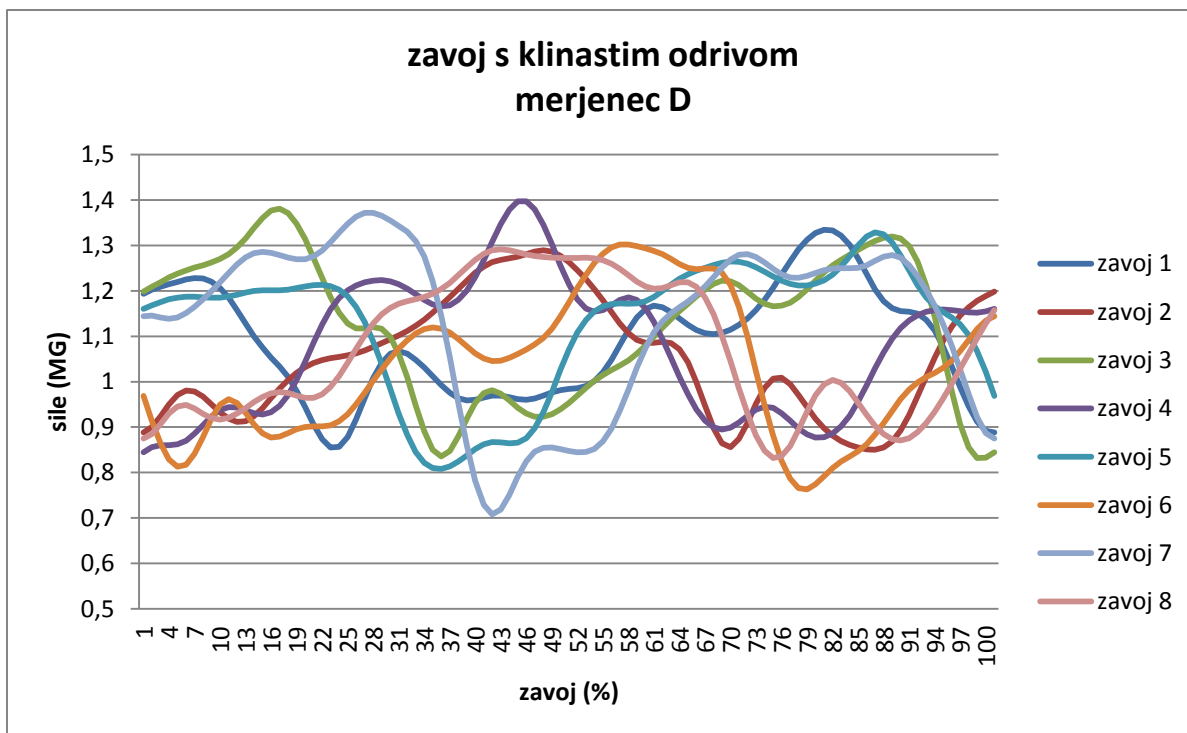


Diagram 101: Sile posameznih zavojev pri storitvi zavoj s klinastim odzivom – merjenec D

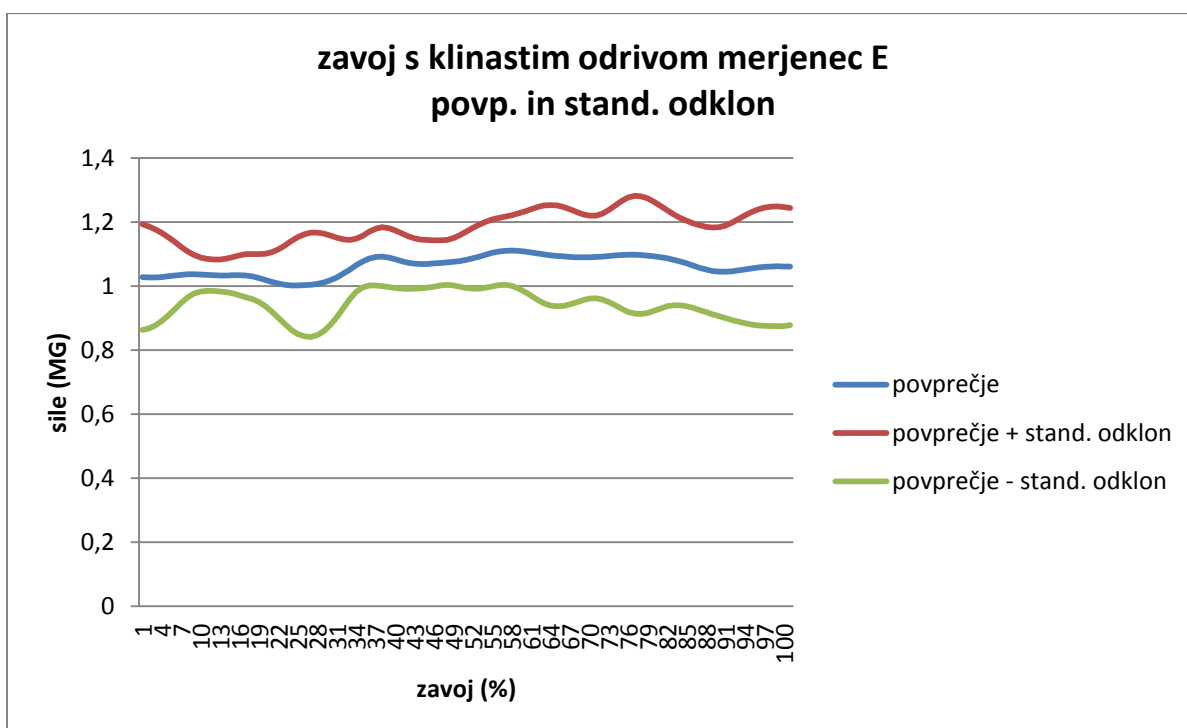


Diagram 102: Povprečje sil pri storitvi zavoj s klinastim odzivom - merjenec E

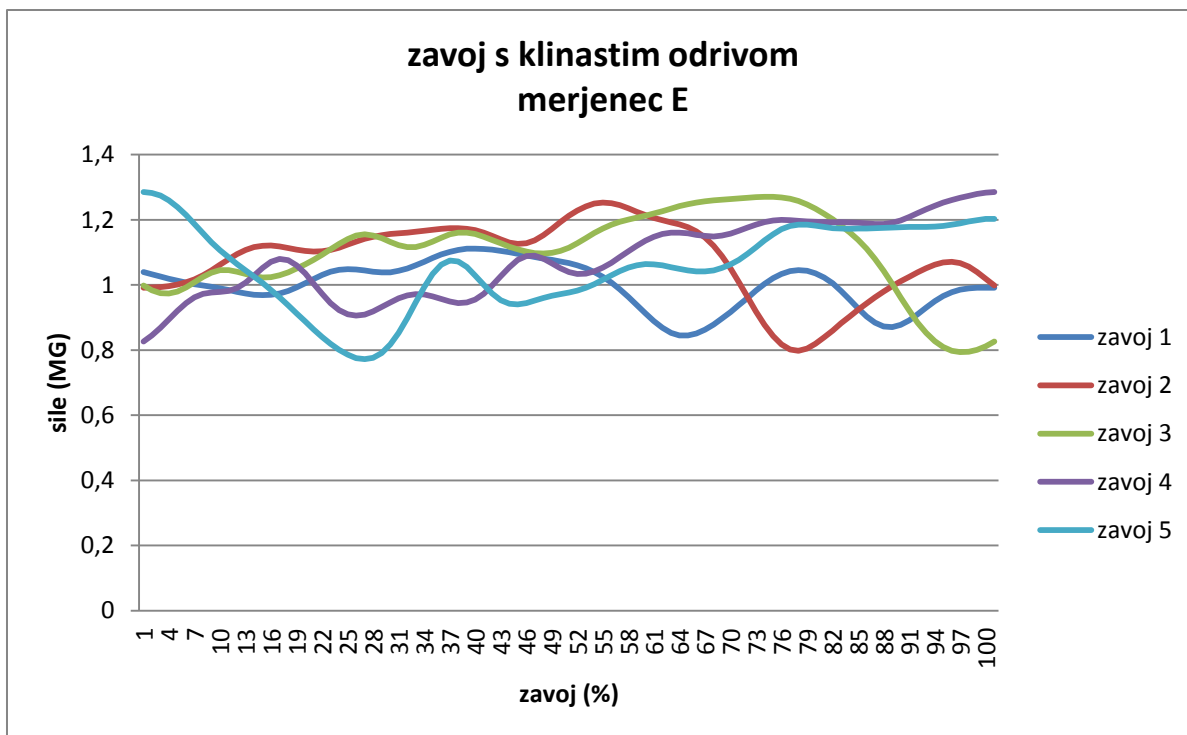


Diagram 103: Sile posameznih zavojev pri storitvi zavoj s klinastim odzivom – merjenec E

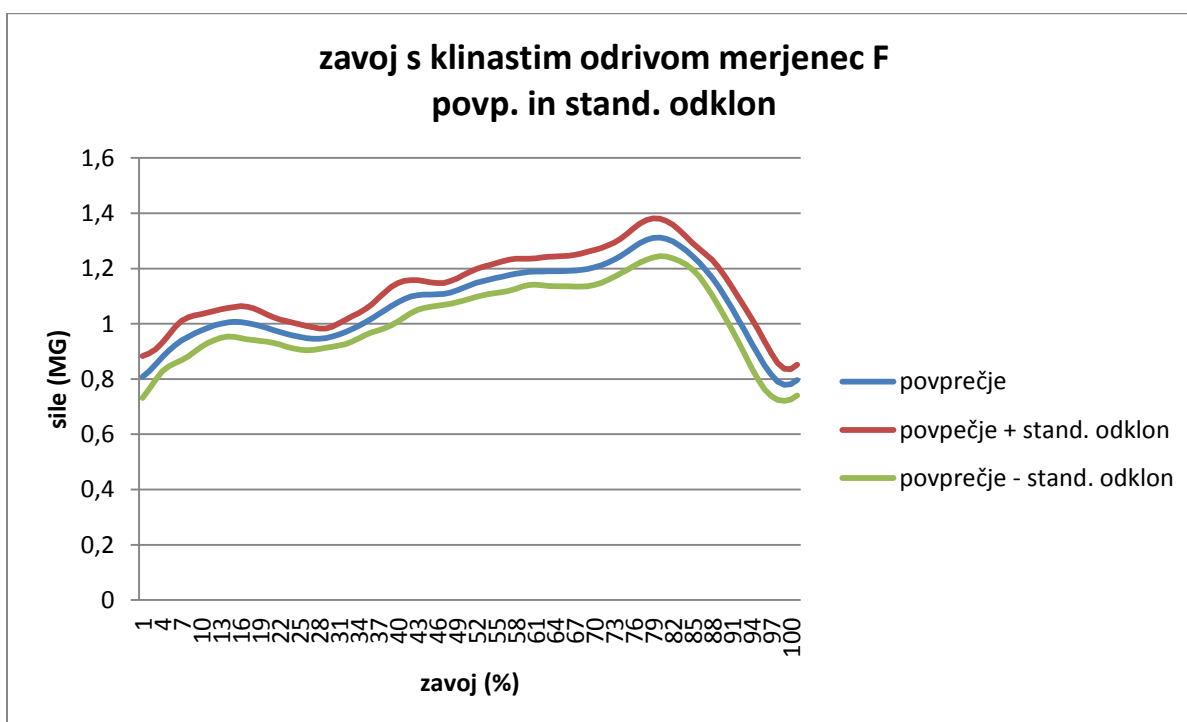


Diagram 104: Povprečje sil pri storitvi zavoj s klinastim odzivom - merjenec F

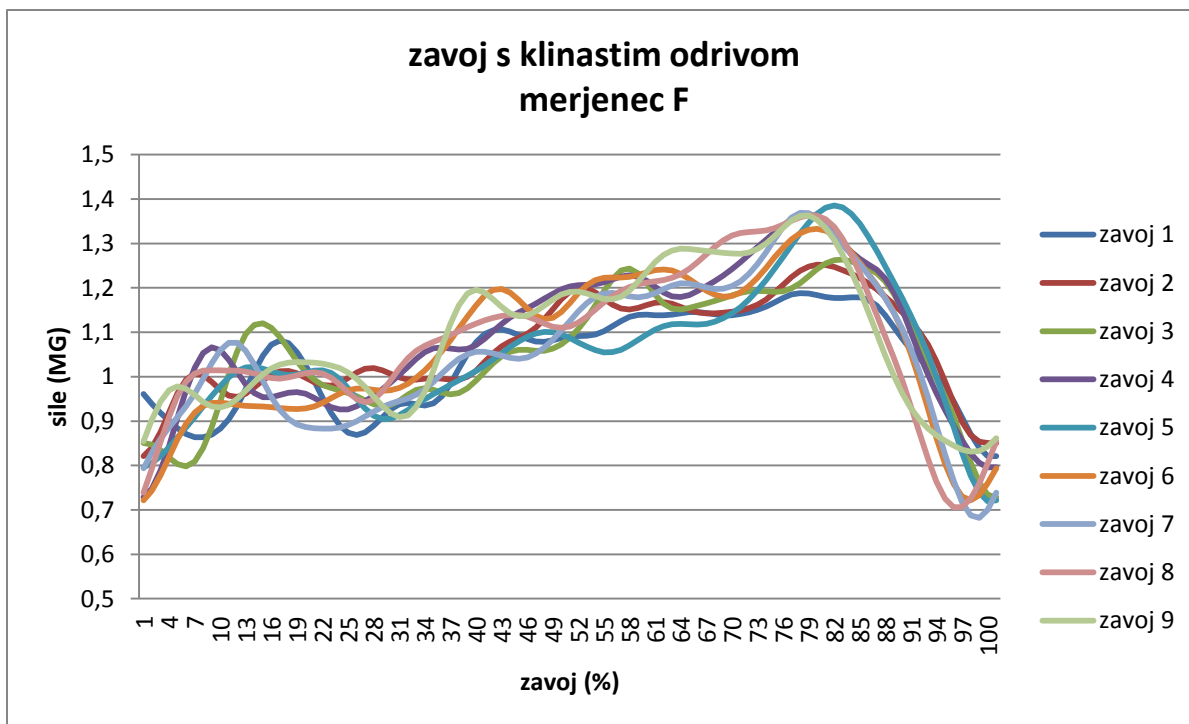


Diagram 105: Sile posameznih zavojev pri storitvi zavoj s klinastim odzivom – merjenec F

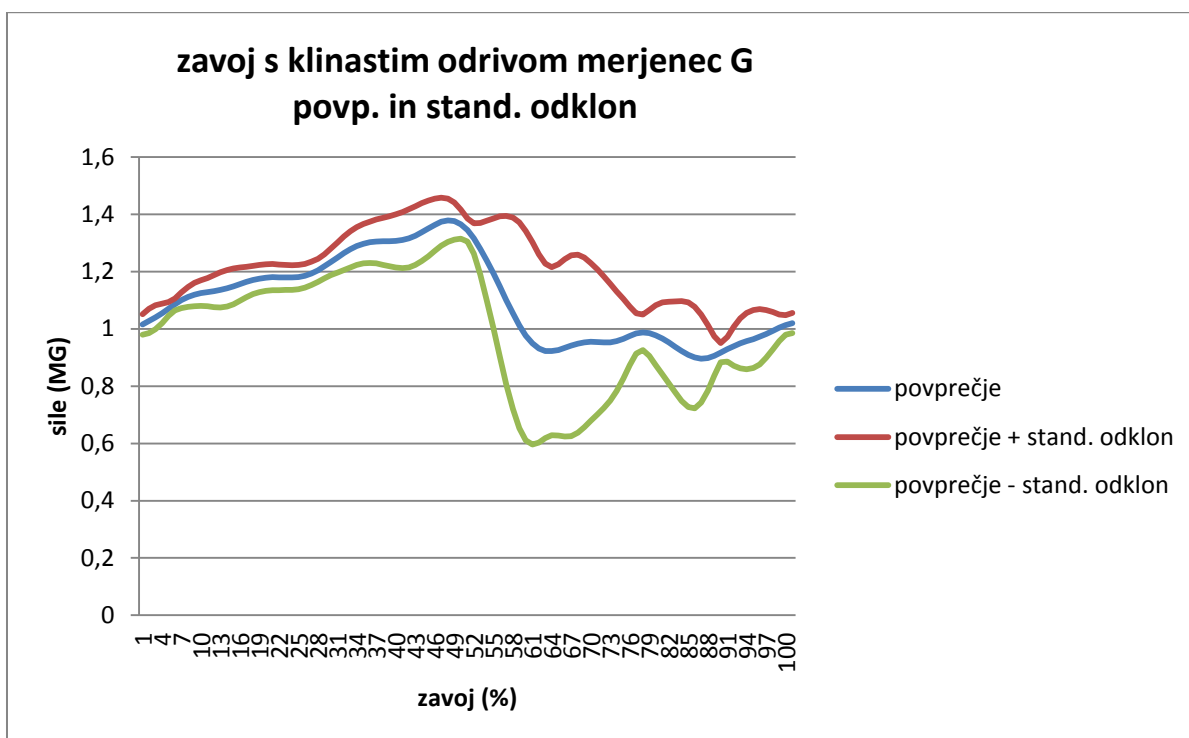


Diagram 106: Povprečje sil pri storitvi zavoj s klinastim odzivom - merjenec G

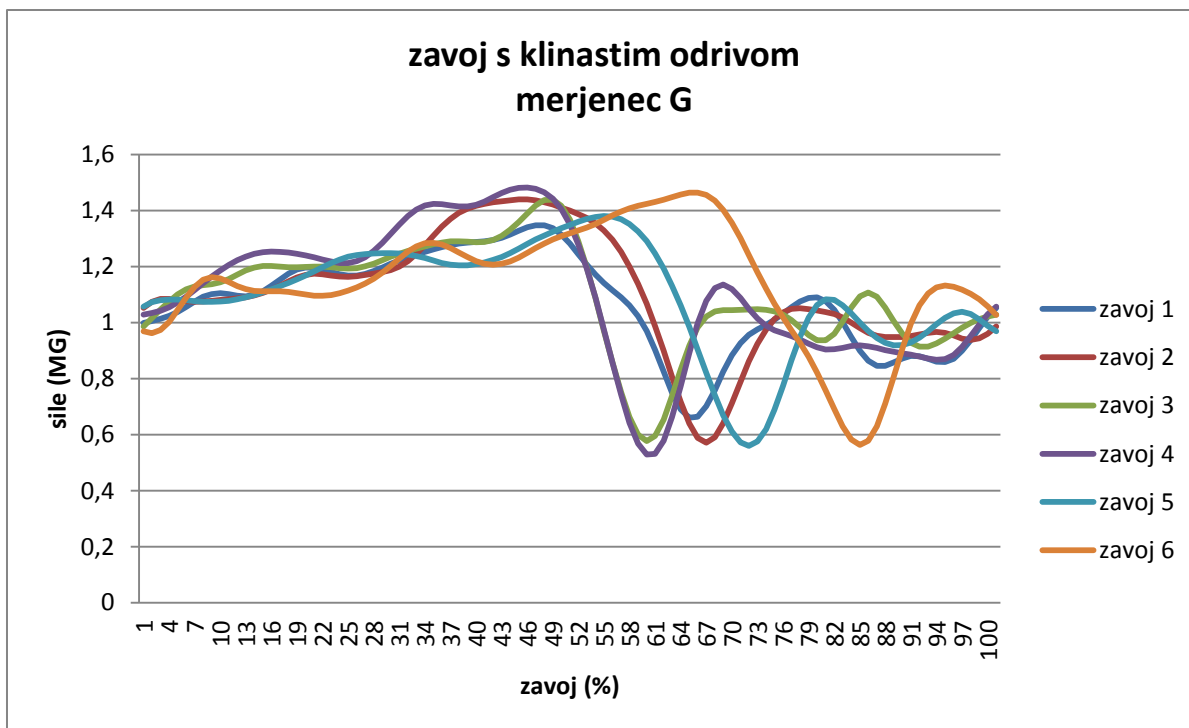


Diagram 107: Sile posameznih zavojev pri storitvi zavoj s klinastim odrivom – merjenec G

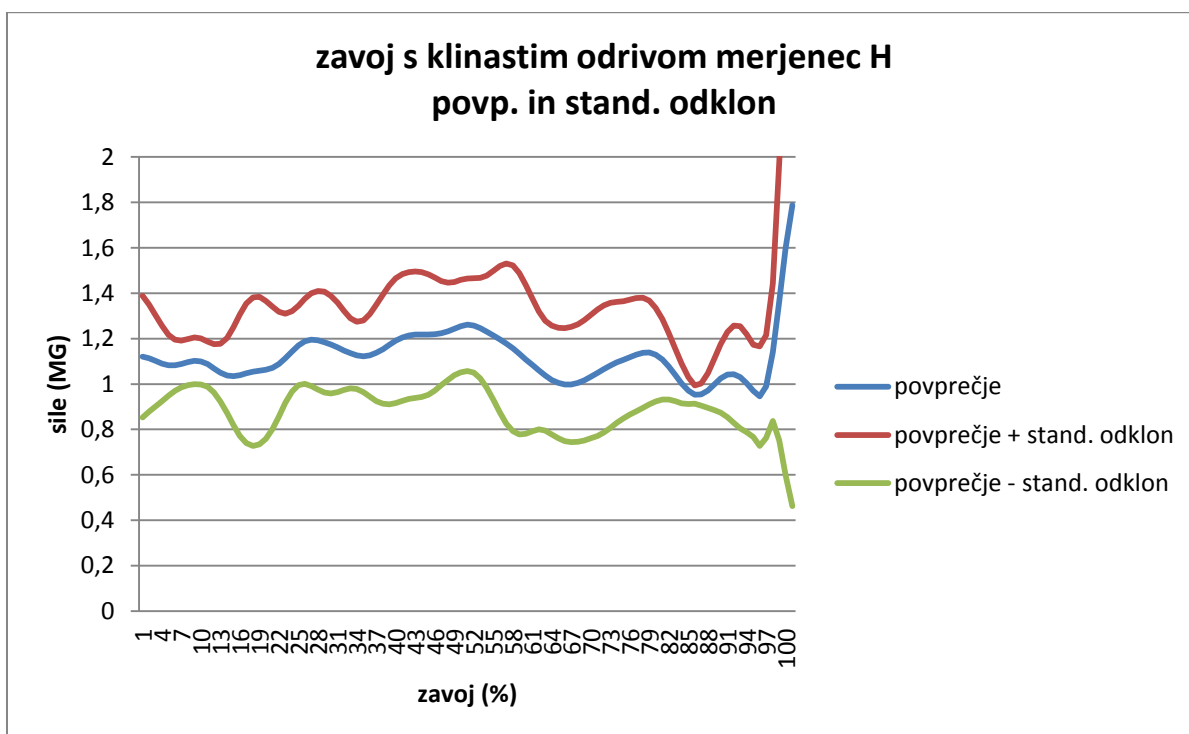


Diagram 108: Povprečje sil pri storitvi zavoj s klinastim odrivom - merjenec H

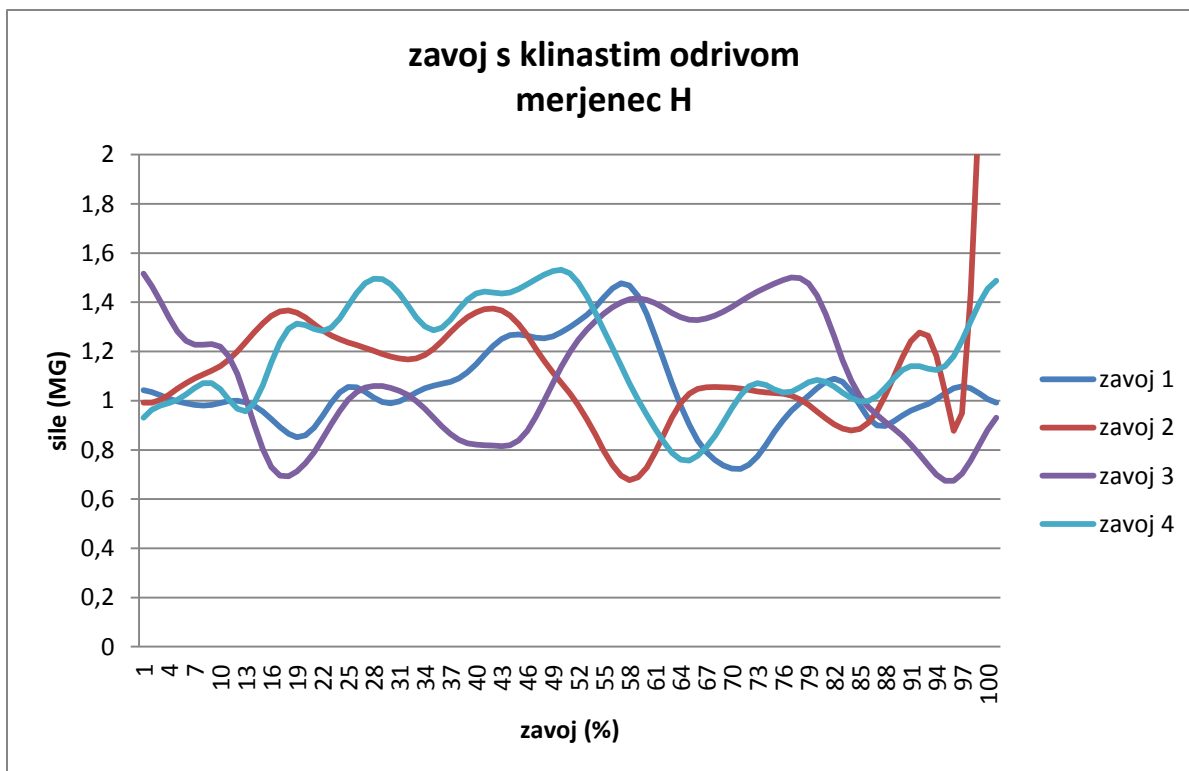


Diagram 109: Sile posameznih zavojev pri storitvi zavoje s klinastim odzivom – merjenec H

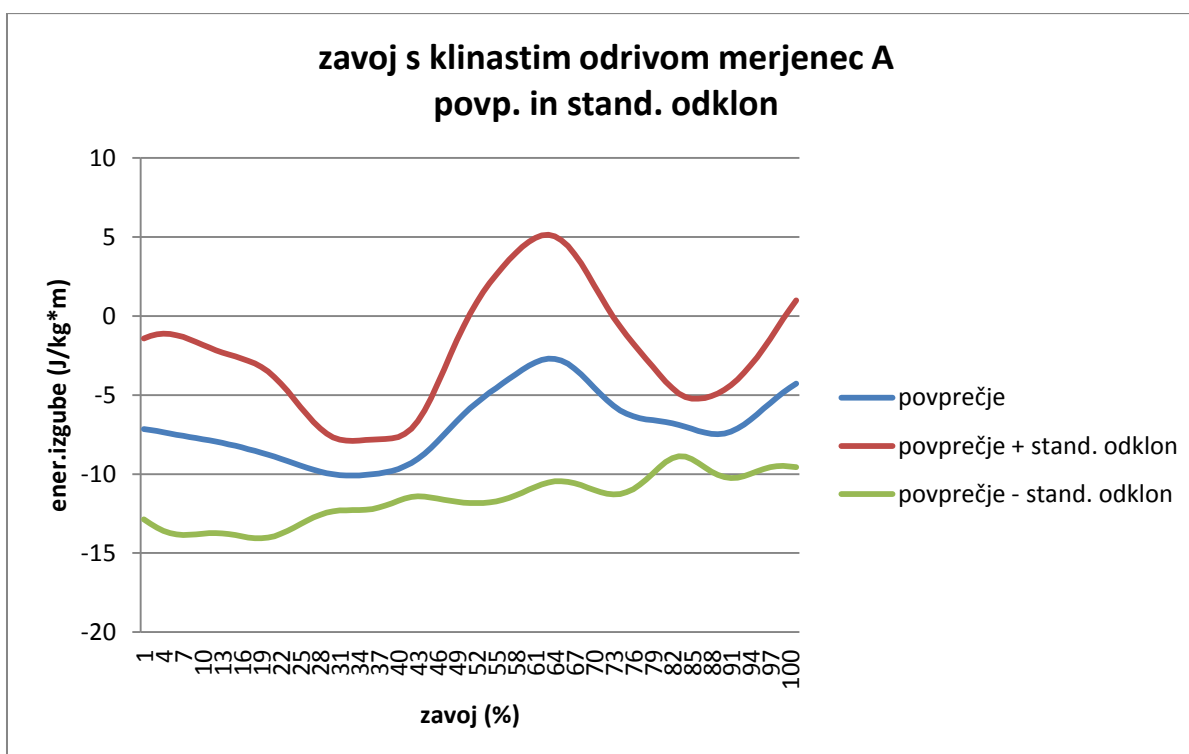


Diagram 110: Povprečje energijskih izgub pri storitvi zavoje s klinastim odzivom – merjenec A

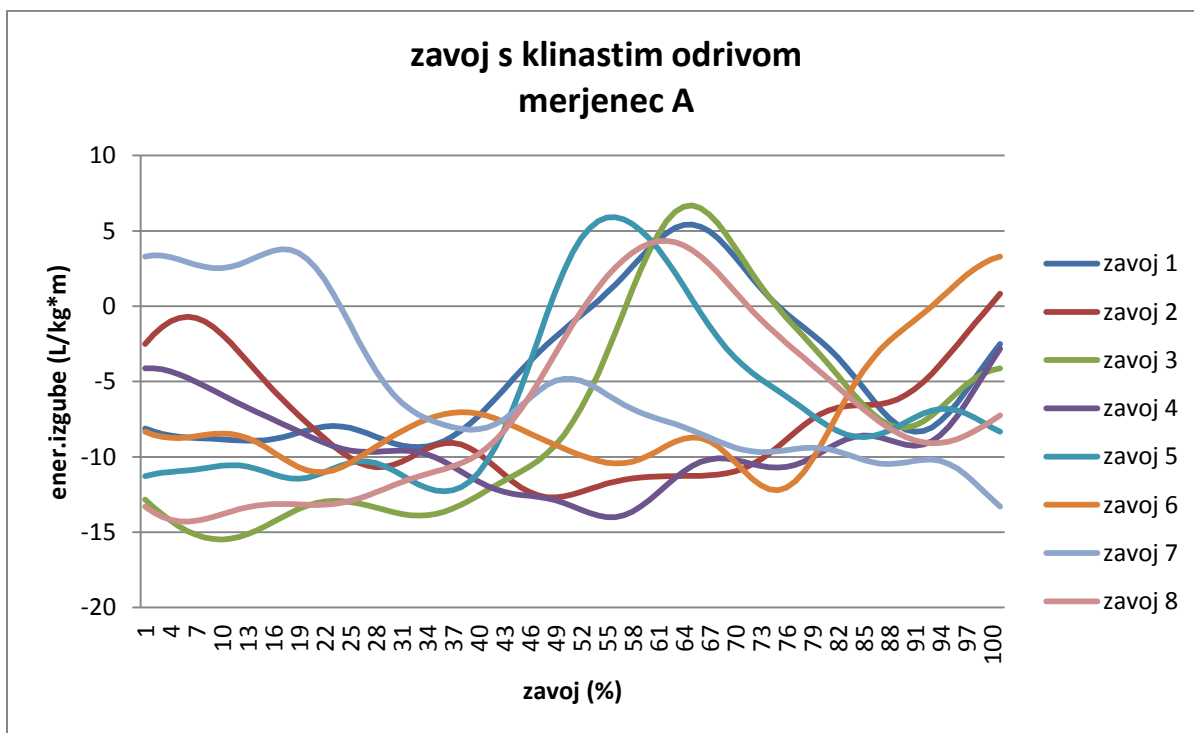


Diagram 111: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi zavoj s klinastim odzivom – merjenec A

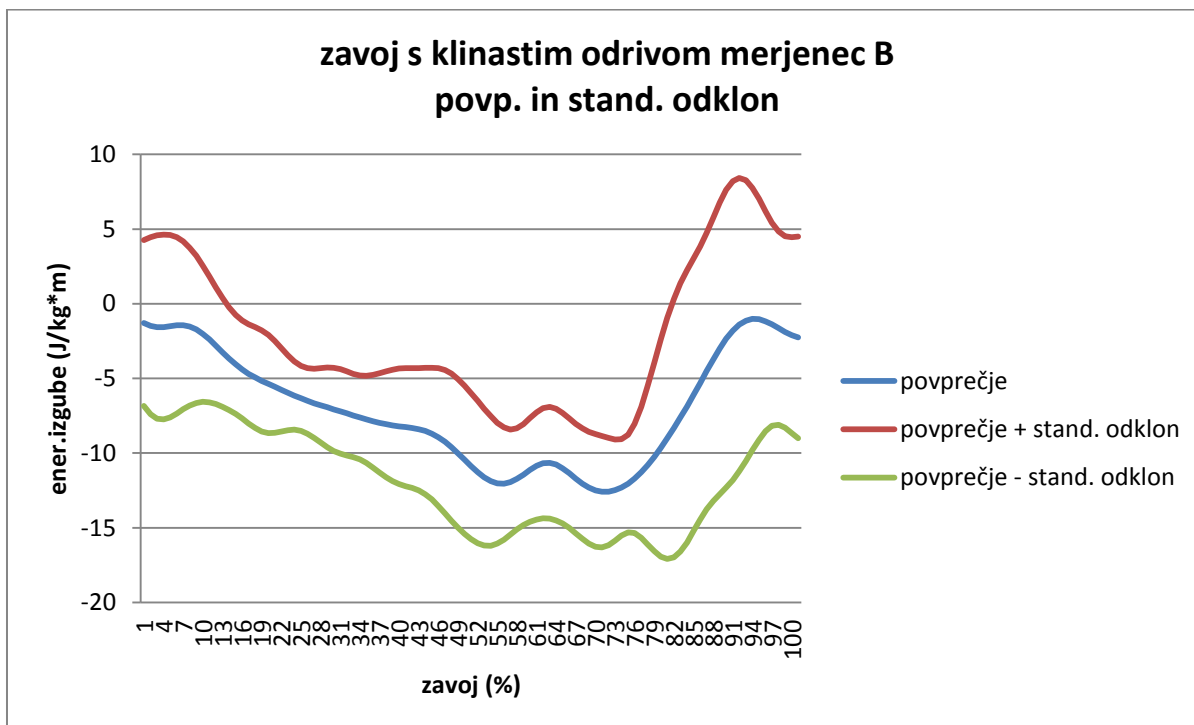


Diagram 112: Povprečje energijskih izgub pri storitvi zavoj s klinastim odzivom – merjenec B

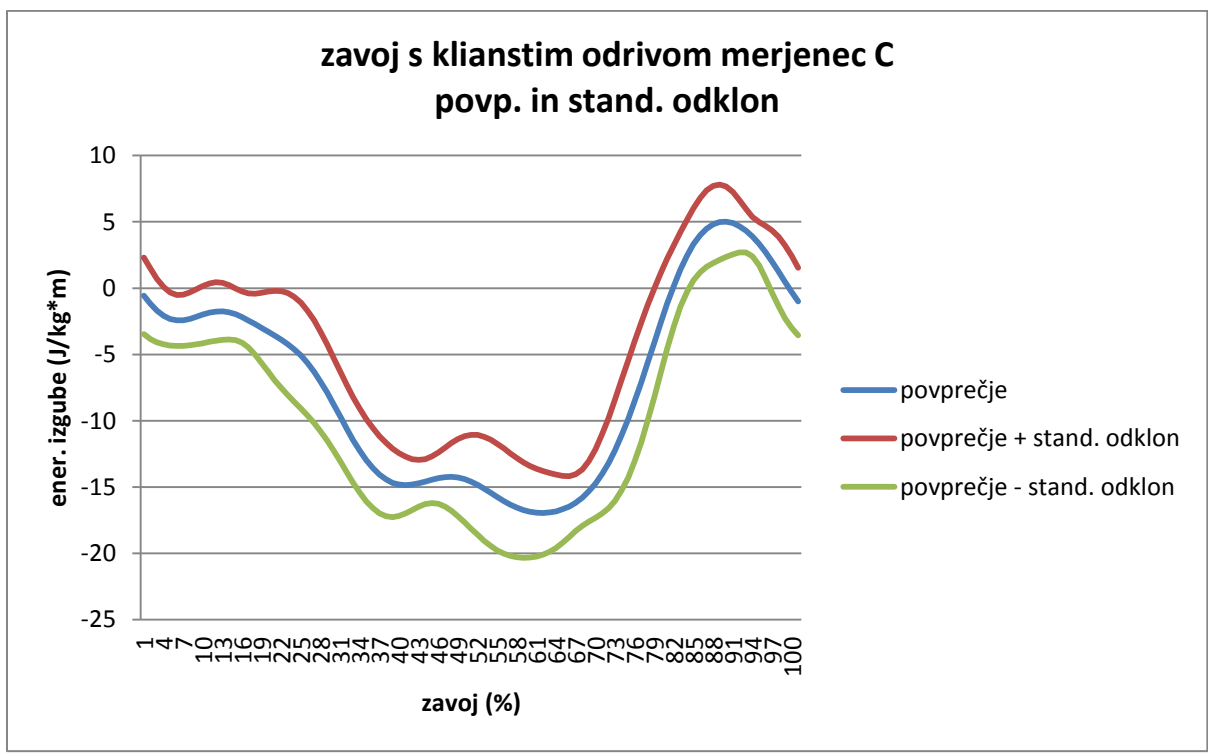


Diagram 113: Povprečje energijskih izgub pri storitvi zavoj s klinastim odrivom – merjenec C

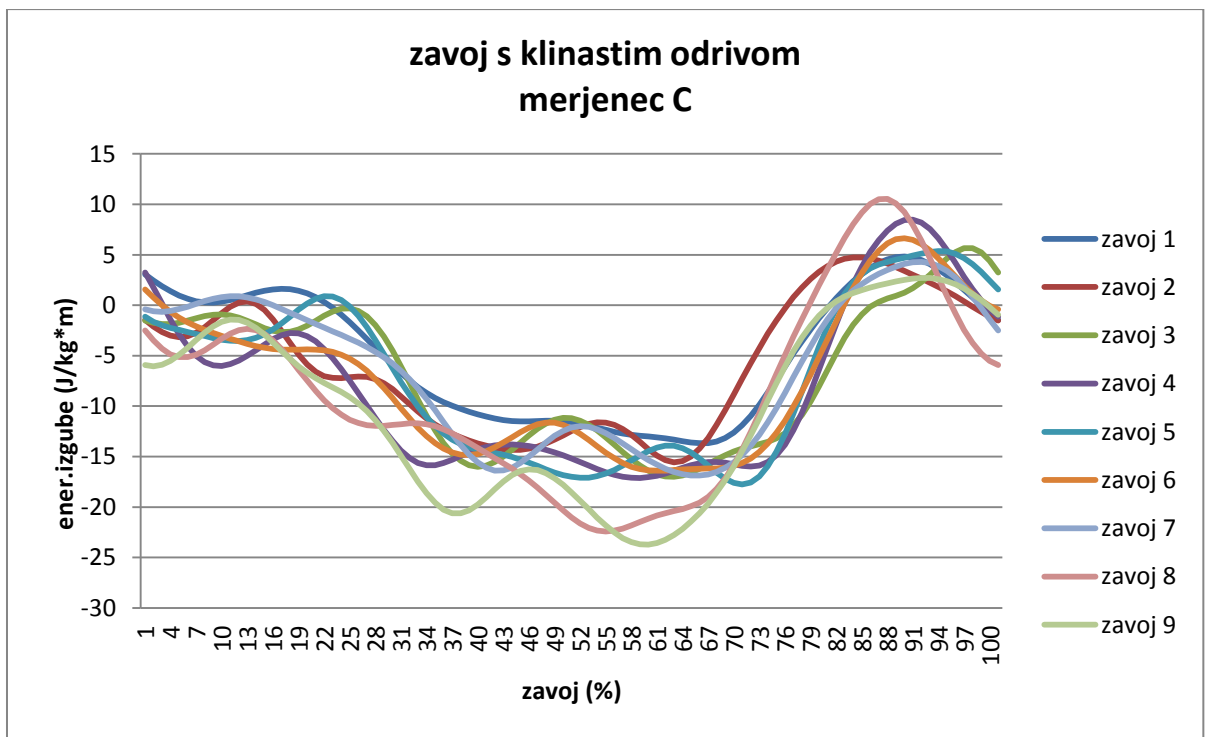


Diagram 114: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi zavoj s klinastim odrivom – merjenec C

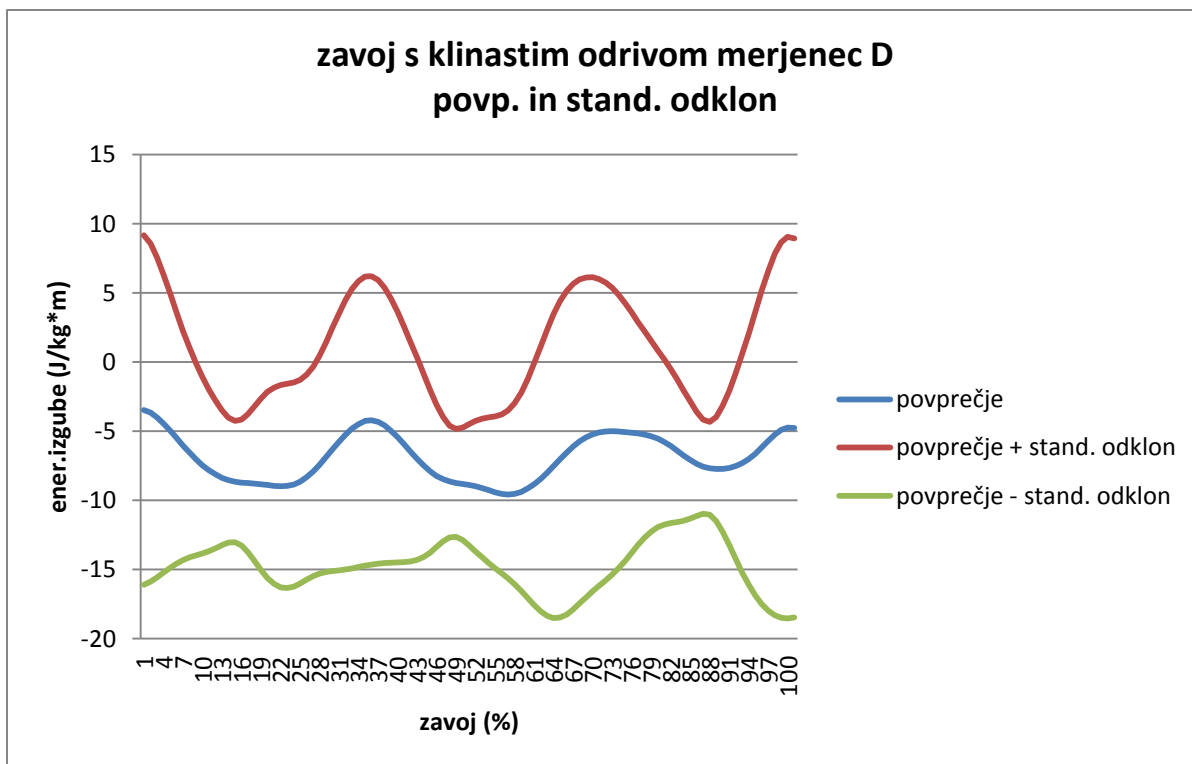


Diagram 115: Povprečje energijskih izgub pri storitvi zavoj s klinastim odzivom – merjenec D

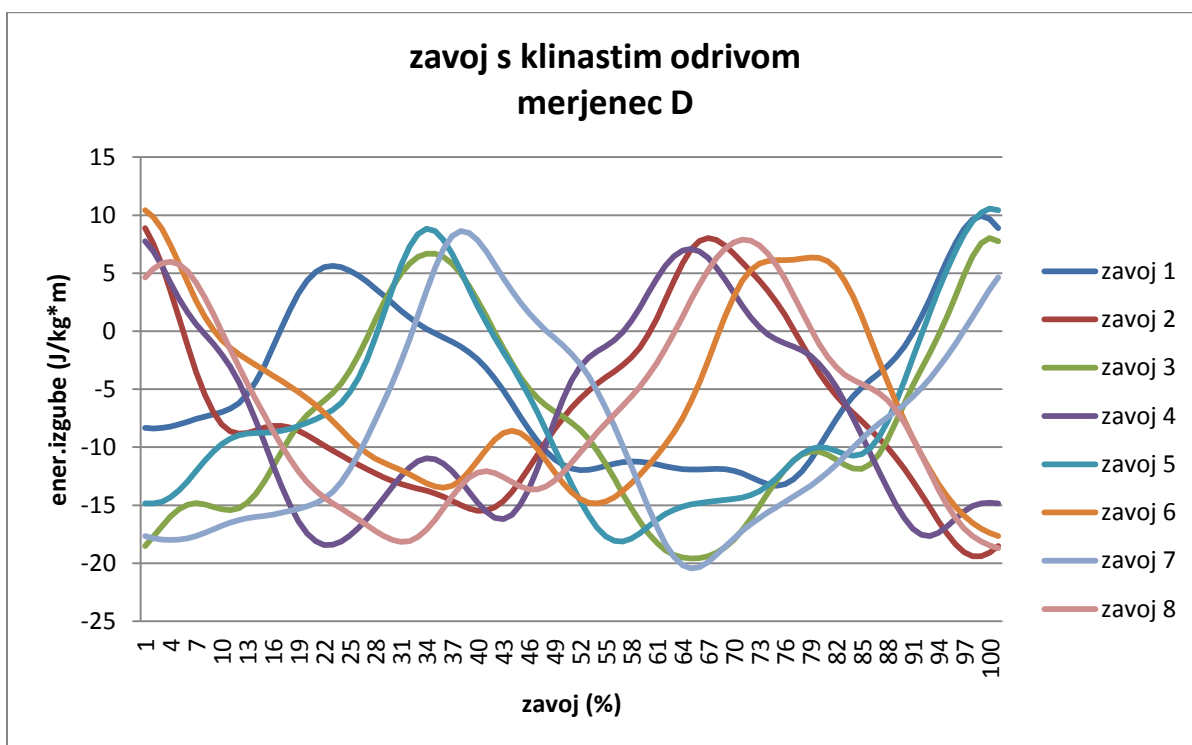


Diagram 116: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi zavoj s klinastim odzivom – merjenec D

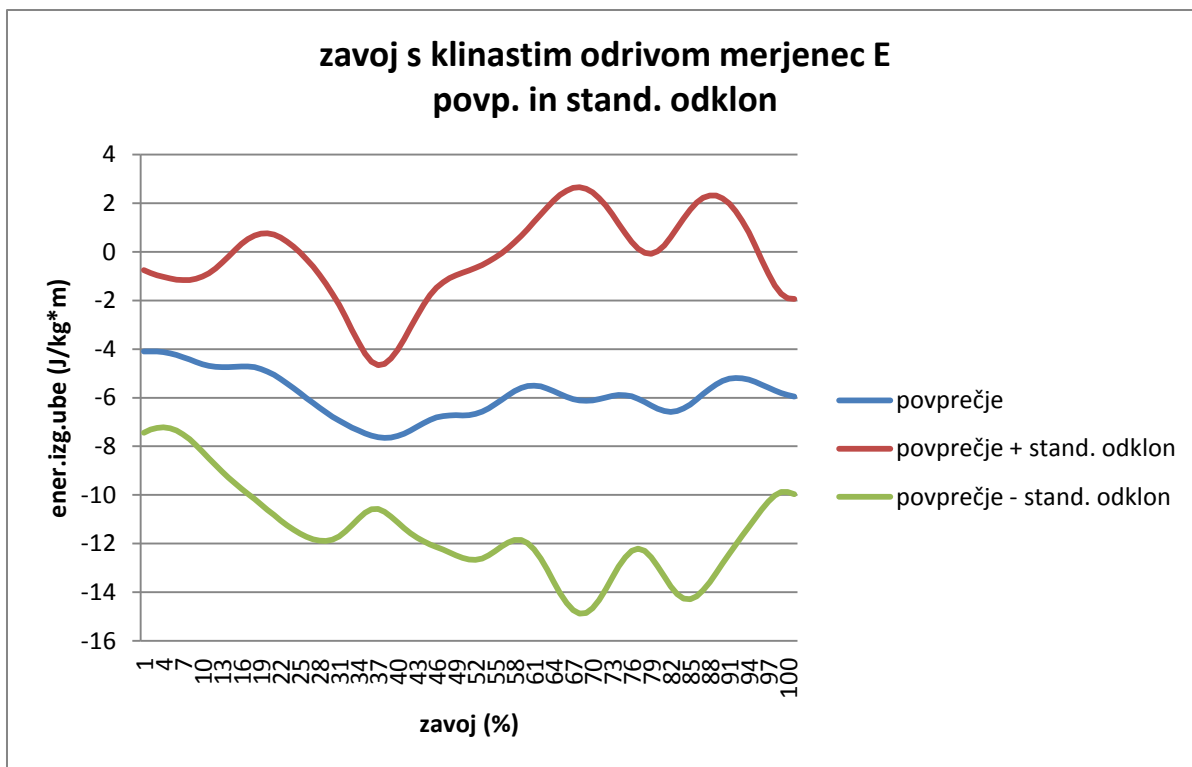


Diagram 117: Povprečje energijskih izgub pri storitvi zavoj s klinastim odrivom – merjenec E

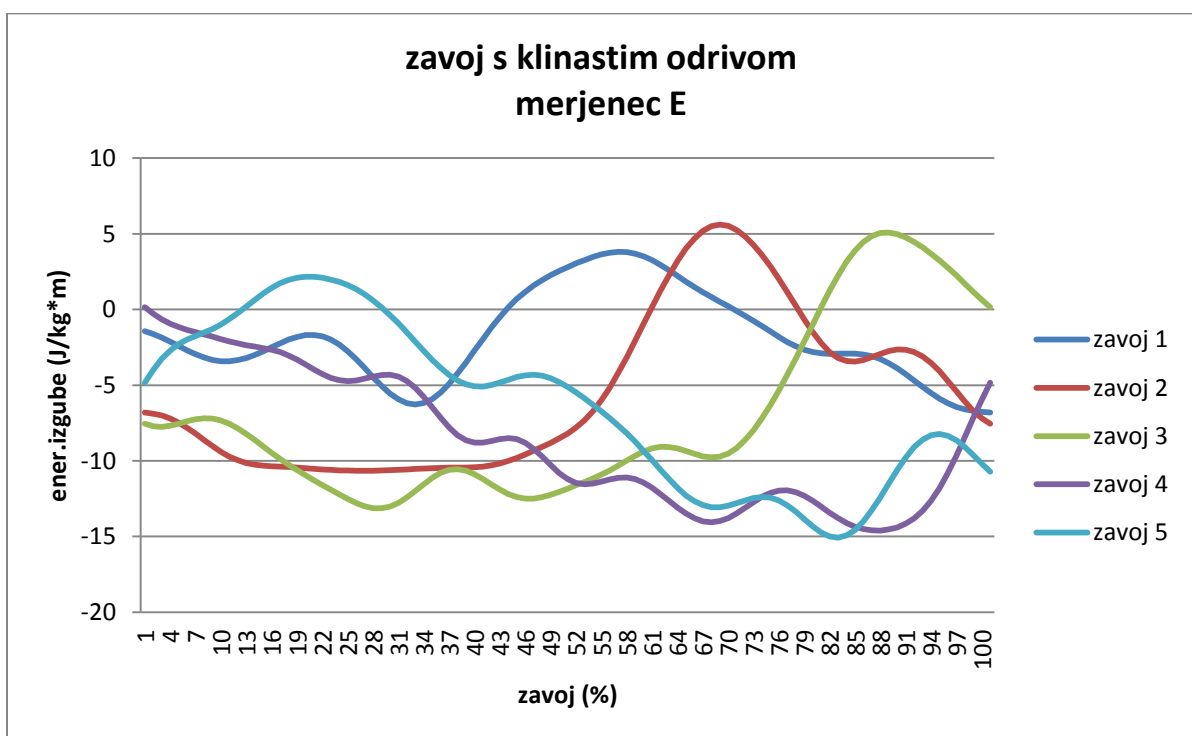


Diagram 118: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi zavoj s klinastim odrivom – merjenec E

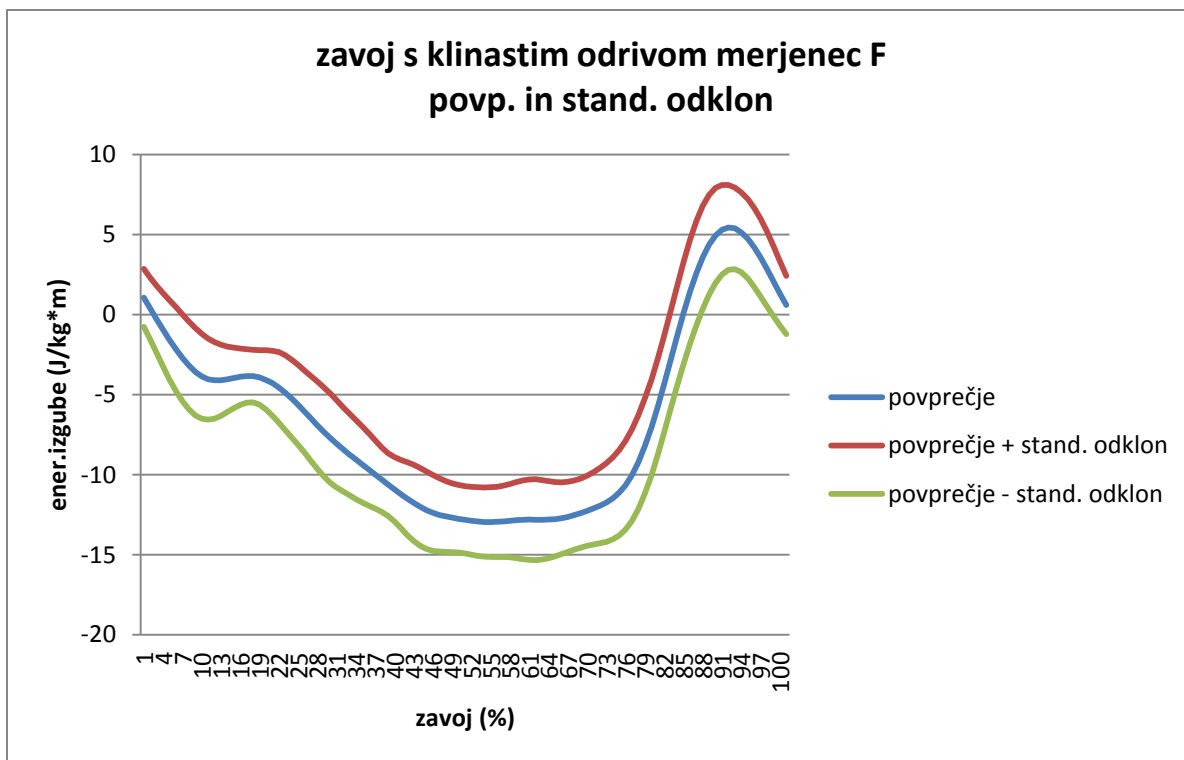


Diagram 119: Povprečje energijskih izgub pri storitvi zavoj s klinastim odzivom – merjenec F

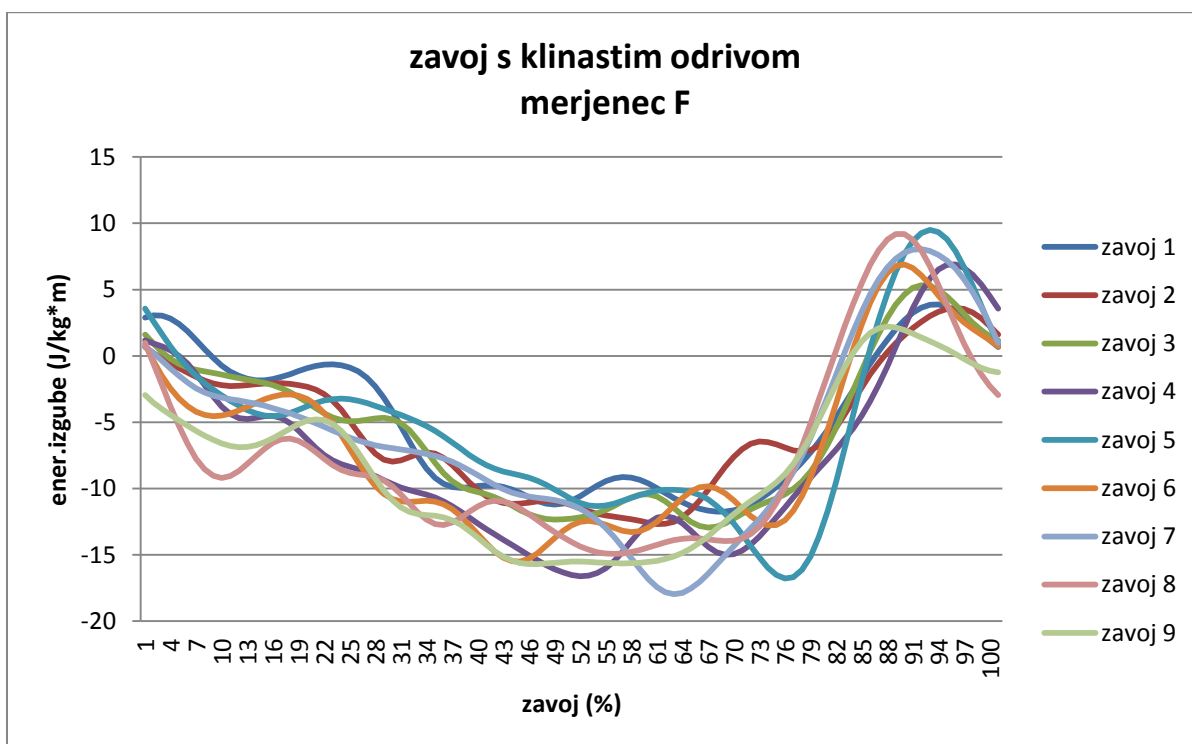


Diagram 120: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi zavoj s klinastim odzivom – merjenec F

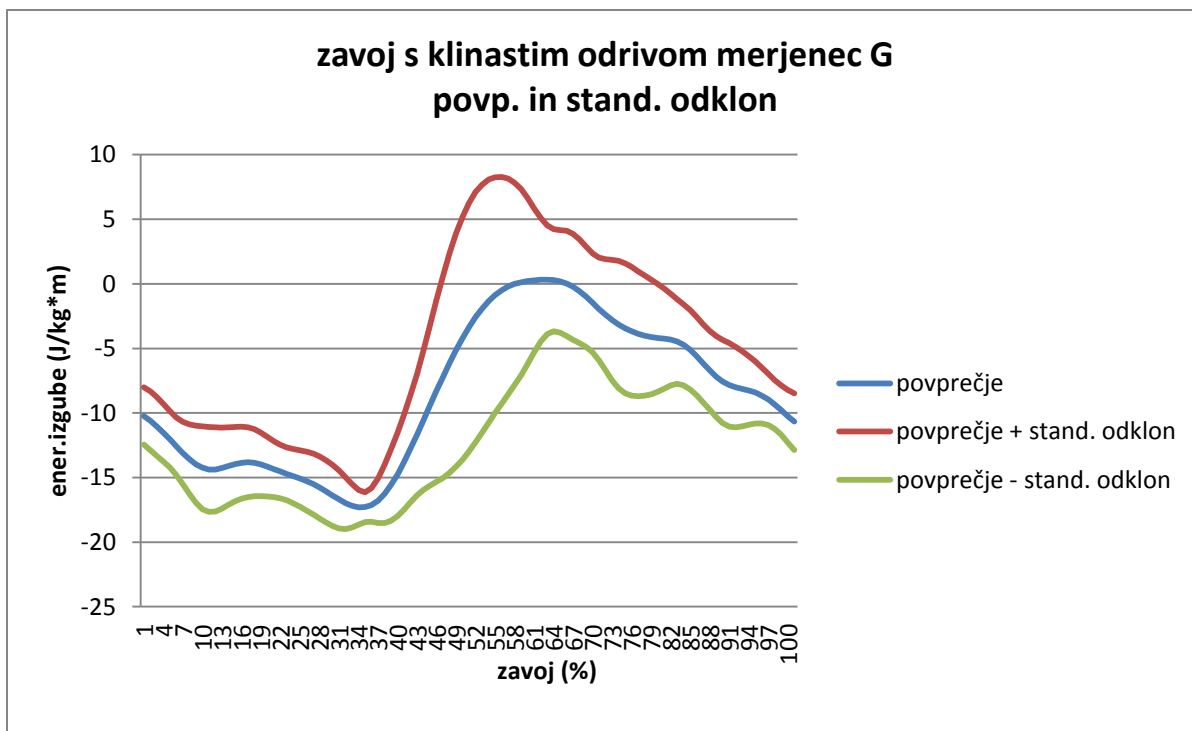


Diagram 121: Povprečje energijskih izgub pri storitvi zavoj s klinastim odzivom – merjenec G

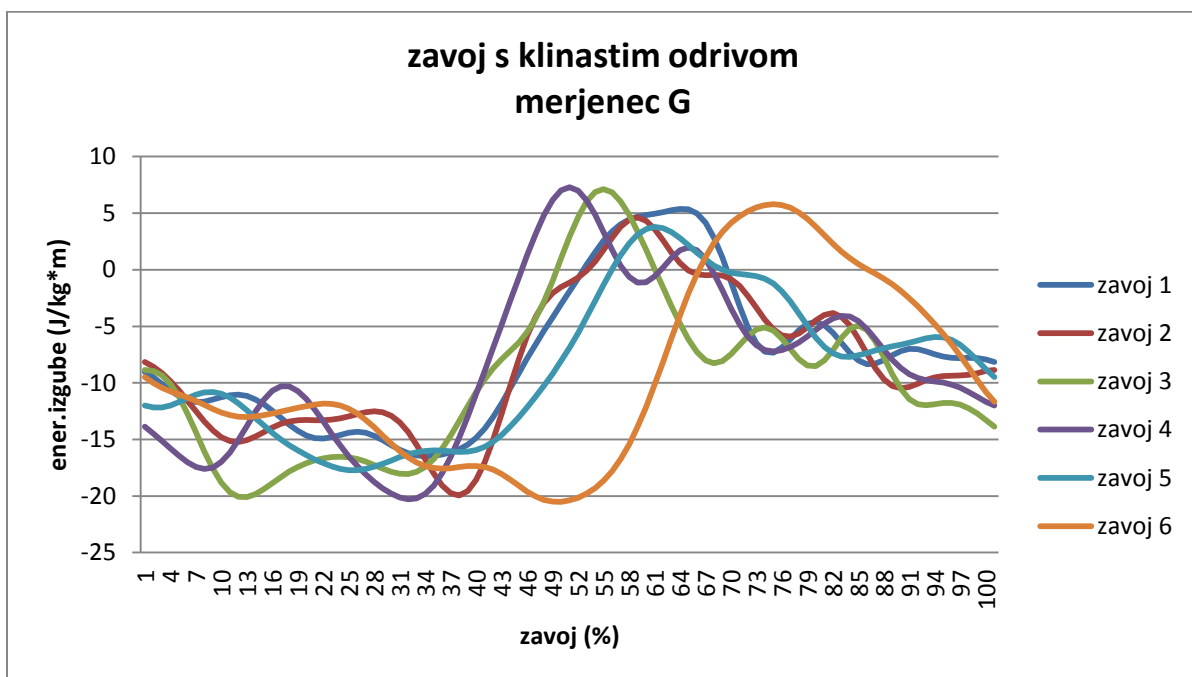


Diagram 122: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi zavoj s klinastim odzivom – merjenec G

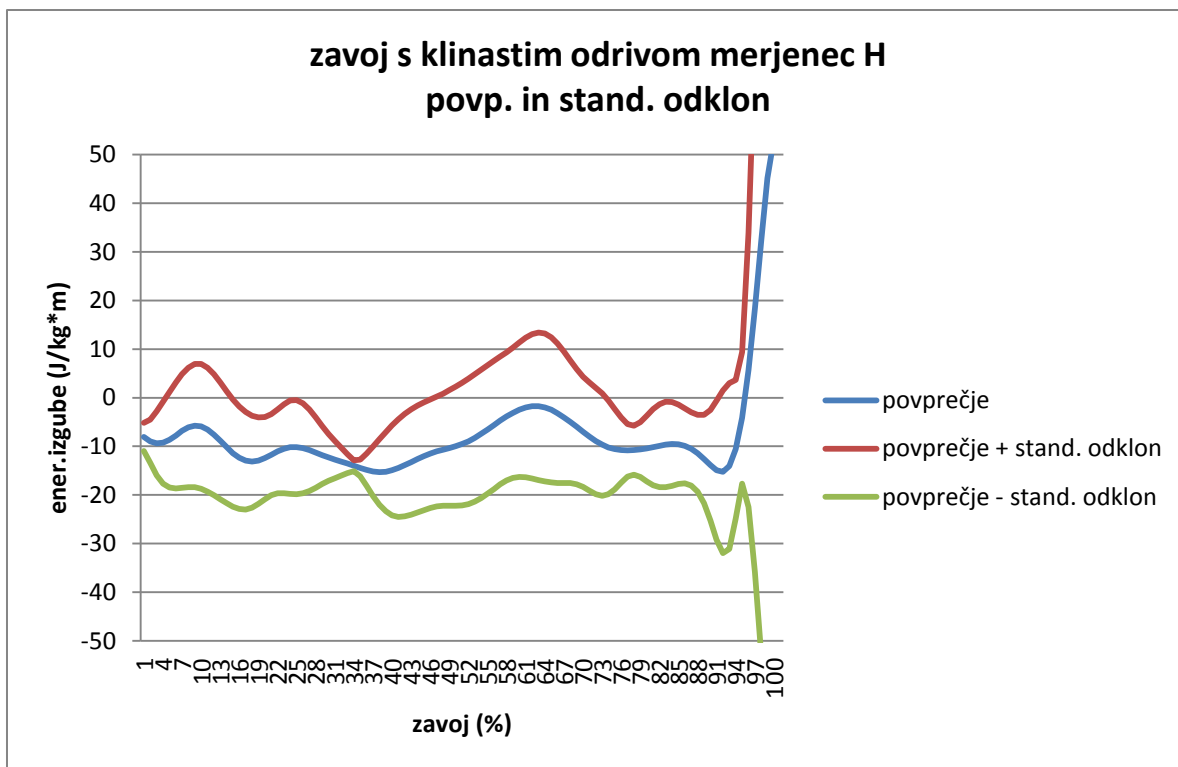


Diagram 123: Povprečje energijskih izgub pri storitvi zavoj s klinastim odrivom – merjenec H

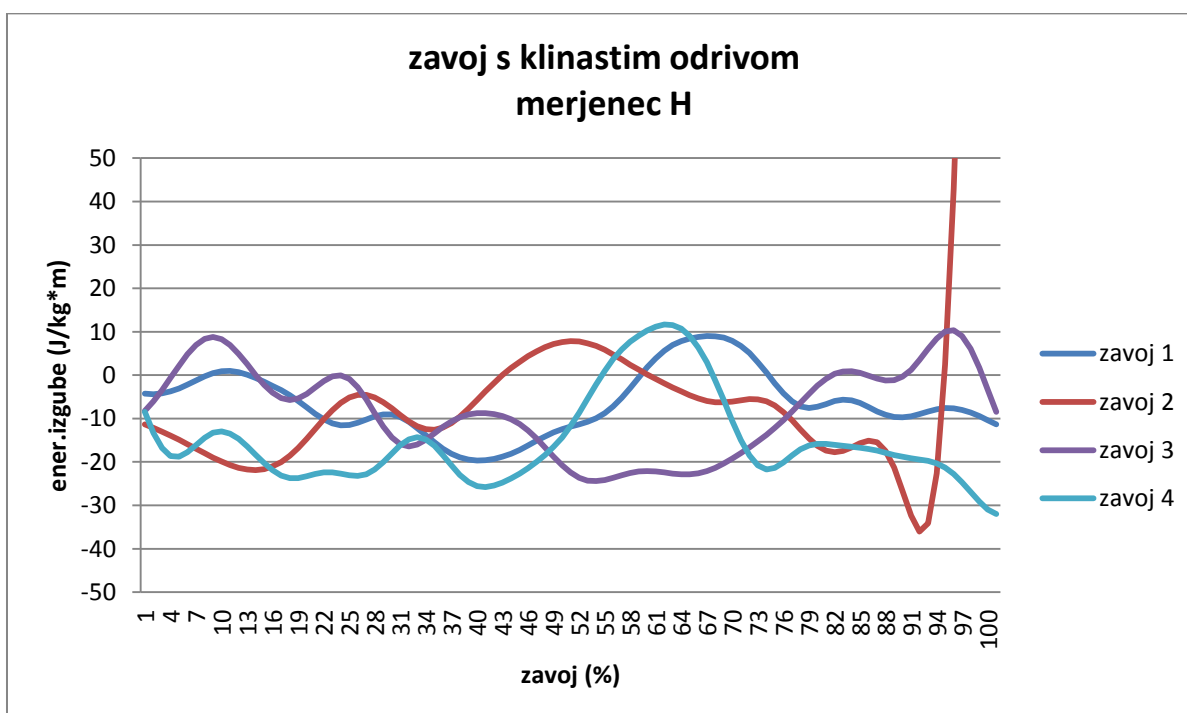


Diagram 124: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi zavoj s klinastim odrivom – merjenec H

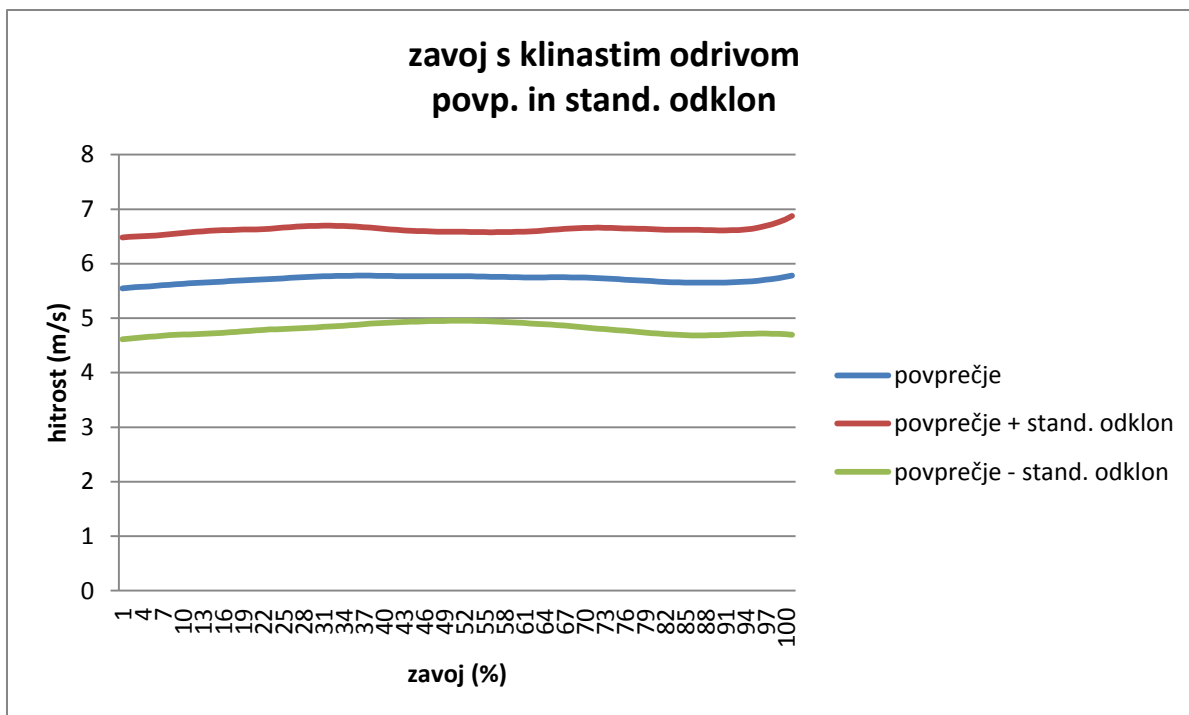


Diagram 125: Skupno povprečje hitrosti pri storitvi zavoj s klinastim odzivom

10.3. Osnovno vijuganje

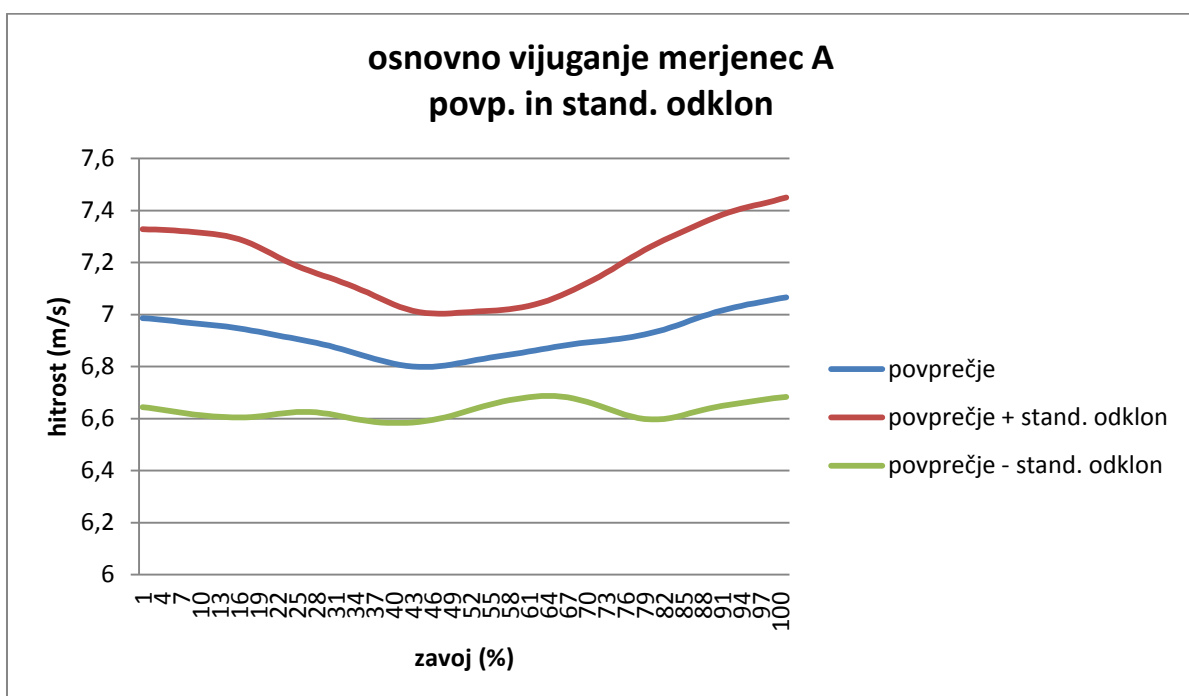


Diagram 126: Povprečje hitrosti pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec A

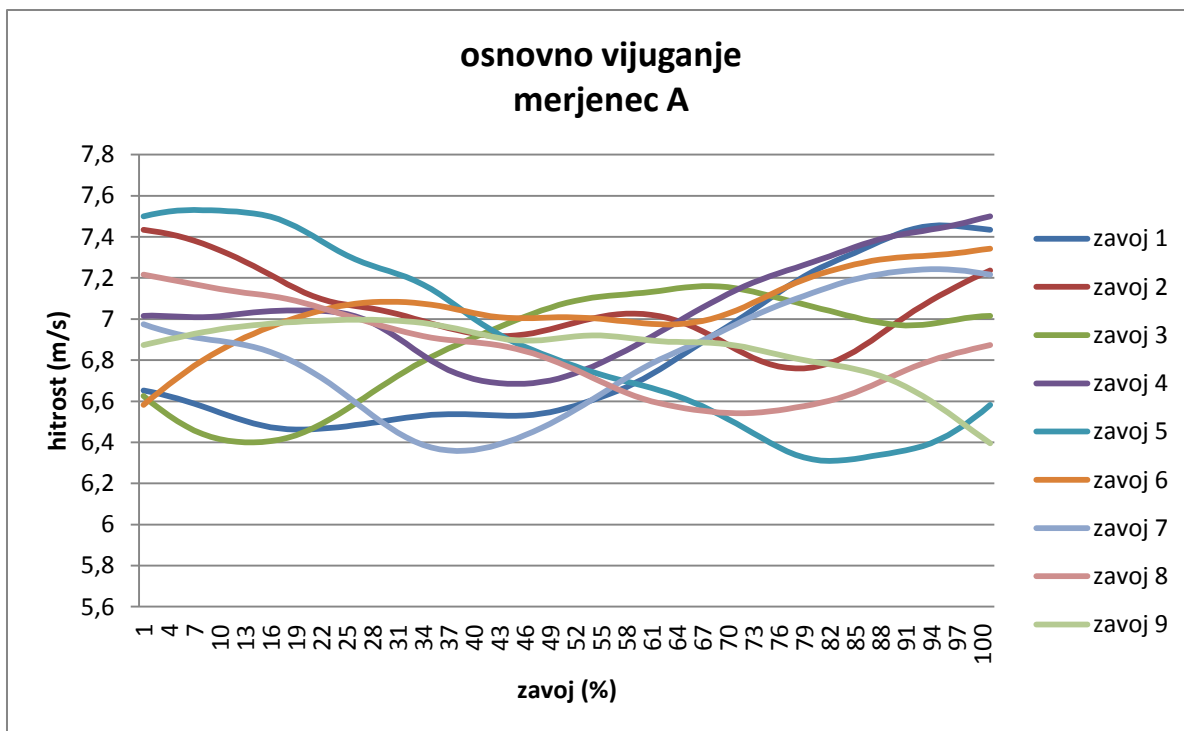


Diagram 127: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec A

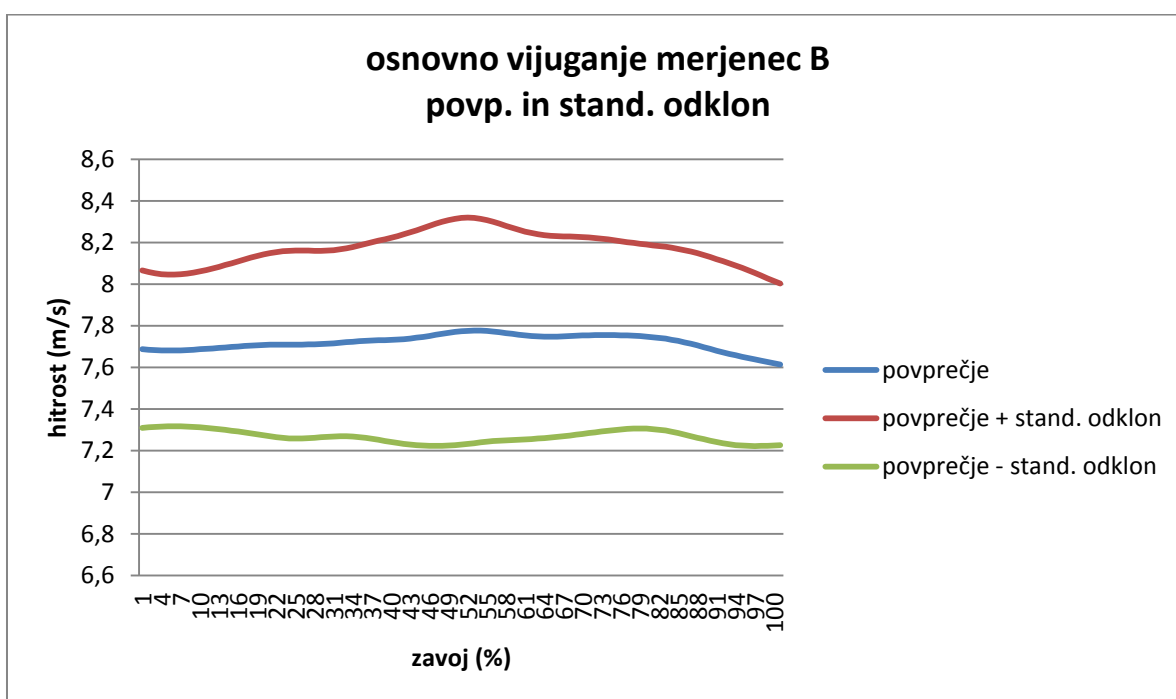


Diagram 128: Povprečje hitrosti pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec B

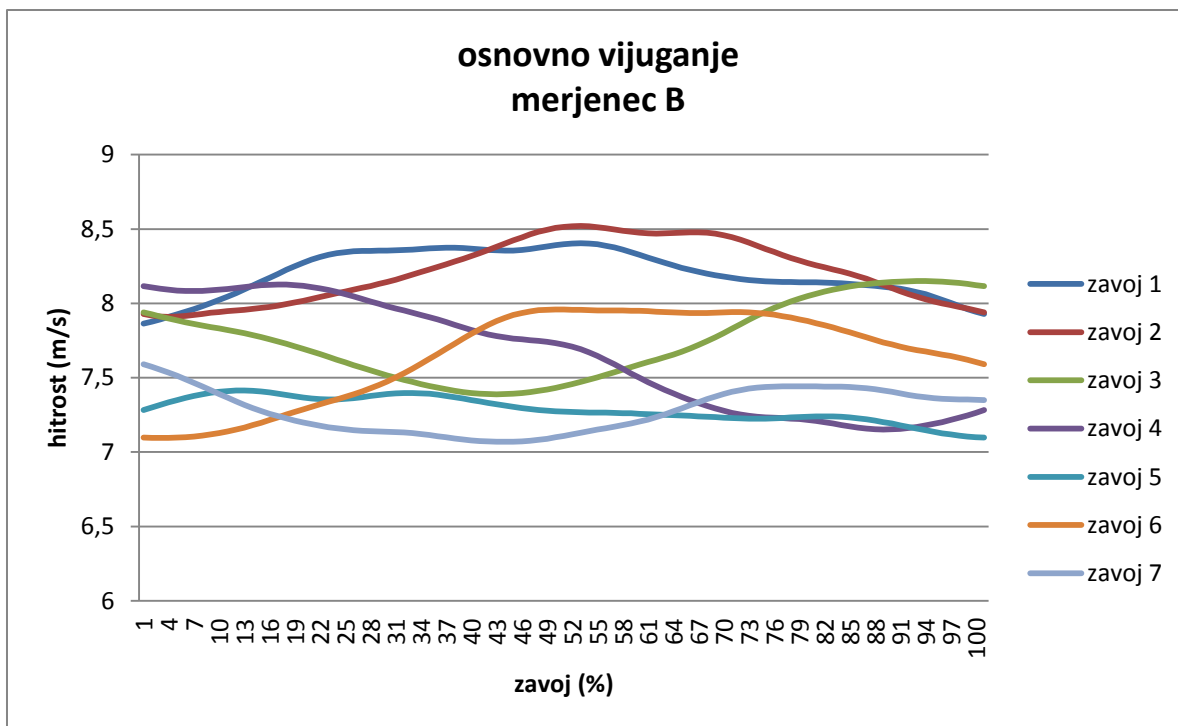


Diagram 129: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec B

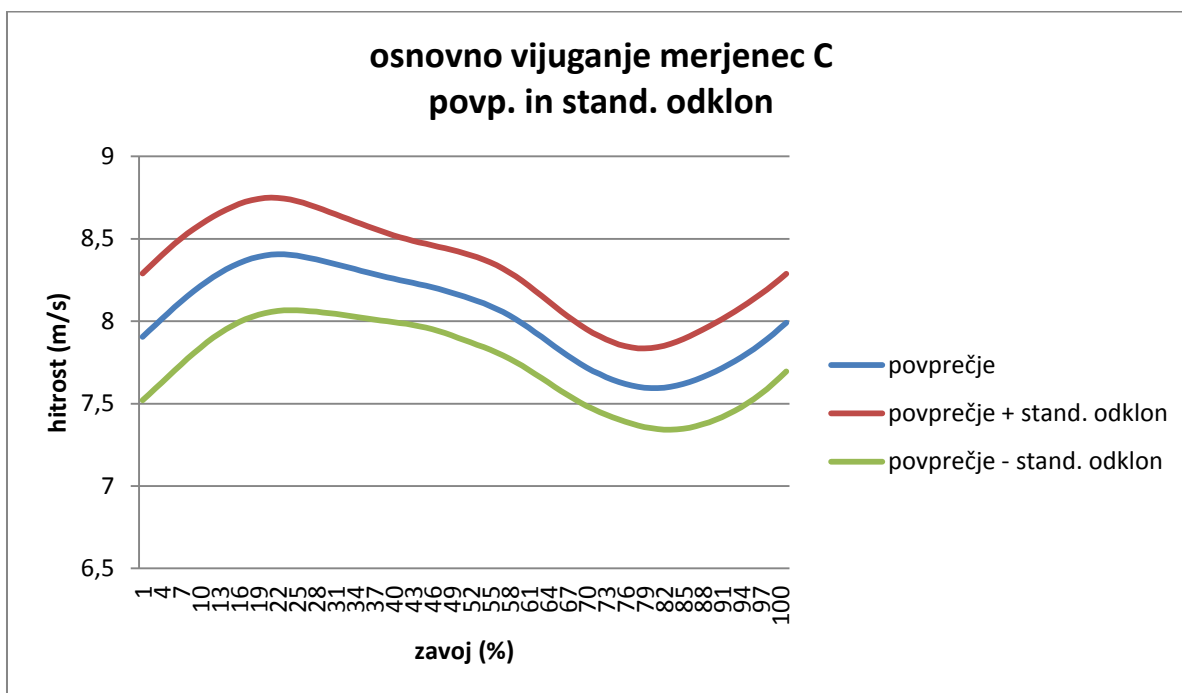


Diagram 130: Povprečje hitrosti pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec C

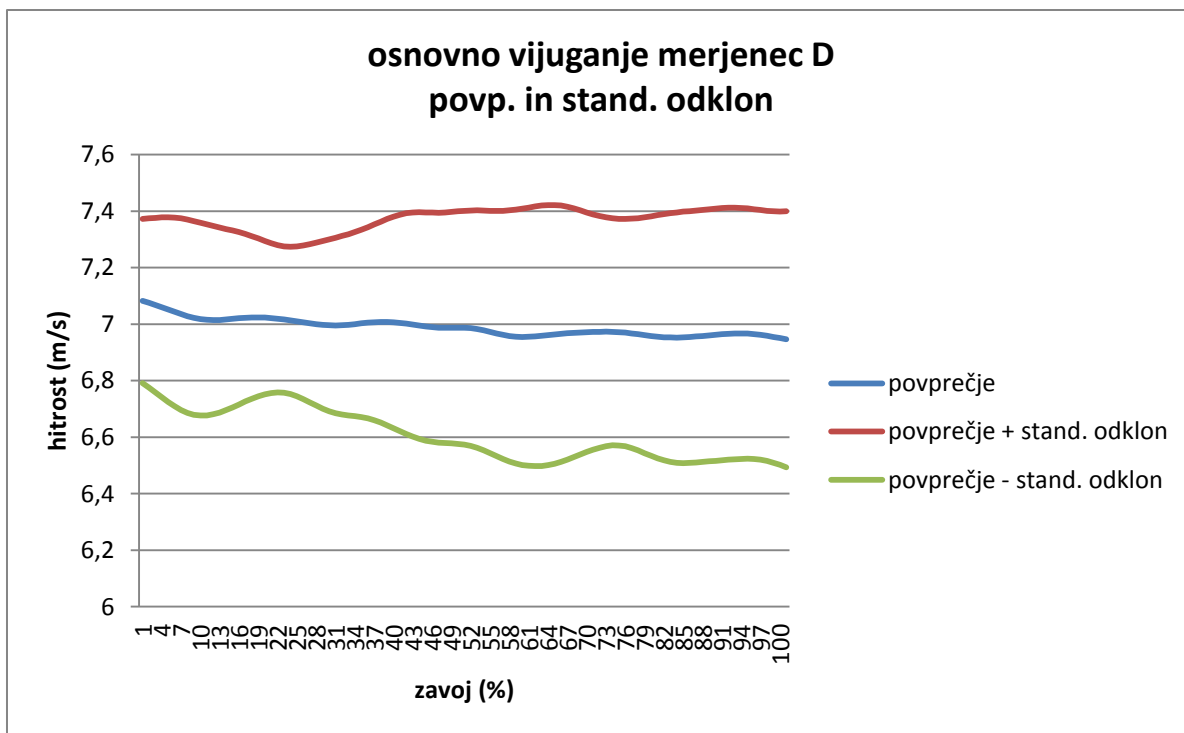


Diagram 131: Povprečje hitrosti pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec D

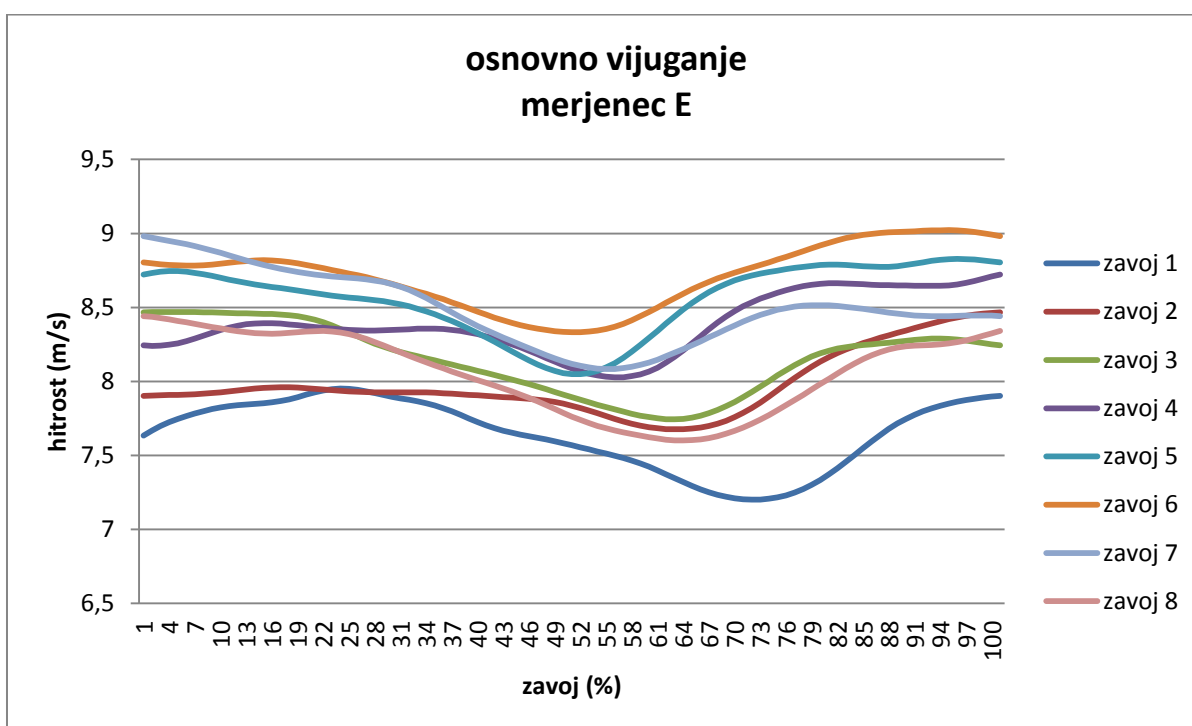


Diagram 132: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec E

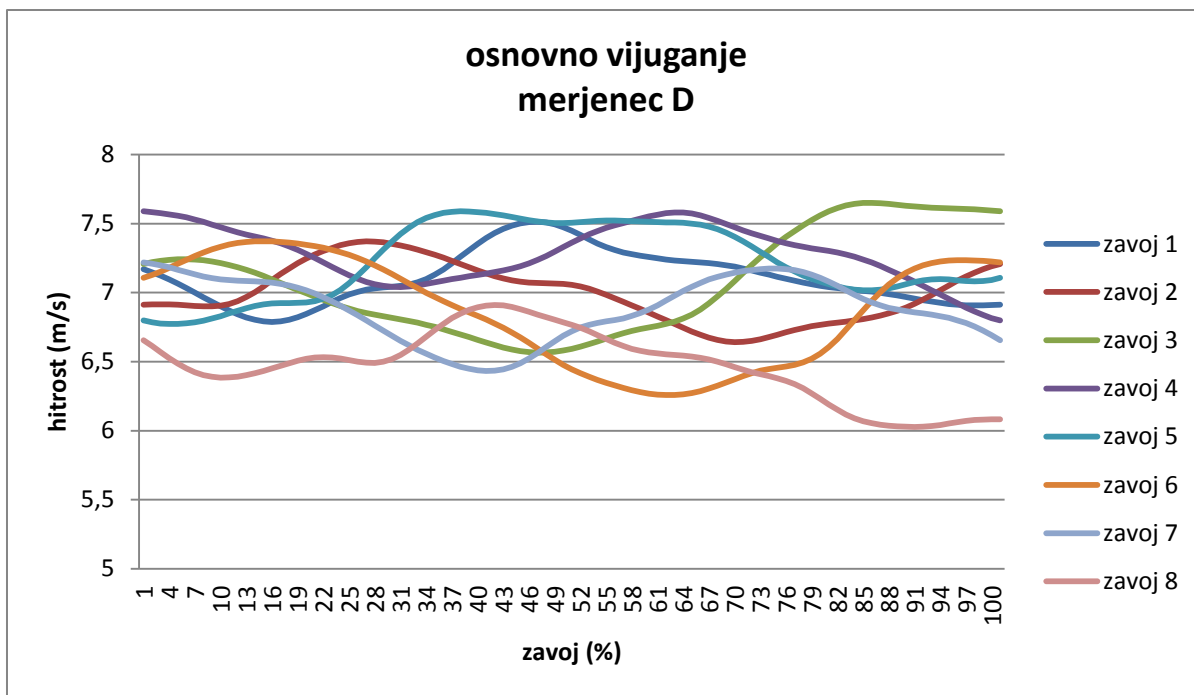


Diagram 133: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec D

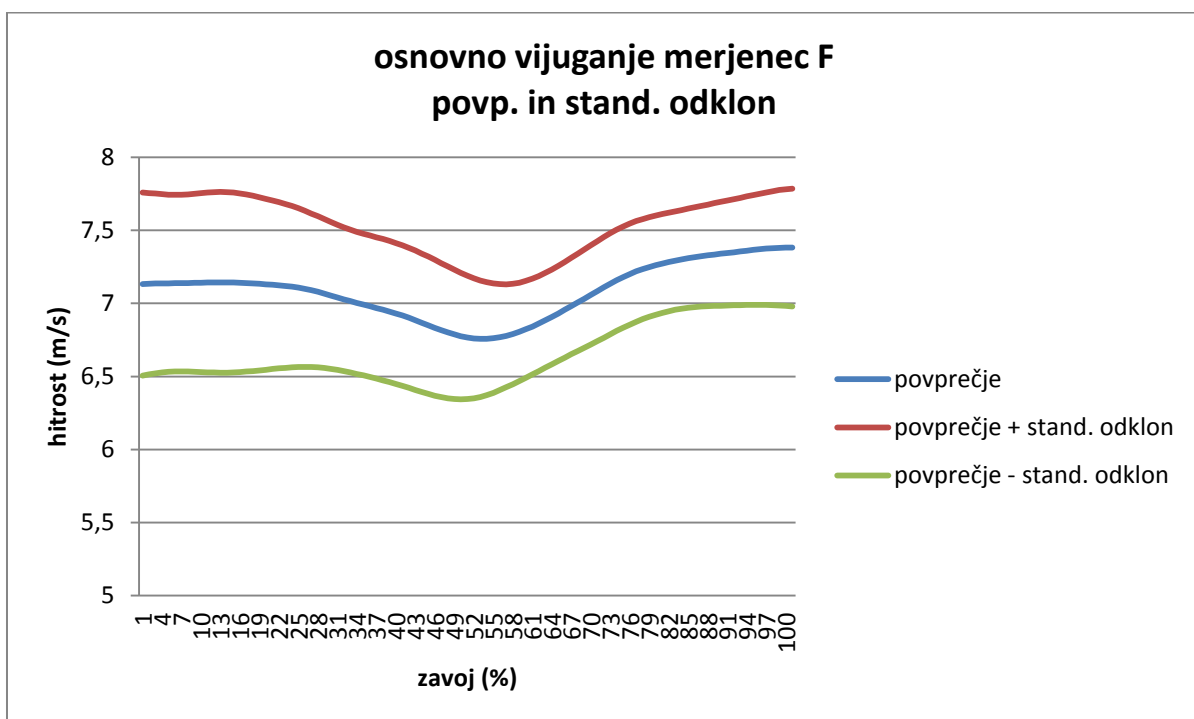


Diagram 134: Povprečje hitrosti pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec F

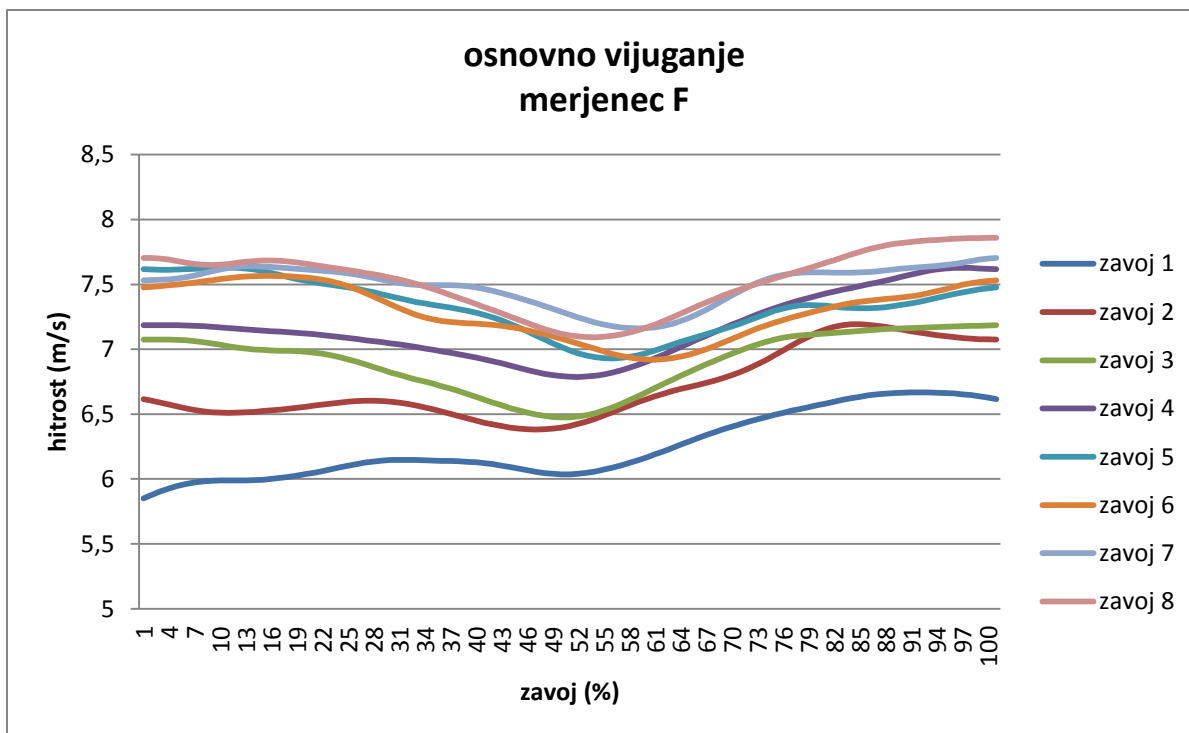


Diagram 135: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec F

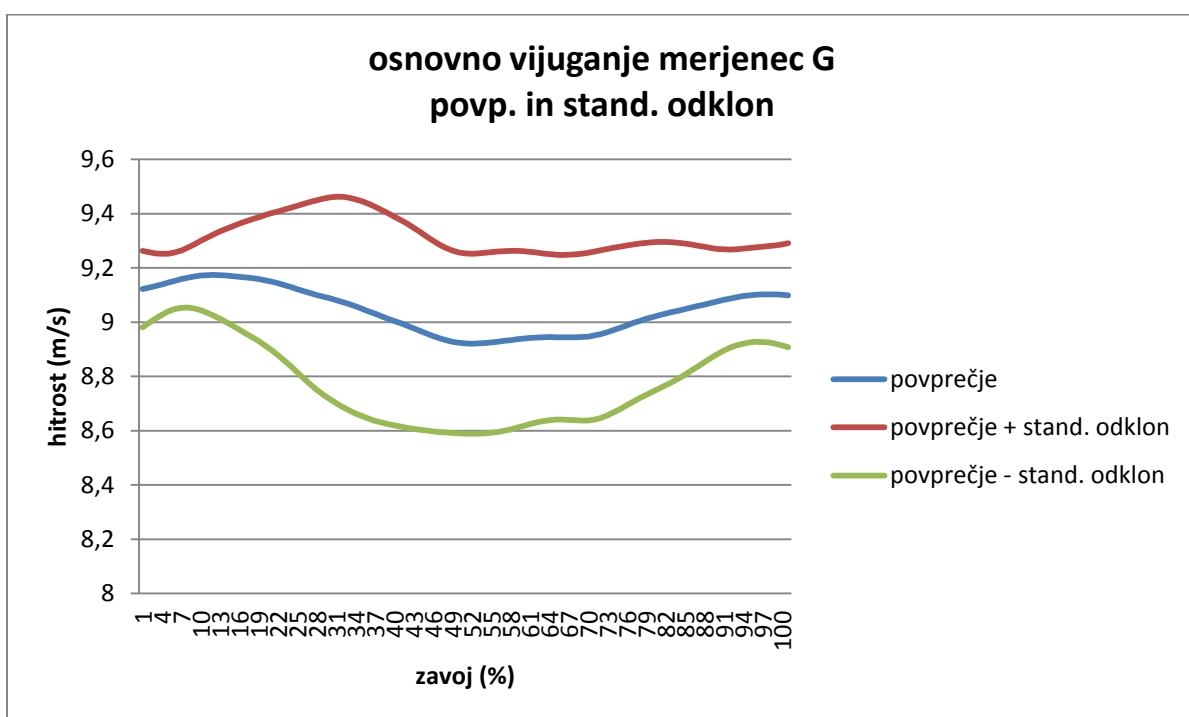


Diagram 136: Povprečje hitrosti pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec G

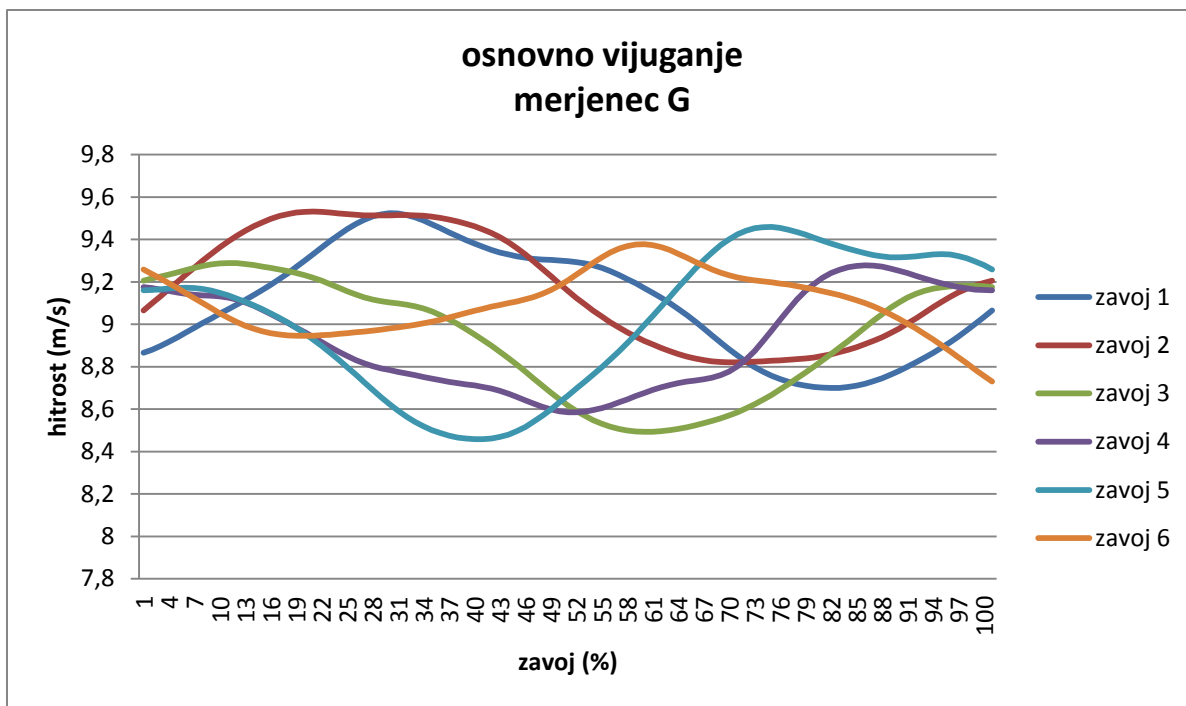


Diagram 137: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec G

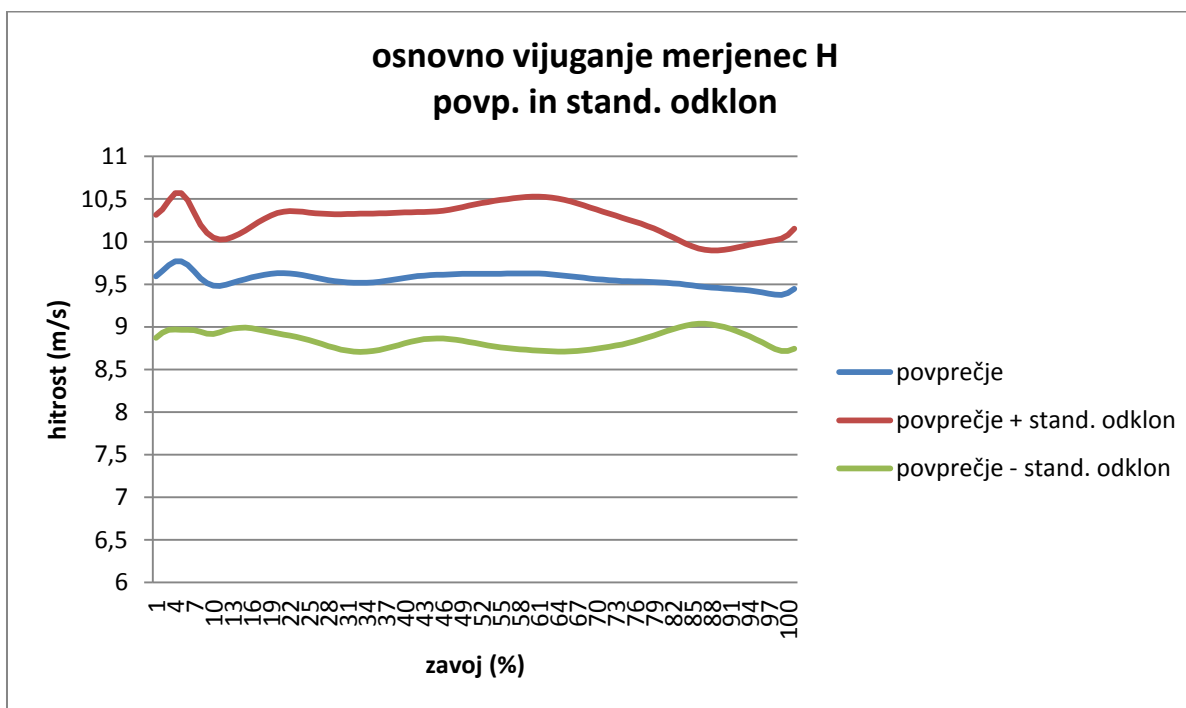


Diagram 138: Povprečje hitrosti pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec H

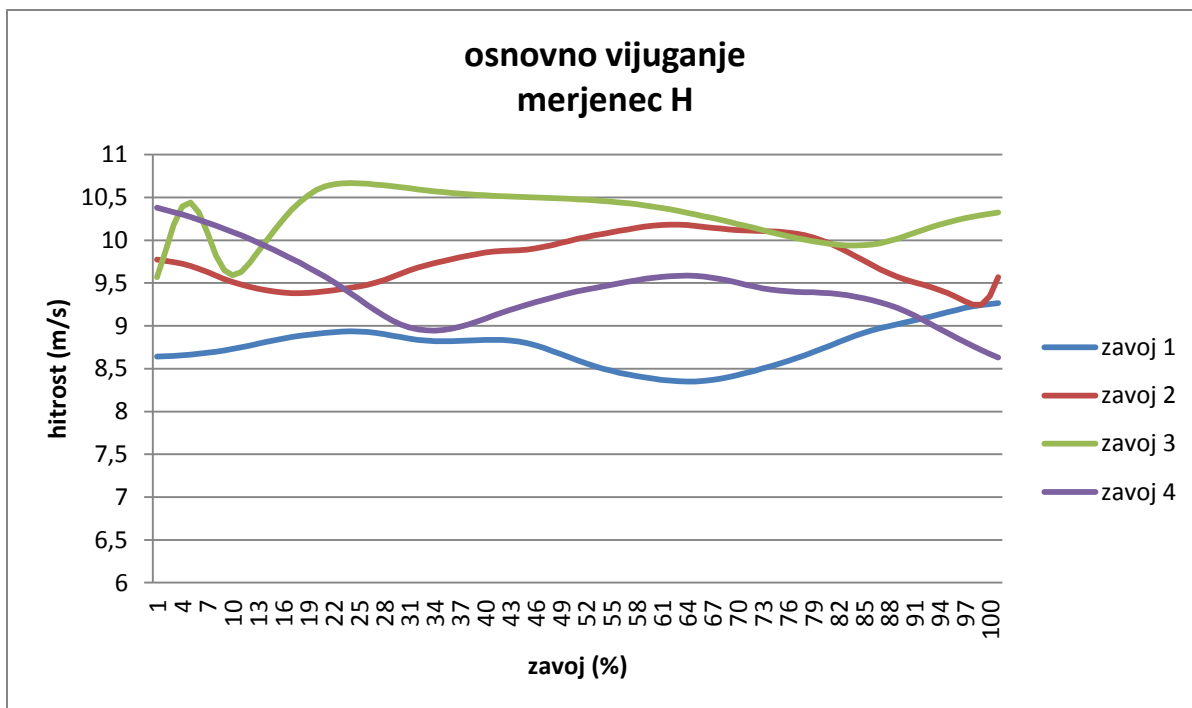


Diagram 139: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec H

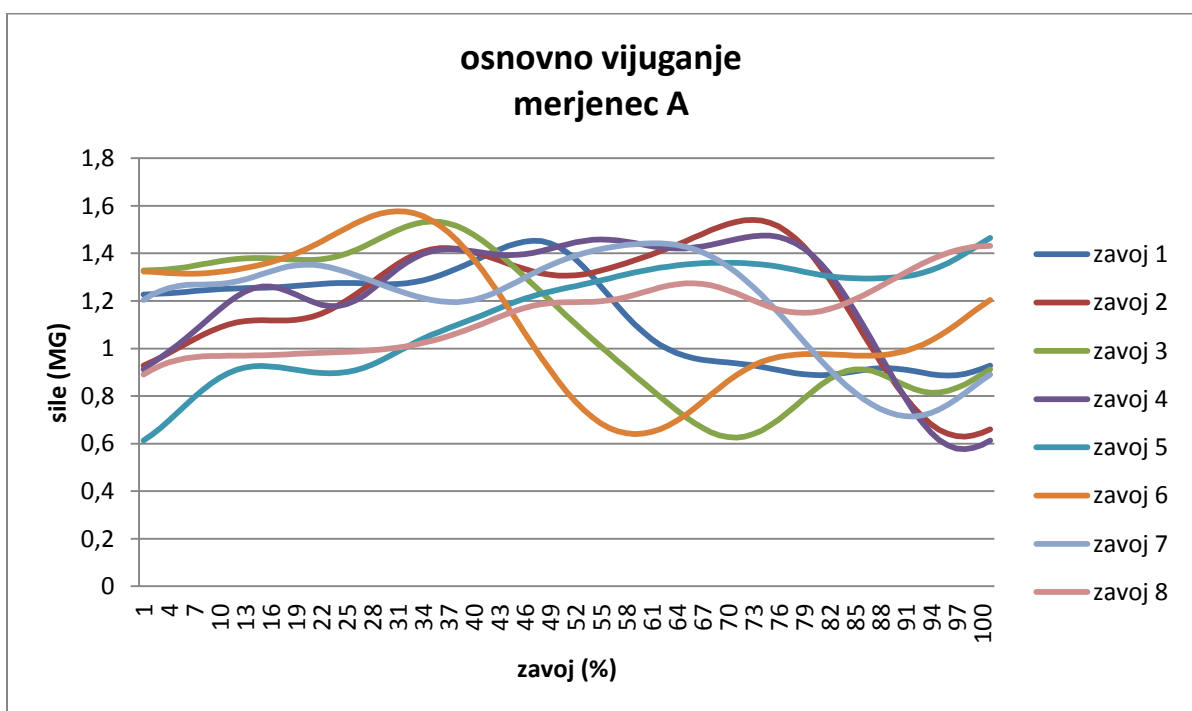


Diagram 140: Sile posameznih zavojev pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec A

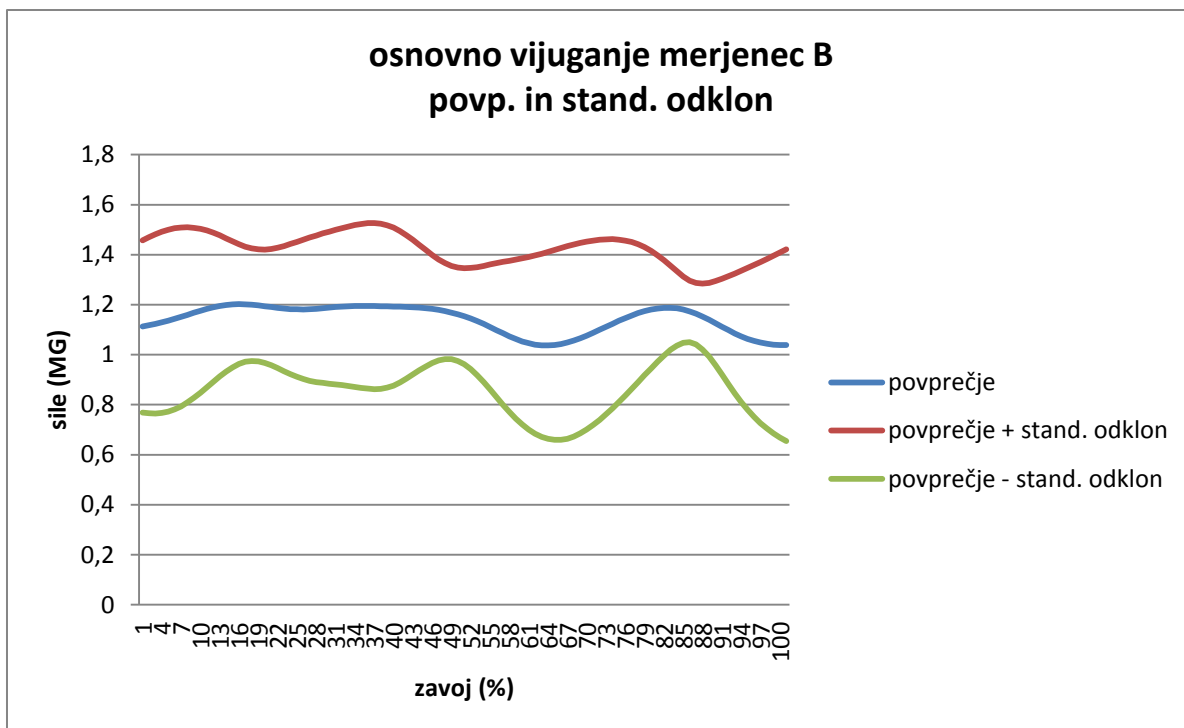


Diagram 141: Povprečje sil pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec B

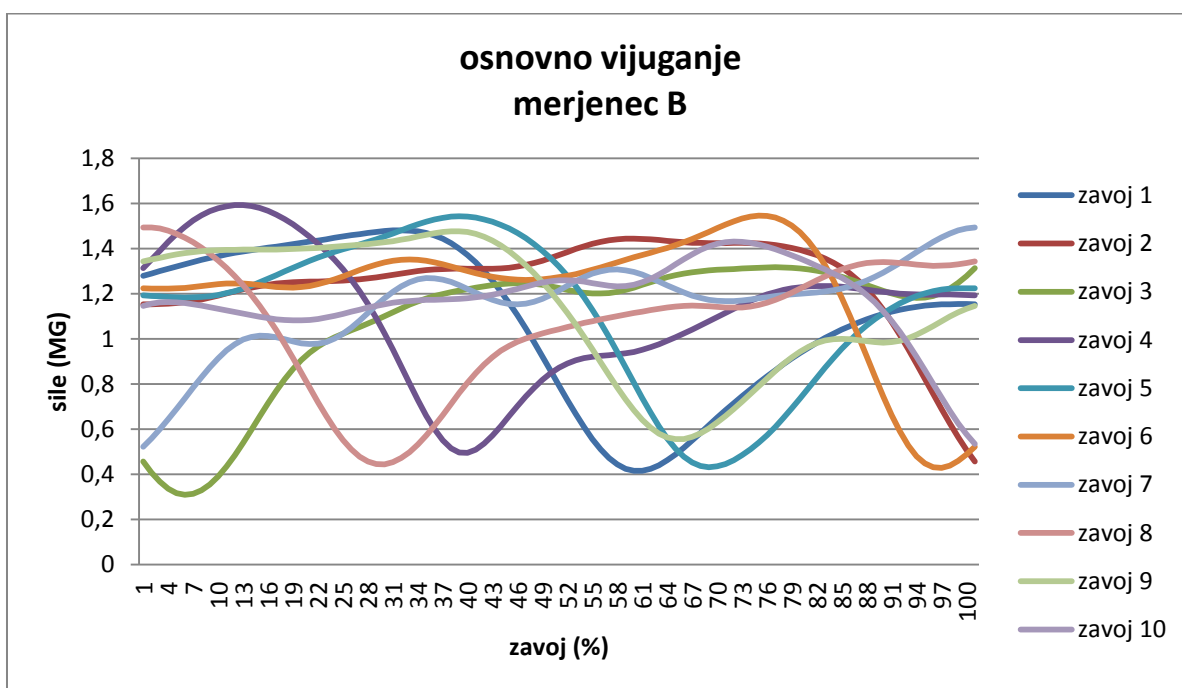


Diagram 142: Sile posameznih zavojev pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec B

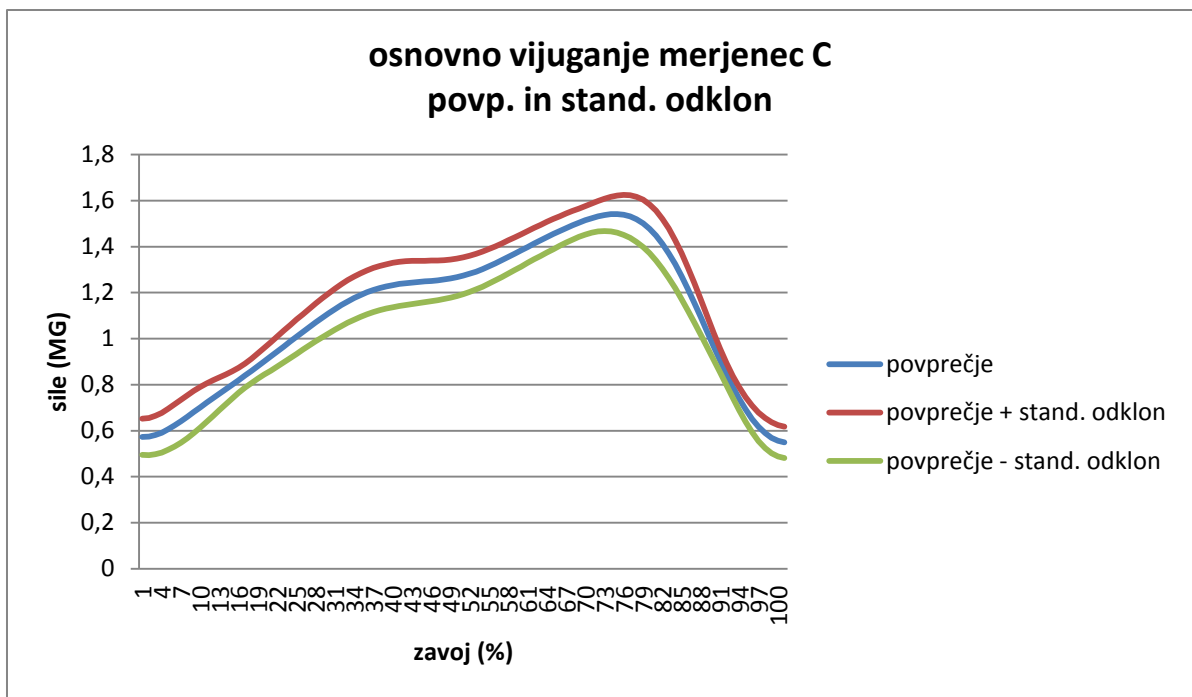


Diagram 143: Povprečje sil pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec C

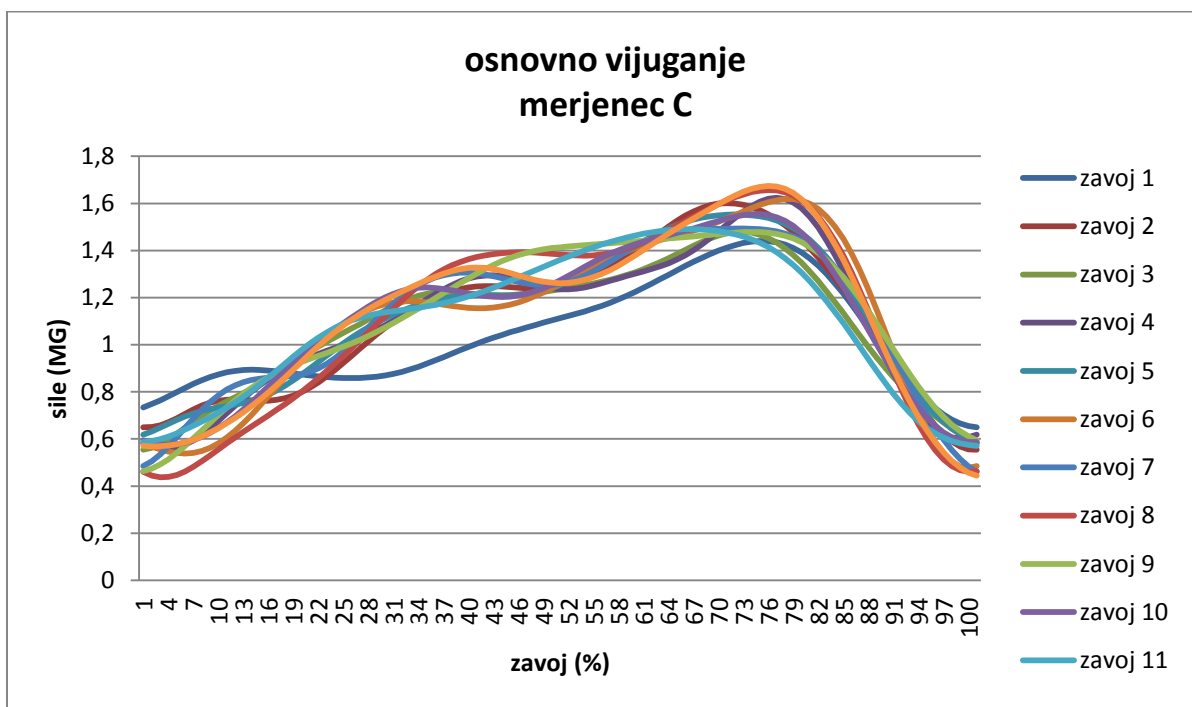


Diagram 144: Sile posameznih zavojev pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec C

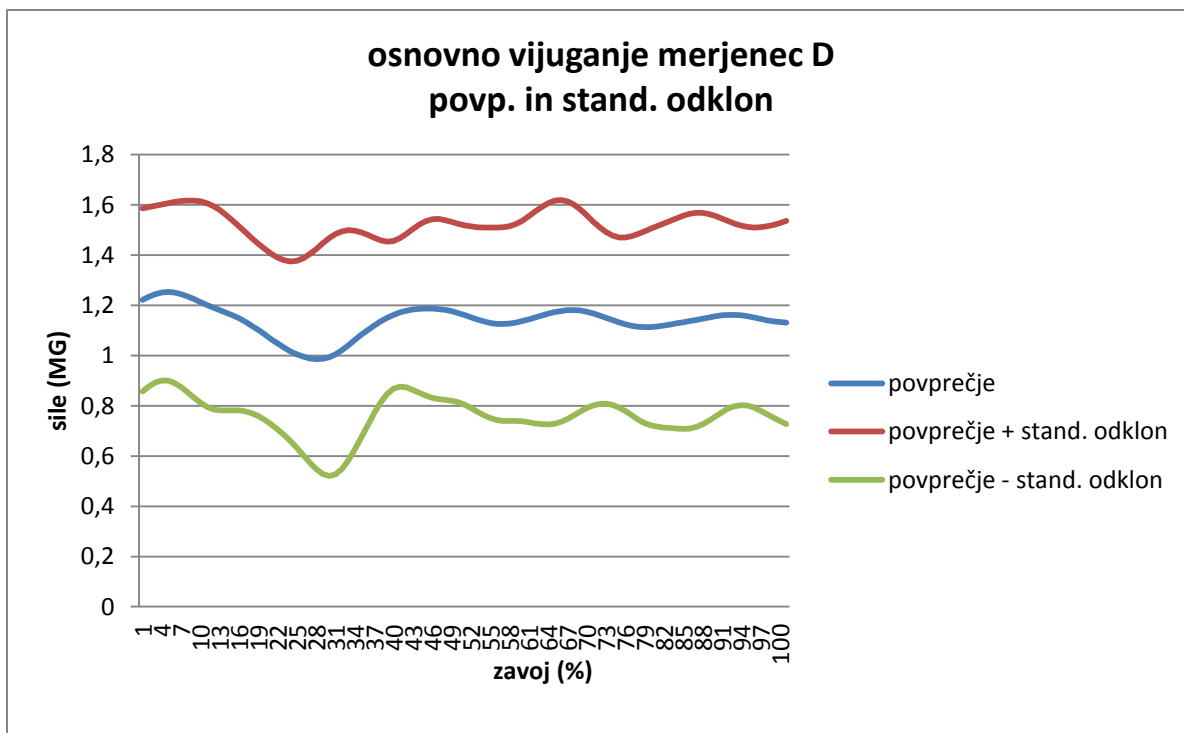


Diagram 145: Povprečje sil pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec D

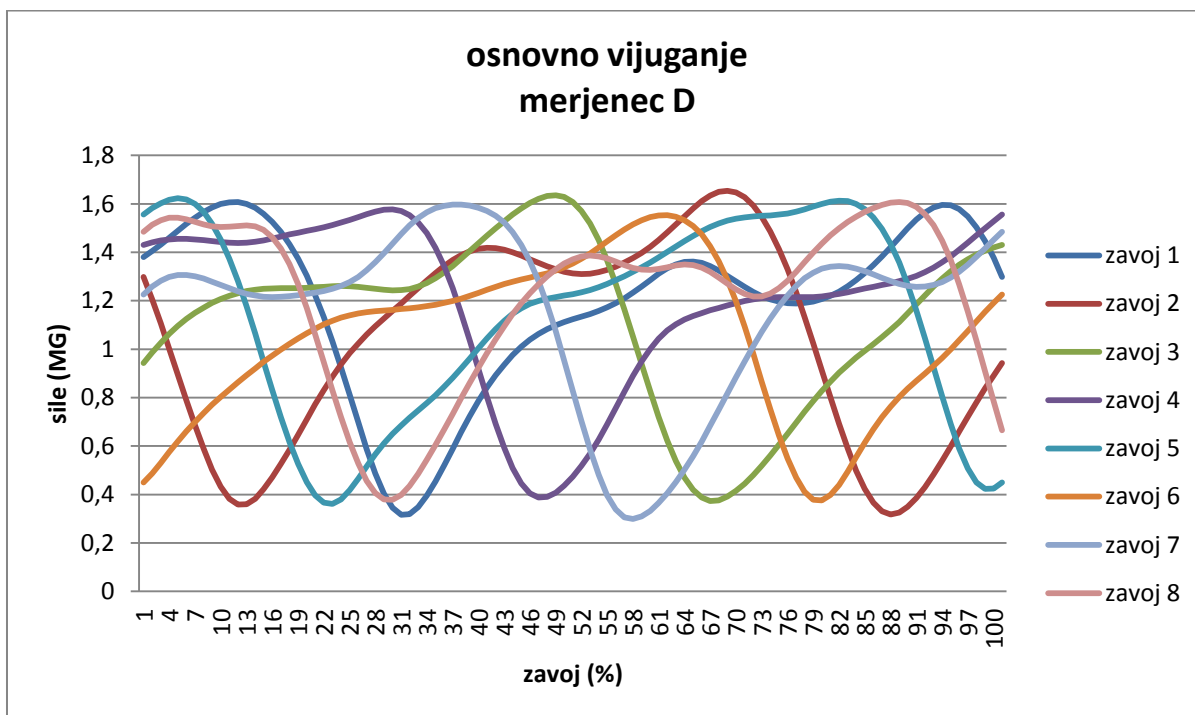


Diagram 146: Sile posameznih zavojev pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec D

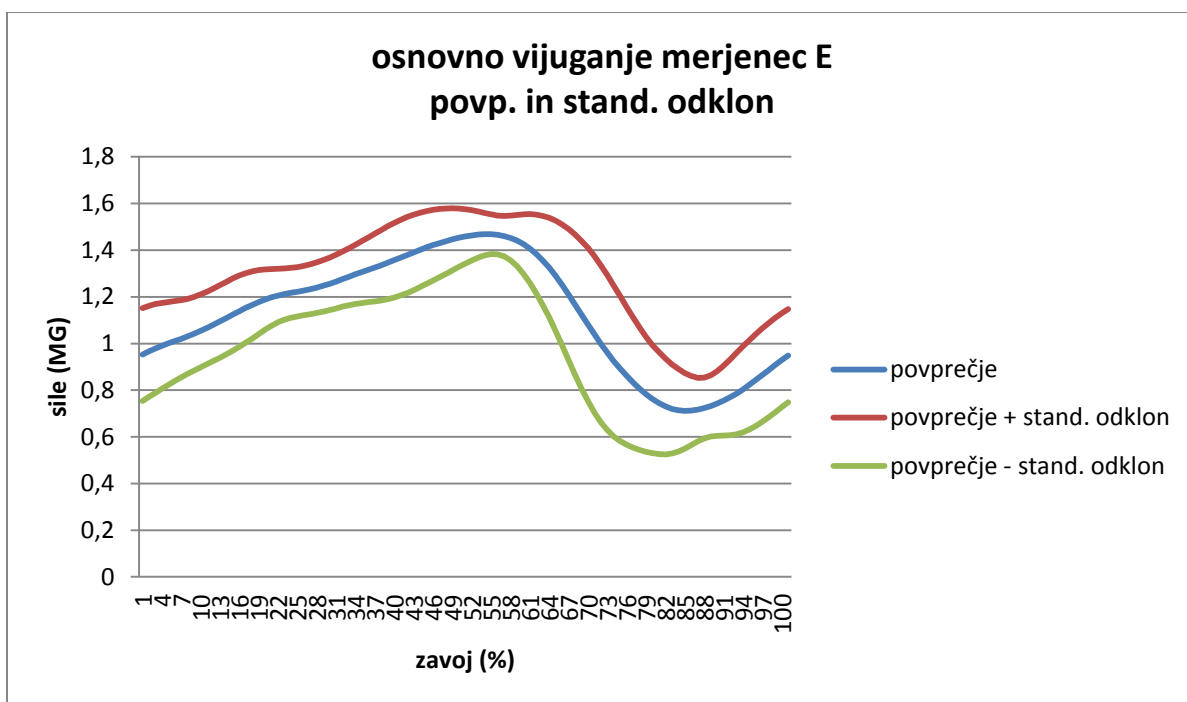


Diagram 147: Povprečje sil pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec E

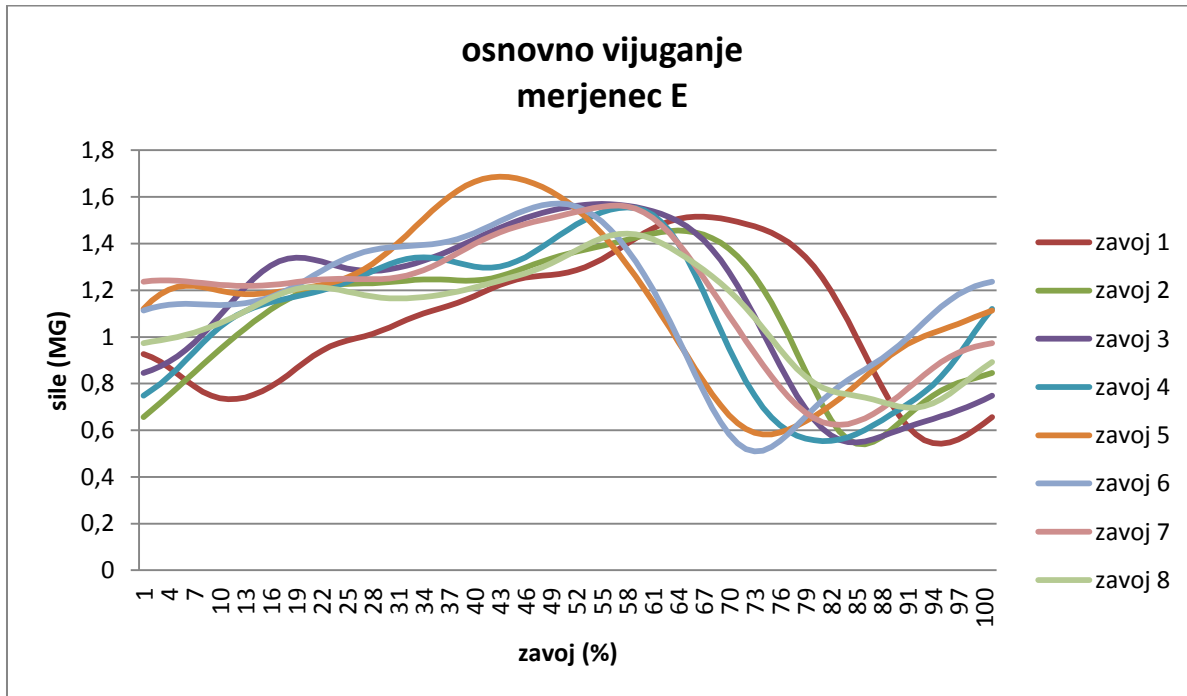


Diagram 148: Sile posameznih zavojev pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec E

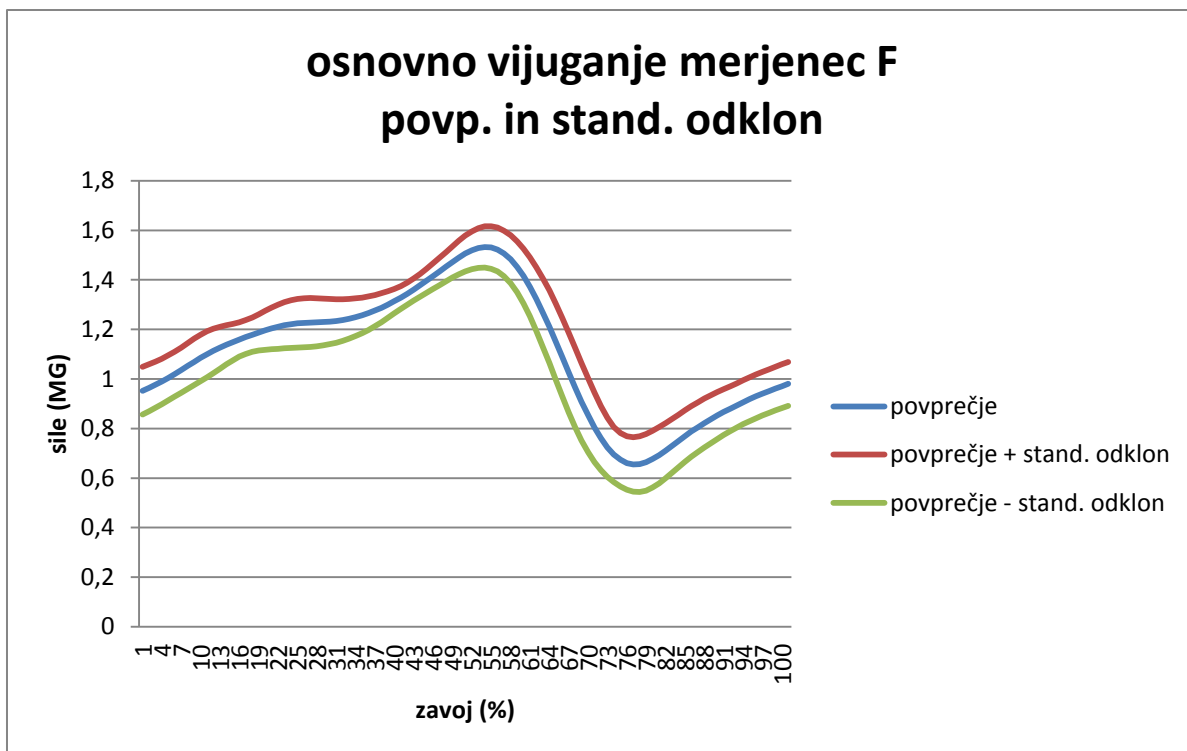


Diagram 149: Povprečje sil pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec F

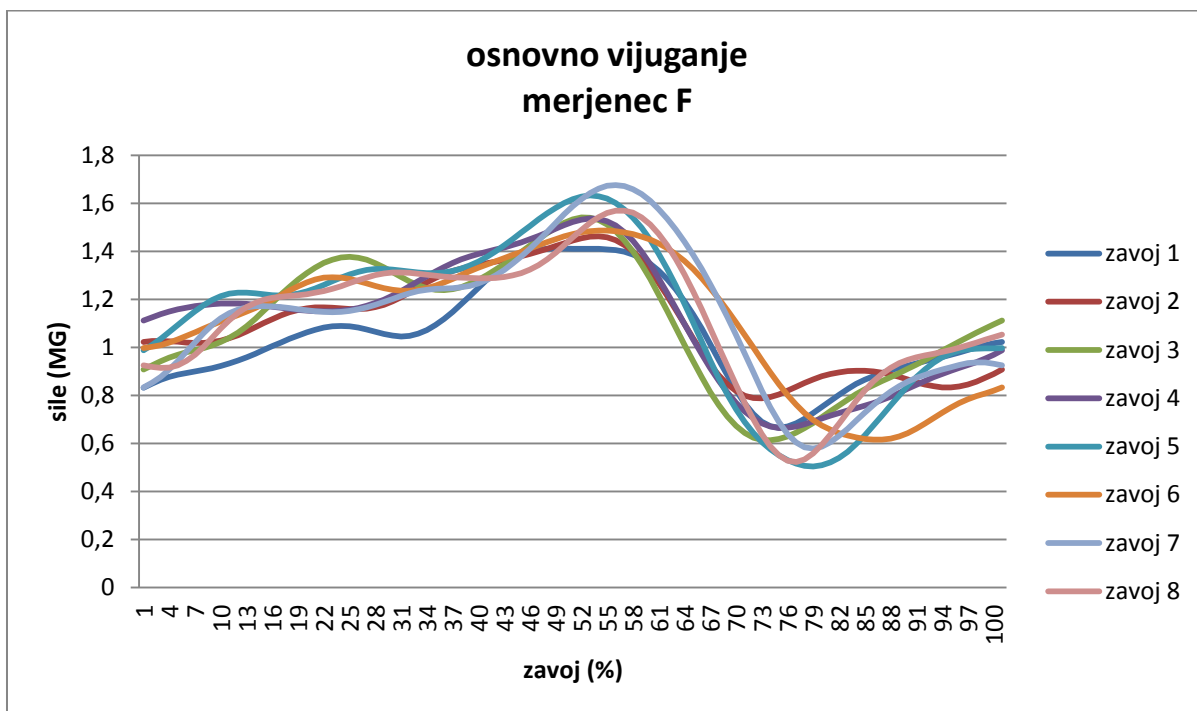


Diagram 150: Sile posameznih zavojev pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec F

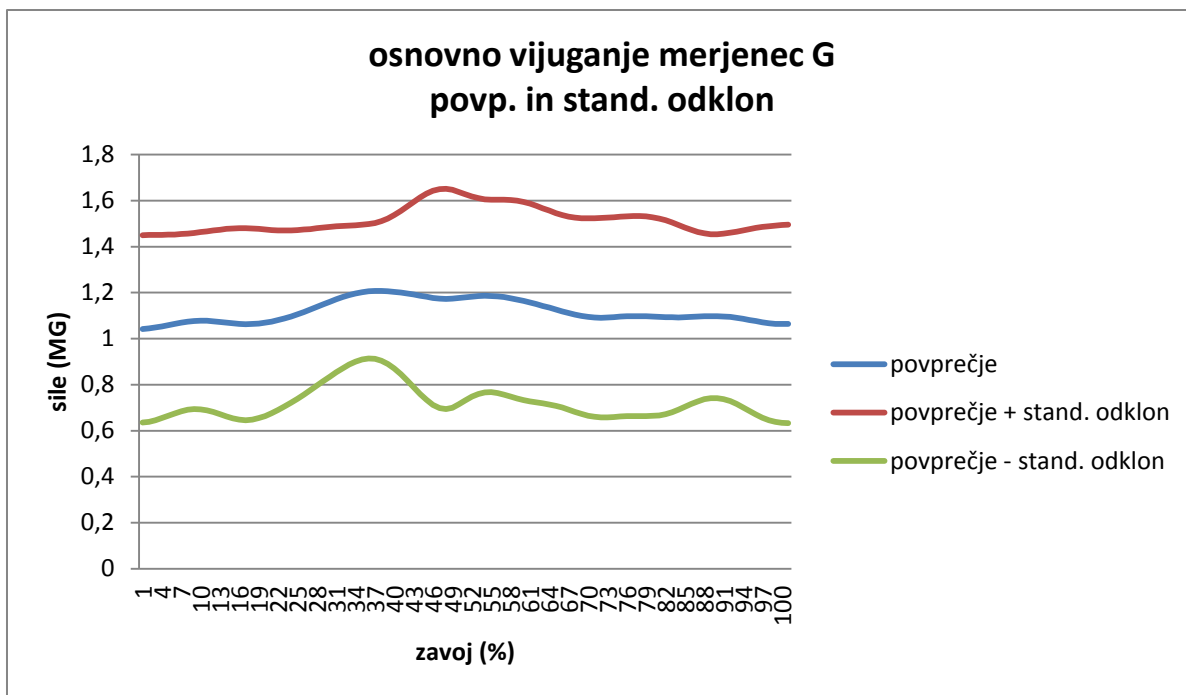


Diagram 151: Povprečje sil pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec G

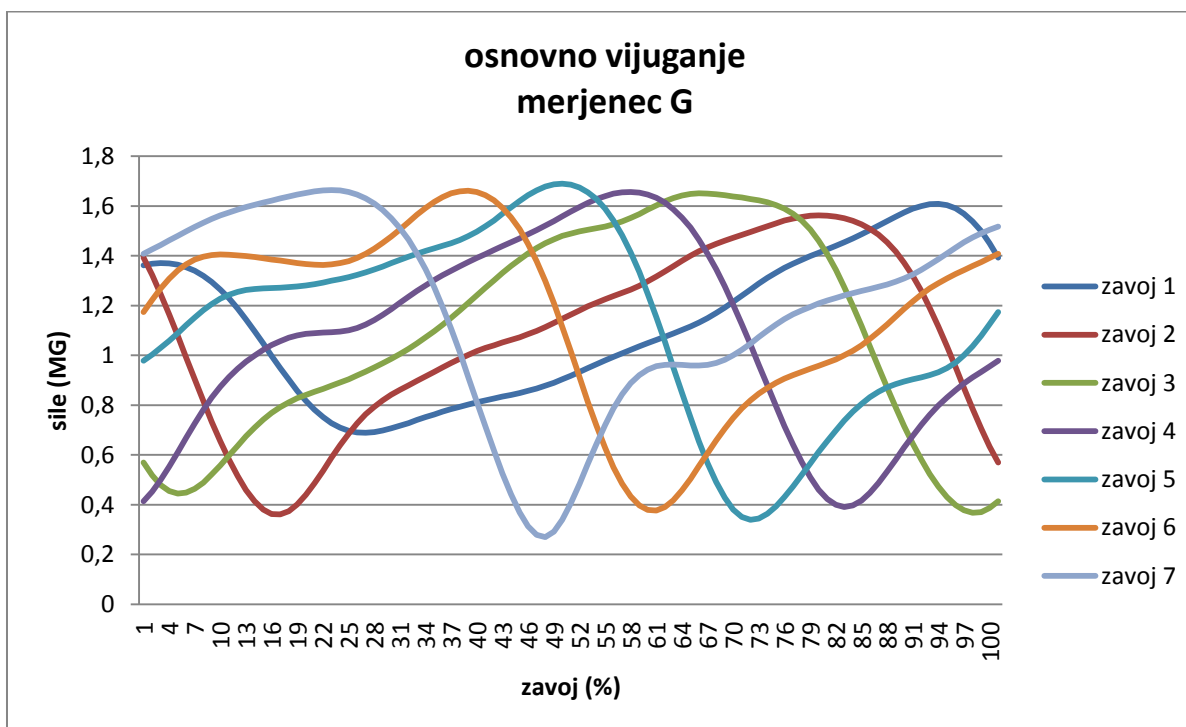


Diagram 152: Sile posameznih zavojev pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec G

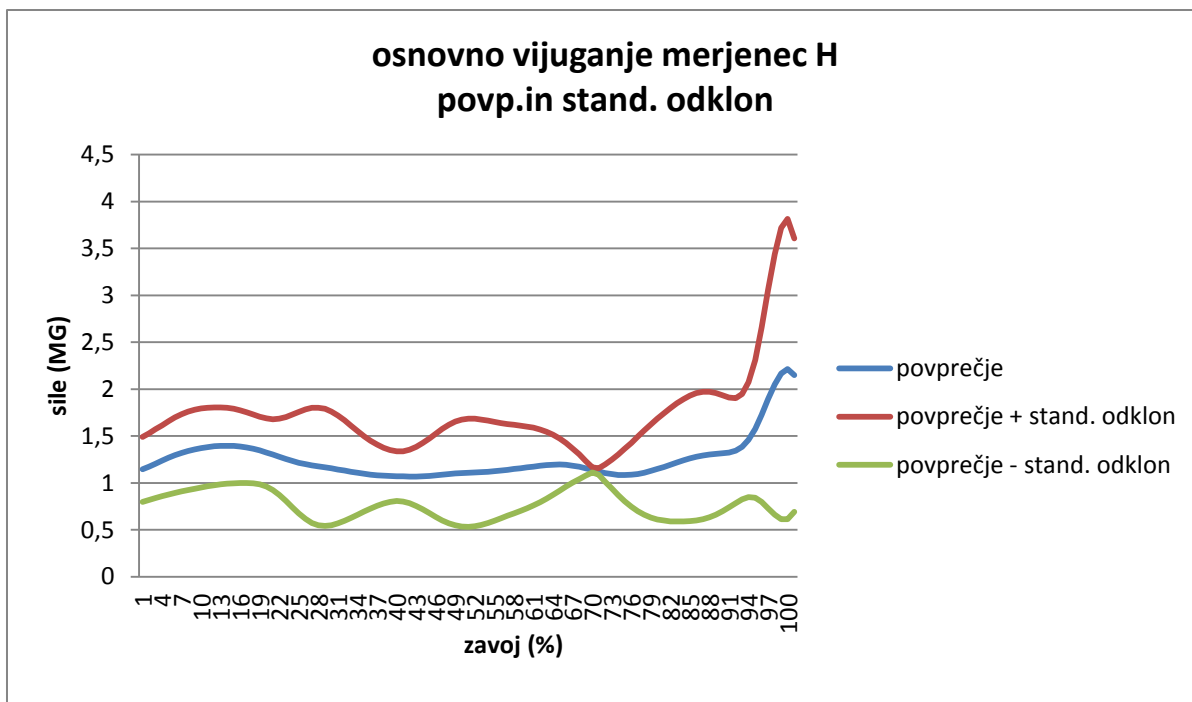


Diagram 153: Povprečje sil pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec H

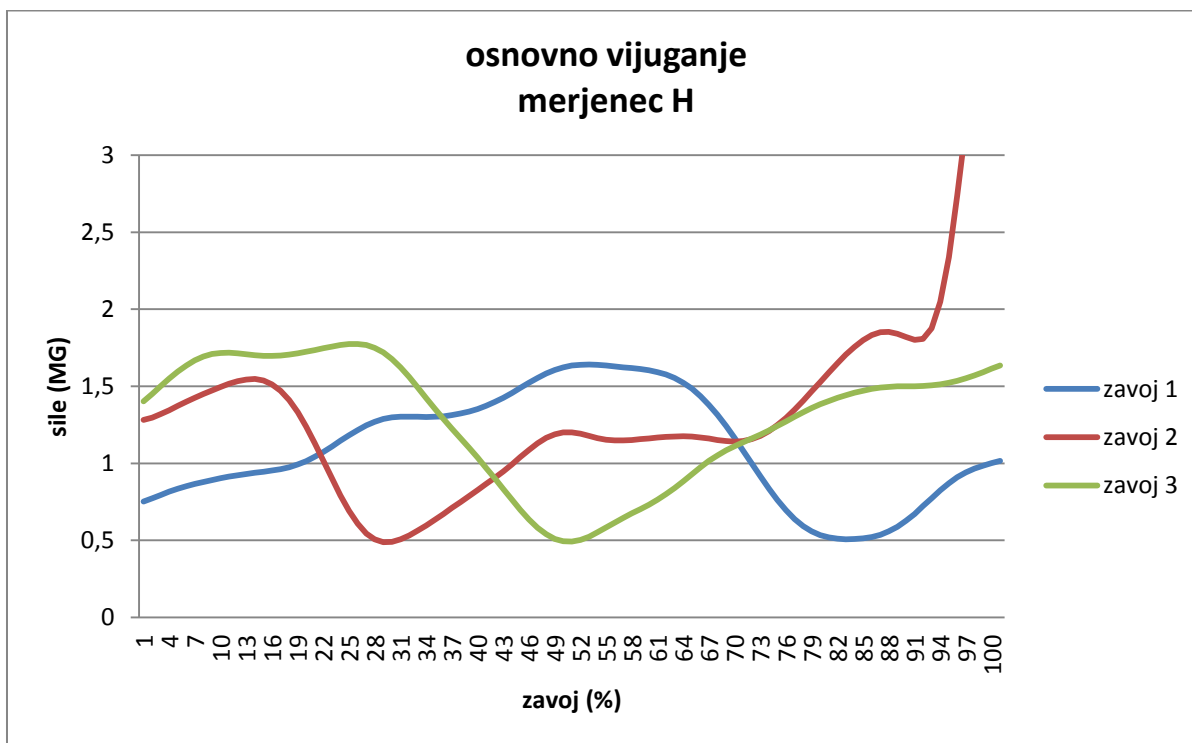


Diagram 154: Sile posameznih zavojev pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec H

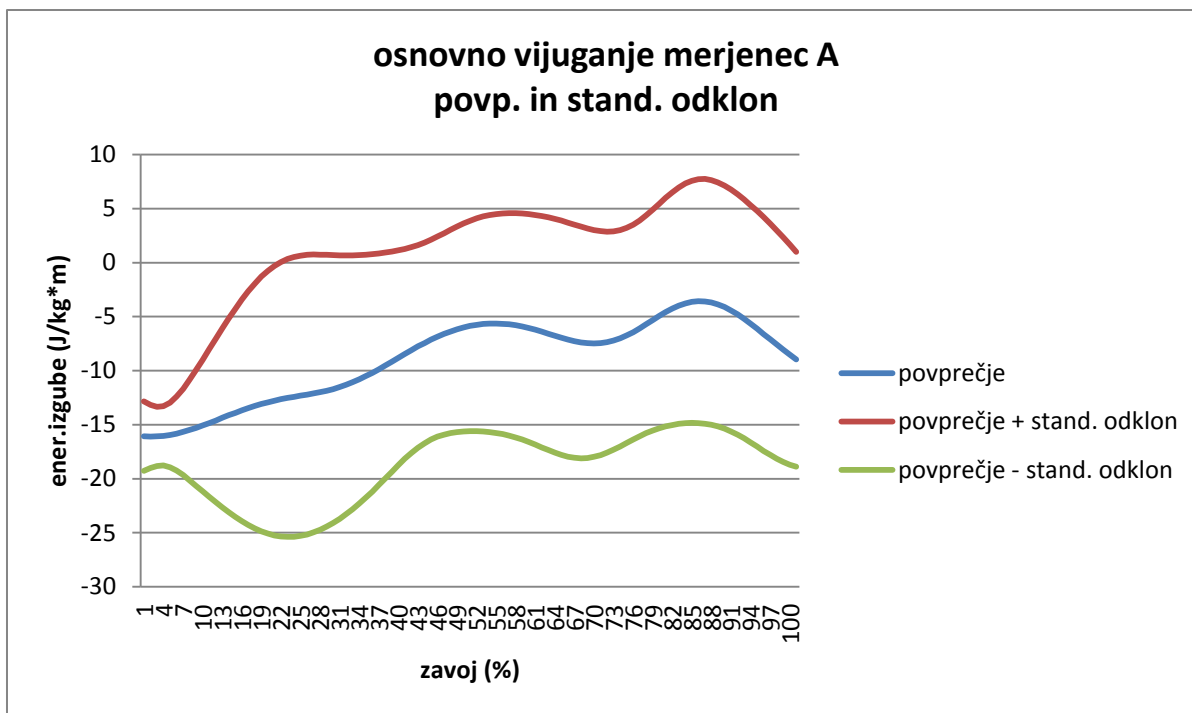


Diagram 155: Povprečje energijskih izgub pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec A

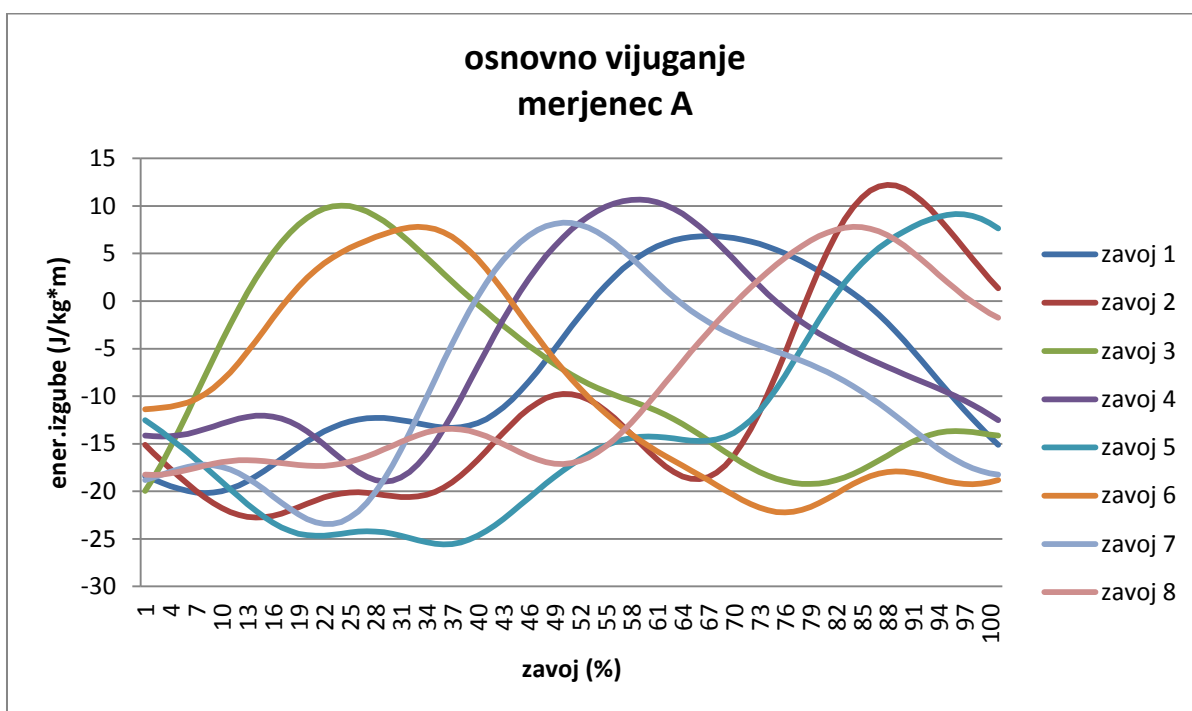


Diagram 156: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec A

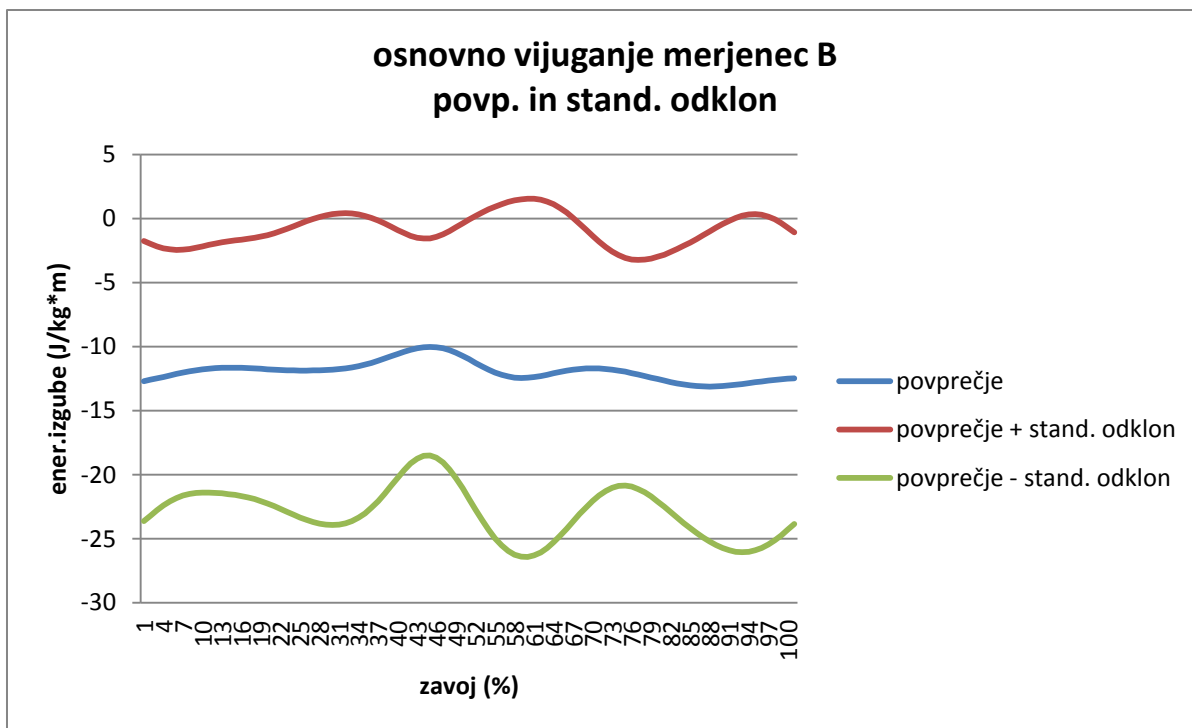


Diagram 157: Povprečje energijskih izgub pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec B

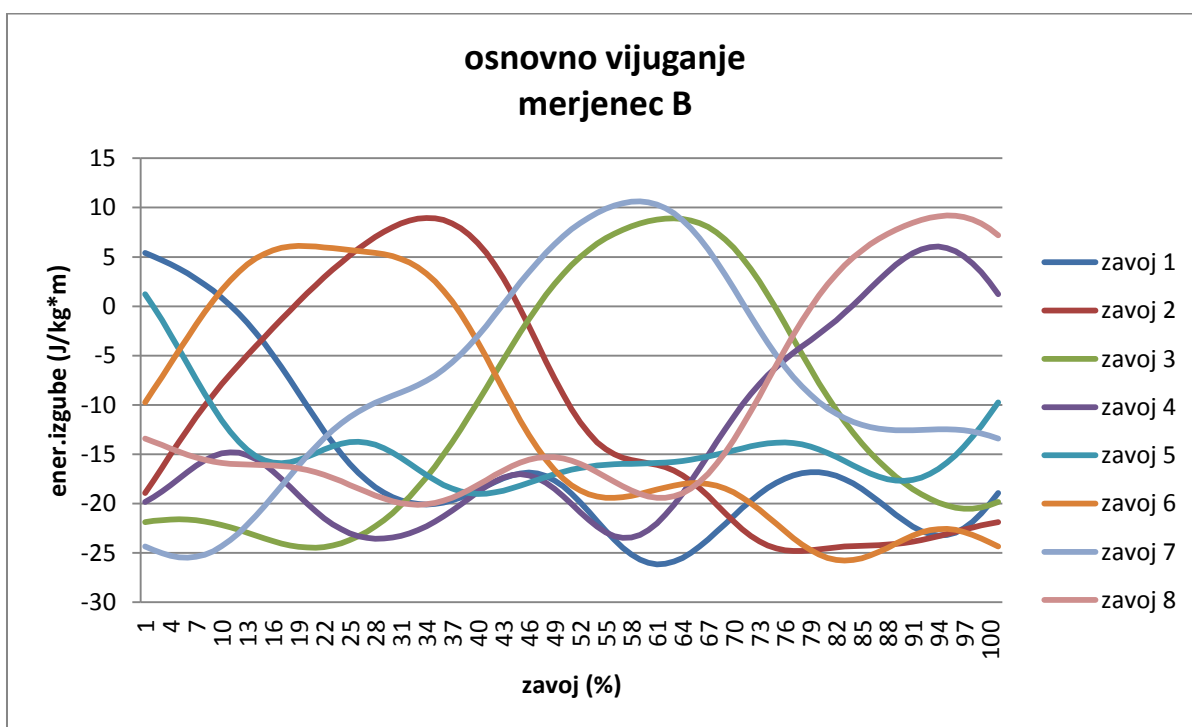


Diagram 158: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec B

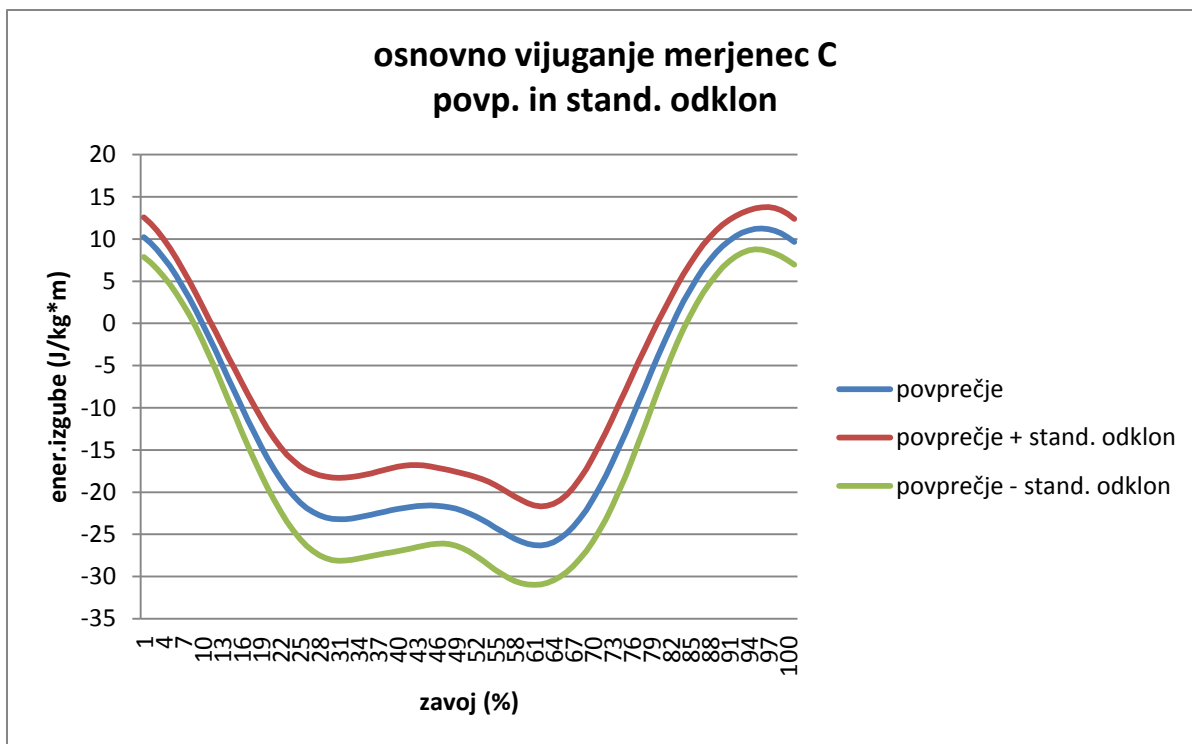


Diagram 159: Povprečje energijskih izgub pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec C

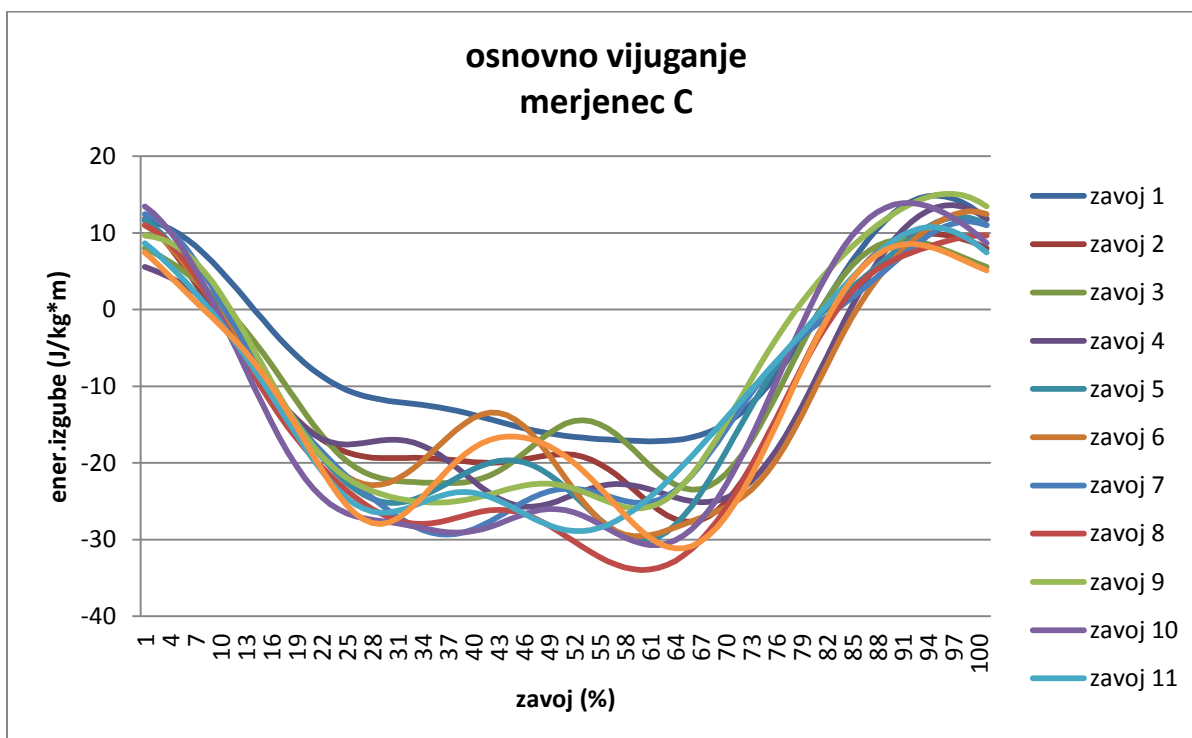


Diagram 160: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec C

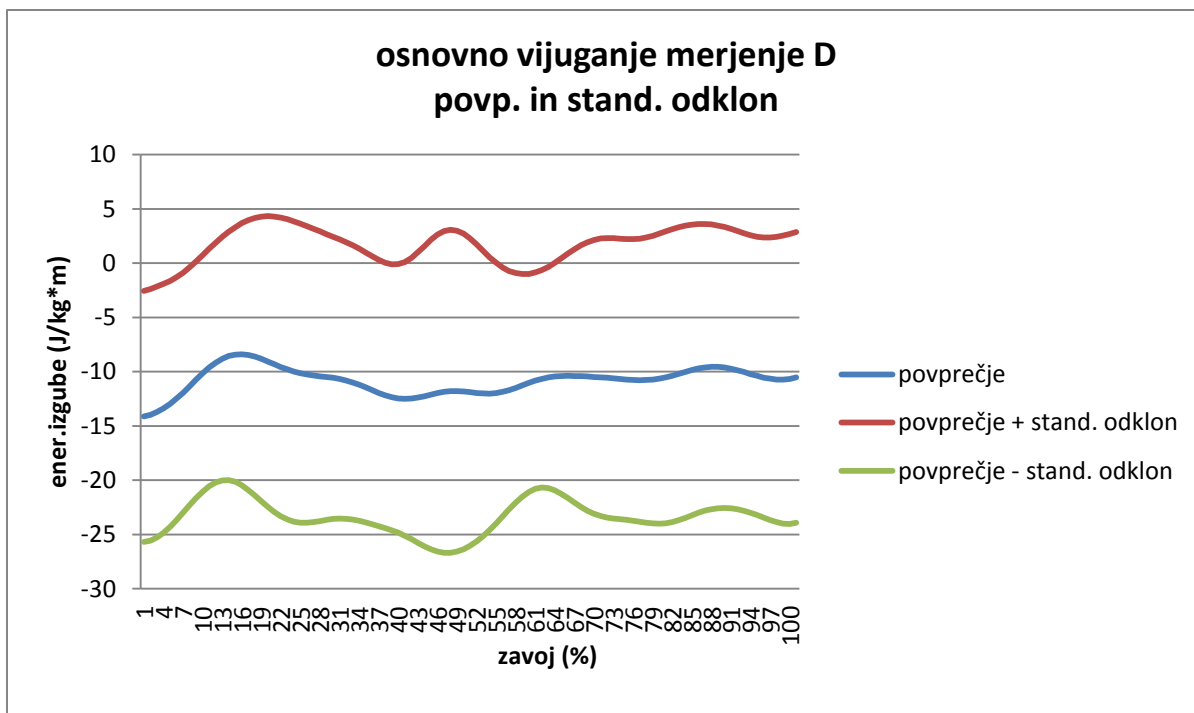


Diagram 161: Povprečje energijskih izgub pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec D

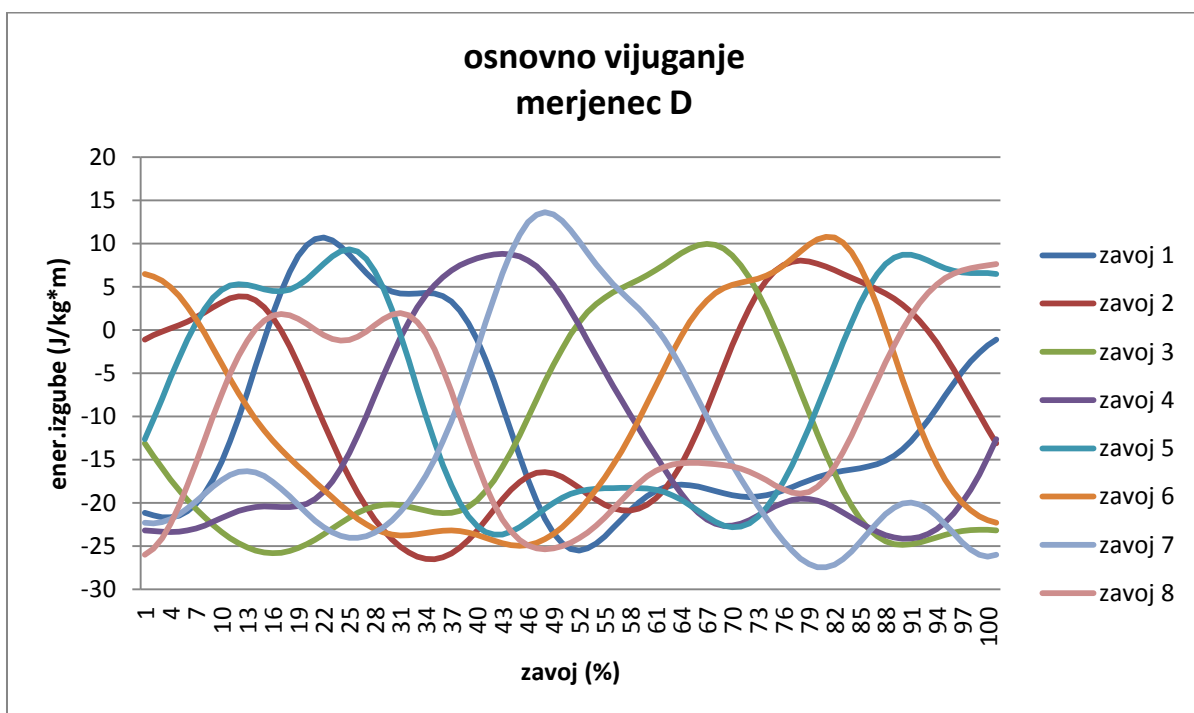


Diagram 162: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec D

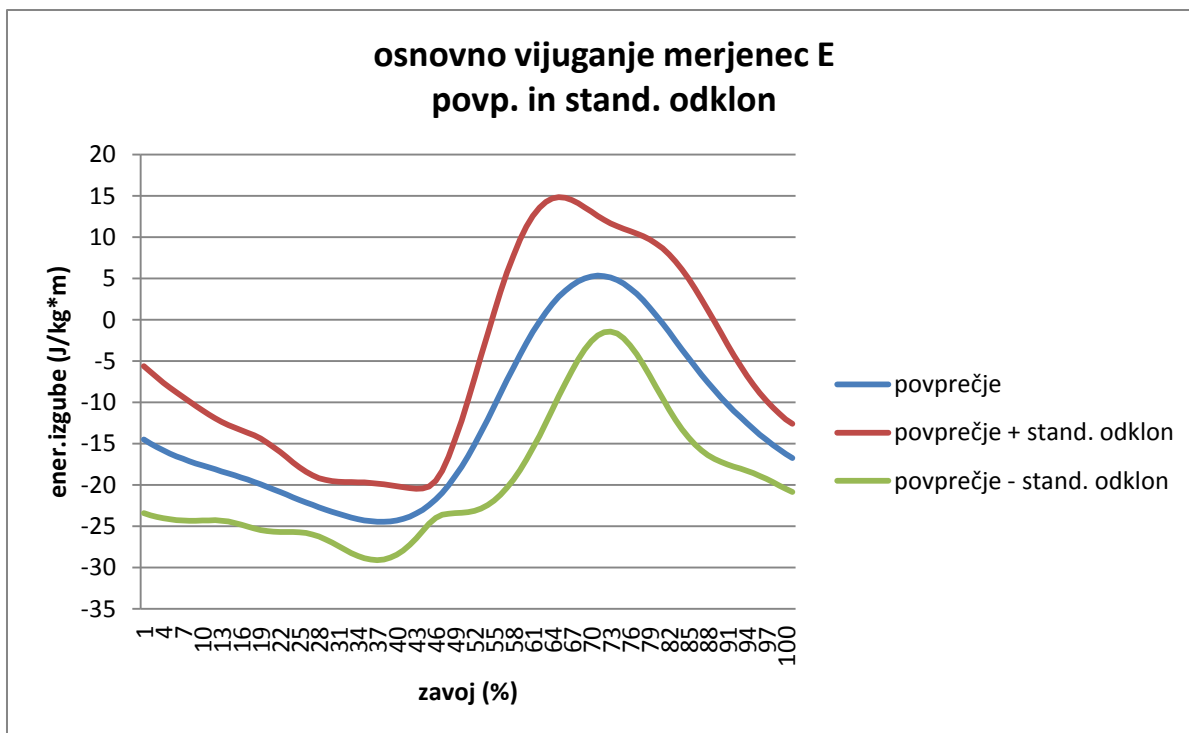


Diagram 163: Povprečje energijskih izgub pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec E

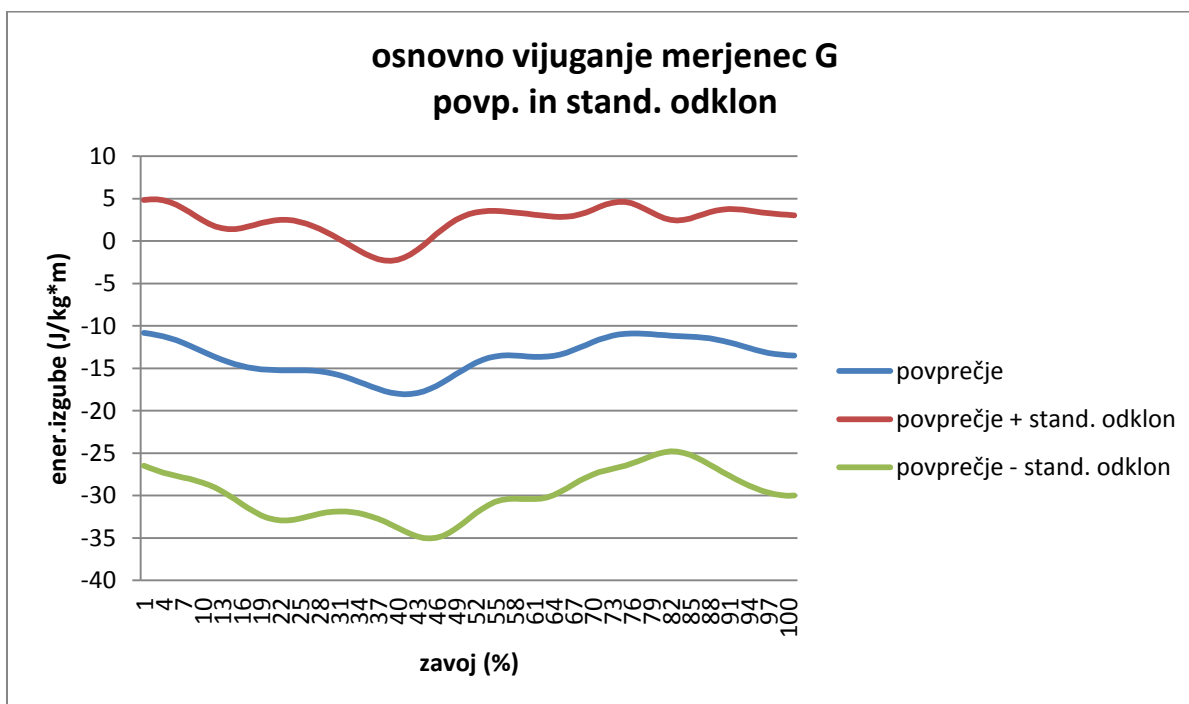


Diagram 164: Povprečje energijskih izgub pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec G

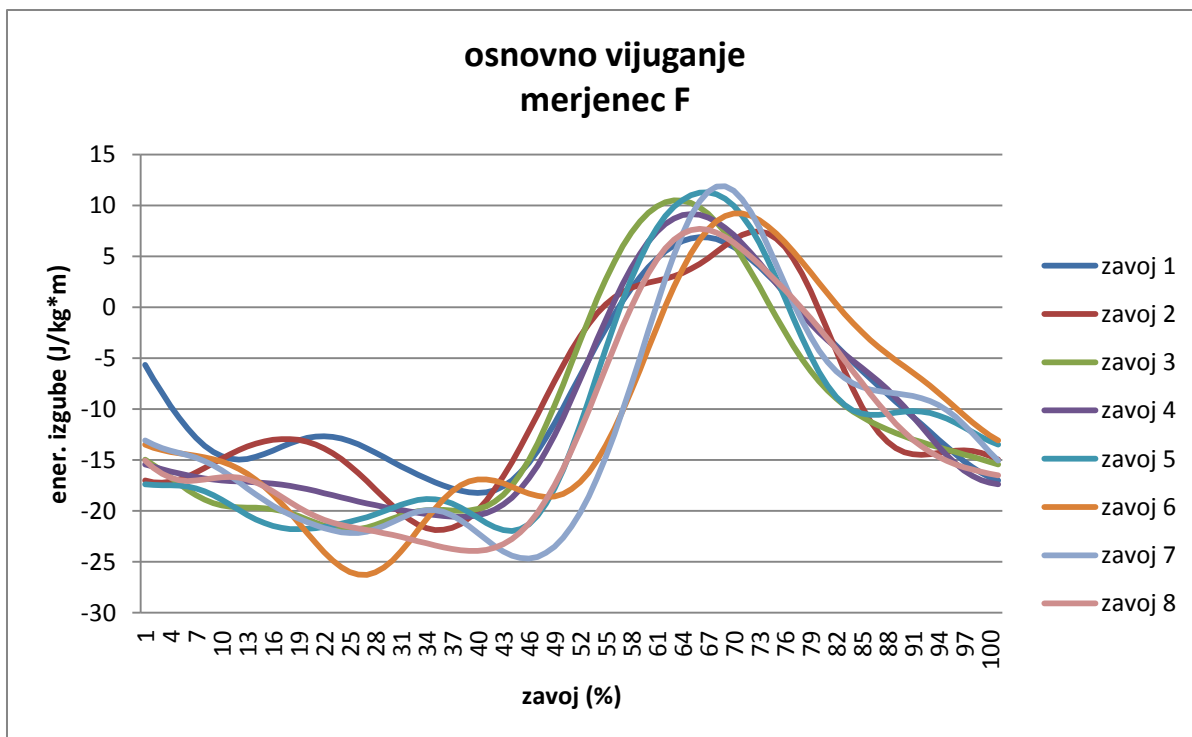


Diagram 165: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec F

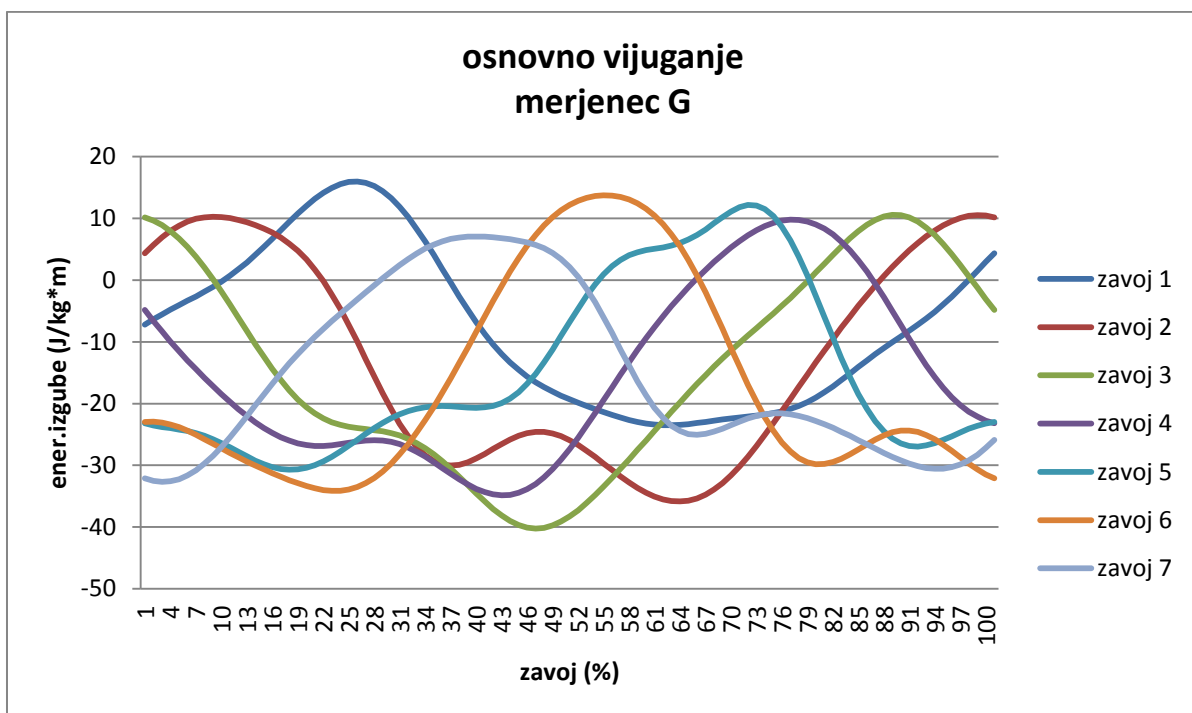


Diagram 166: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec G

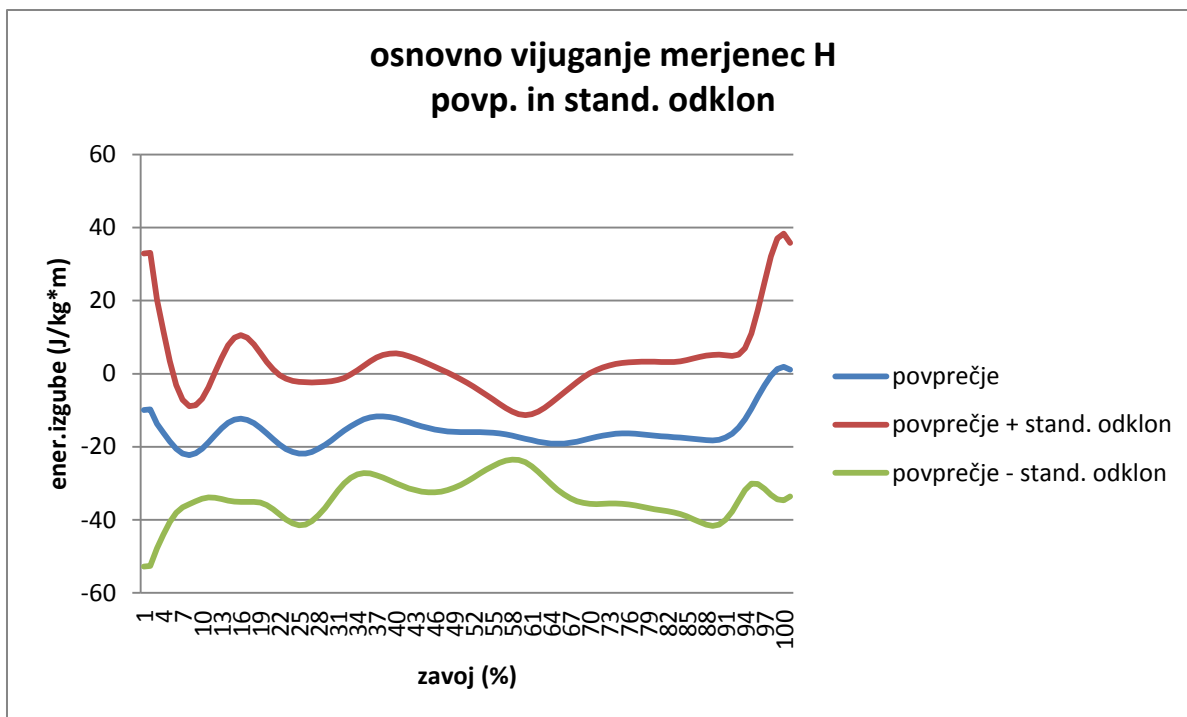


Diagram 167: Povprečje energijskih izgub pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec H

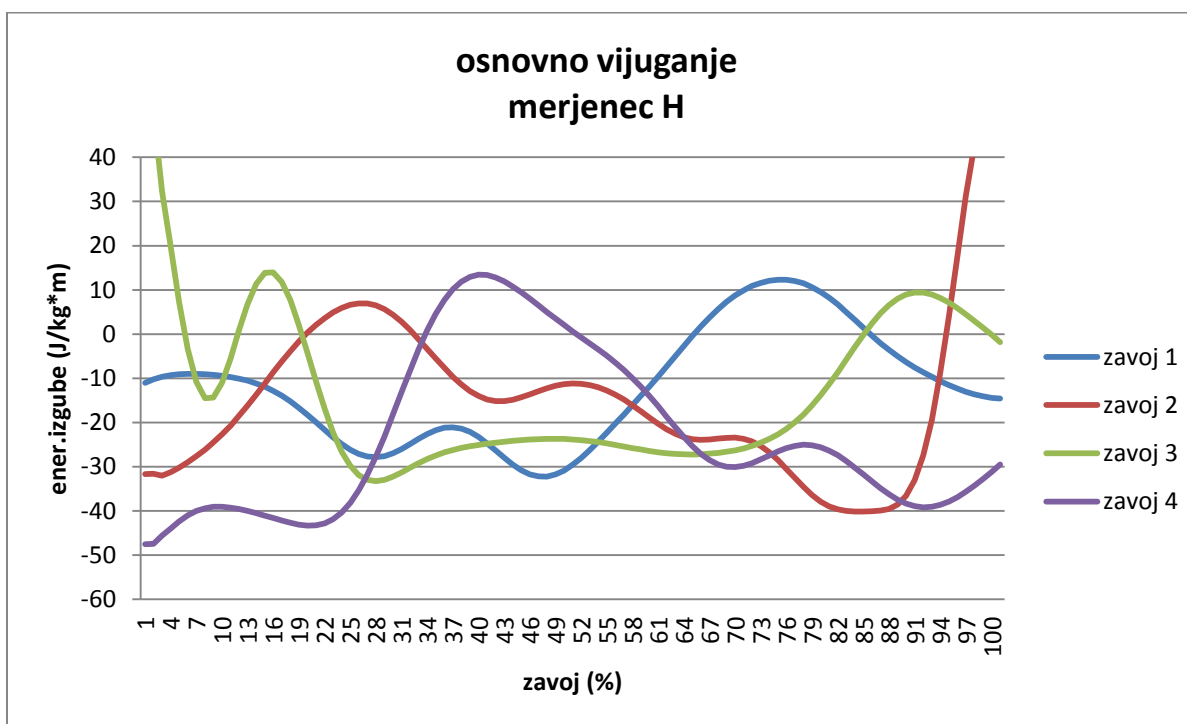


Diagram 168: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi osnovno vijuganje – merjenec H

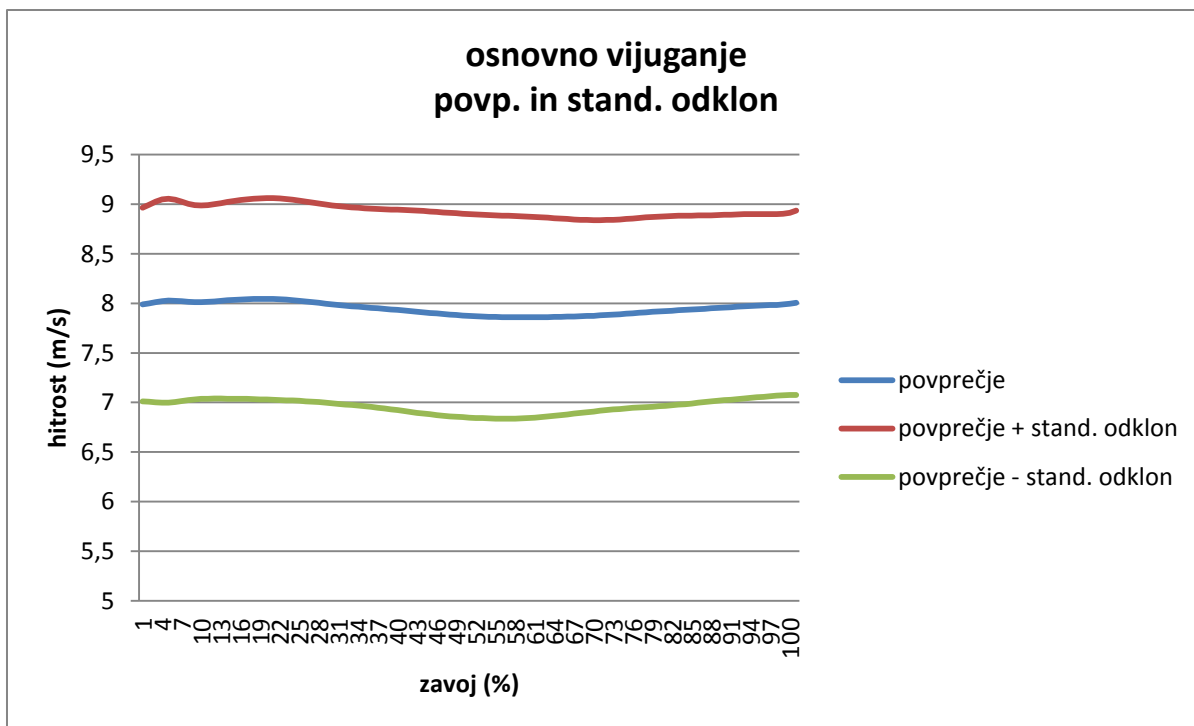


Diagram 169: Skupno povprečje hitrosti pri storitvi osnovno vijuganje

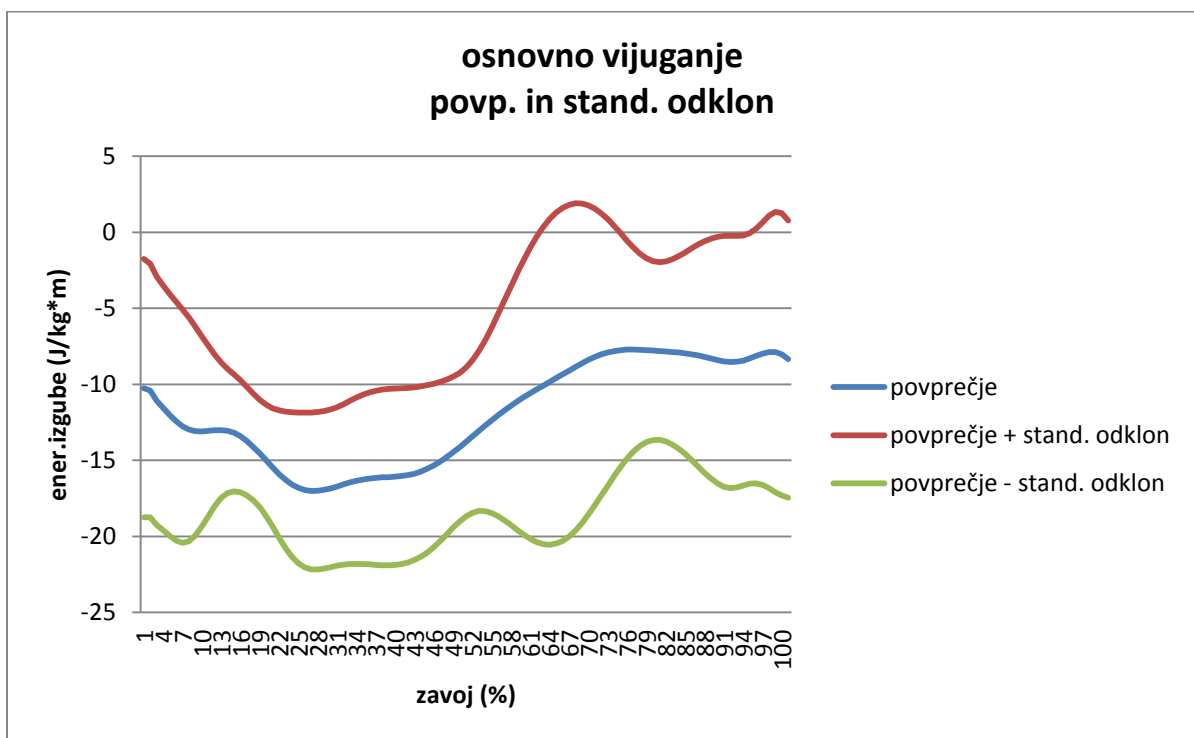


Diagram 170: Skupno povprečje energijskih izgub pri storitvi osnovno vijuganje

10.4. Terensko vijuganje v širšem hodniku

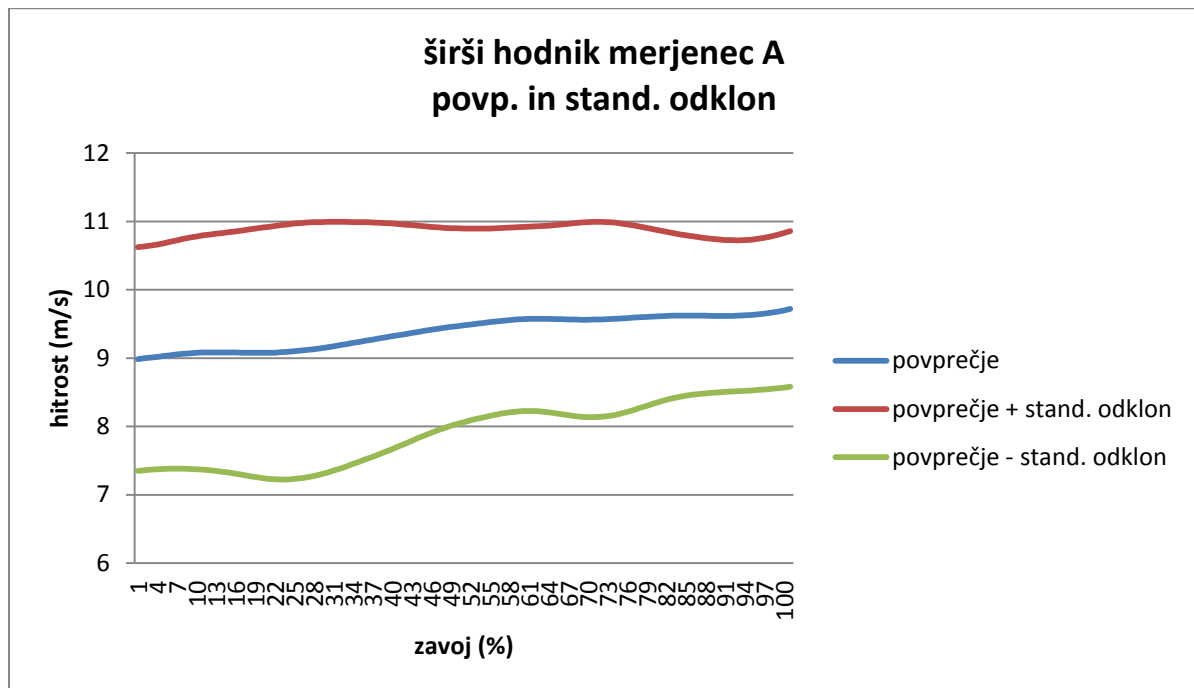


Diagram 171: Povprečje hitrosti pri storitvi širši hodnik – merjenec A

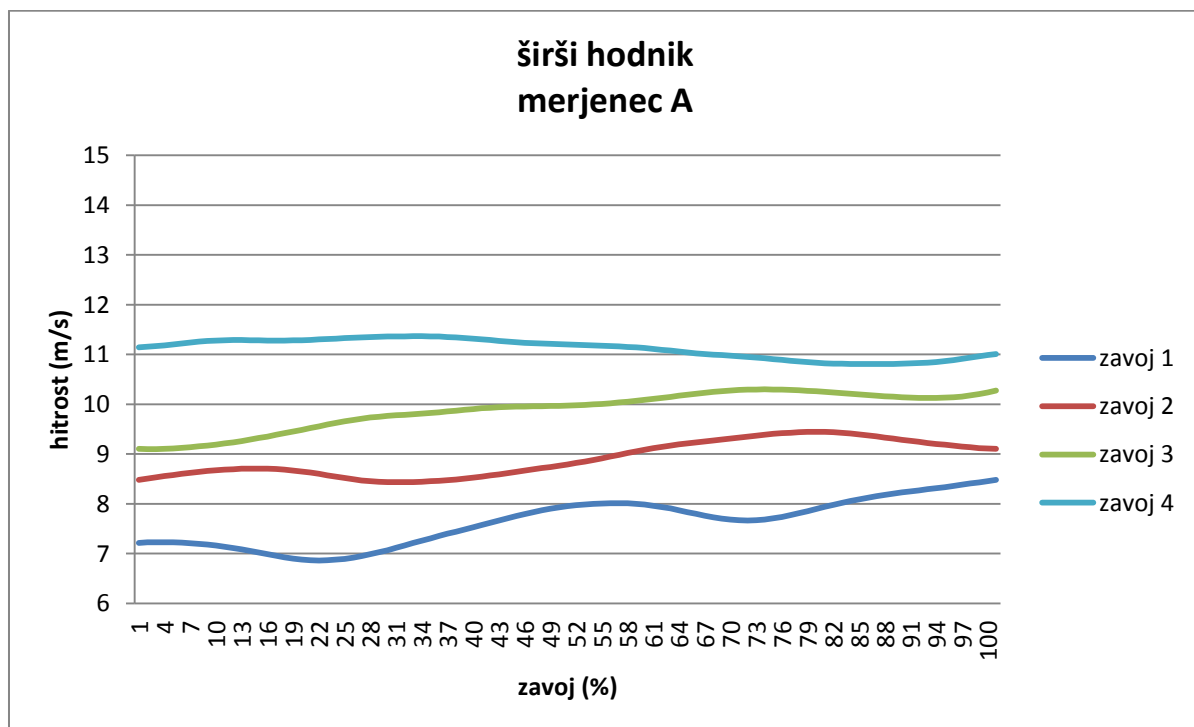


Diagram 172: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi širši hodnik – merjenec A

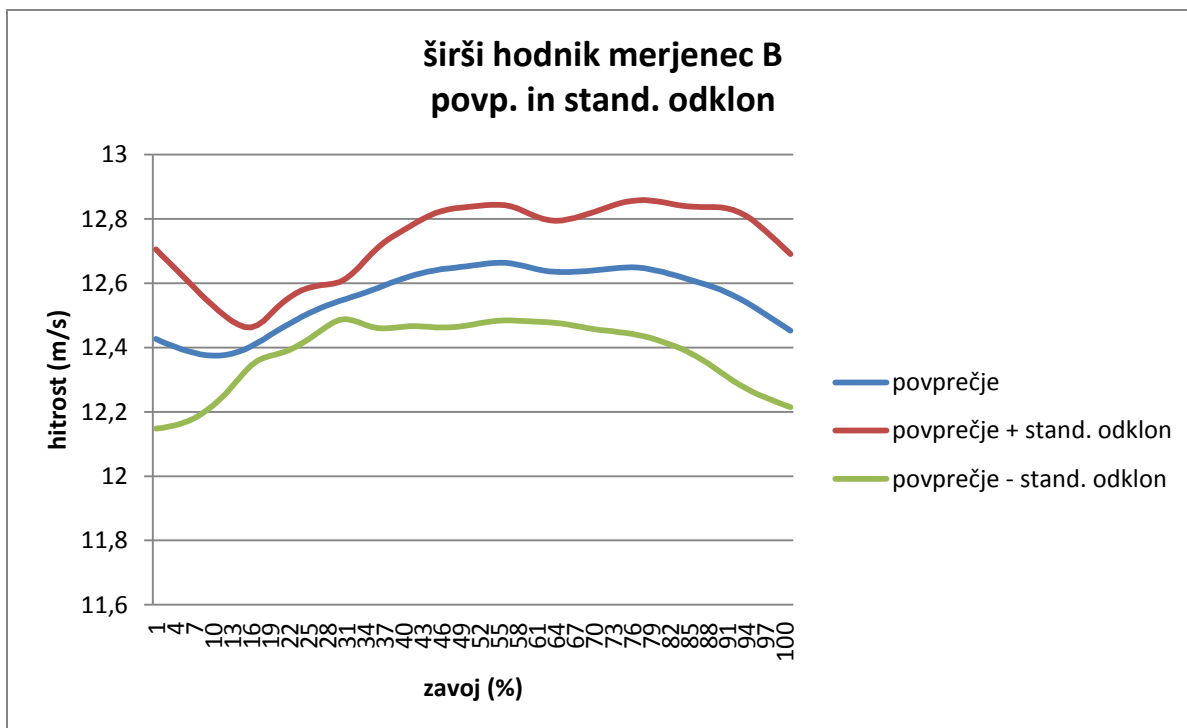


Diagram 173: Povprečje hitrosti pri storitvi širši hodnik – merjenec B

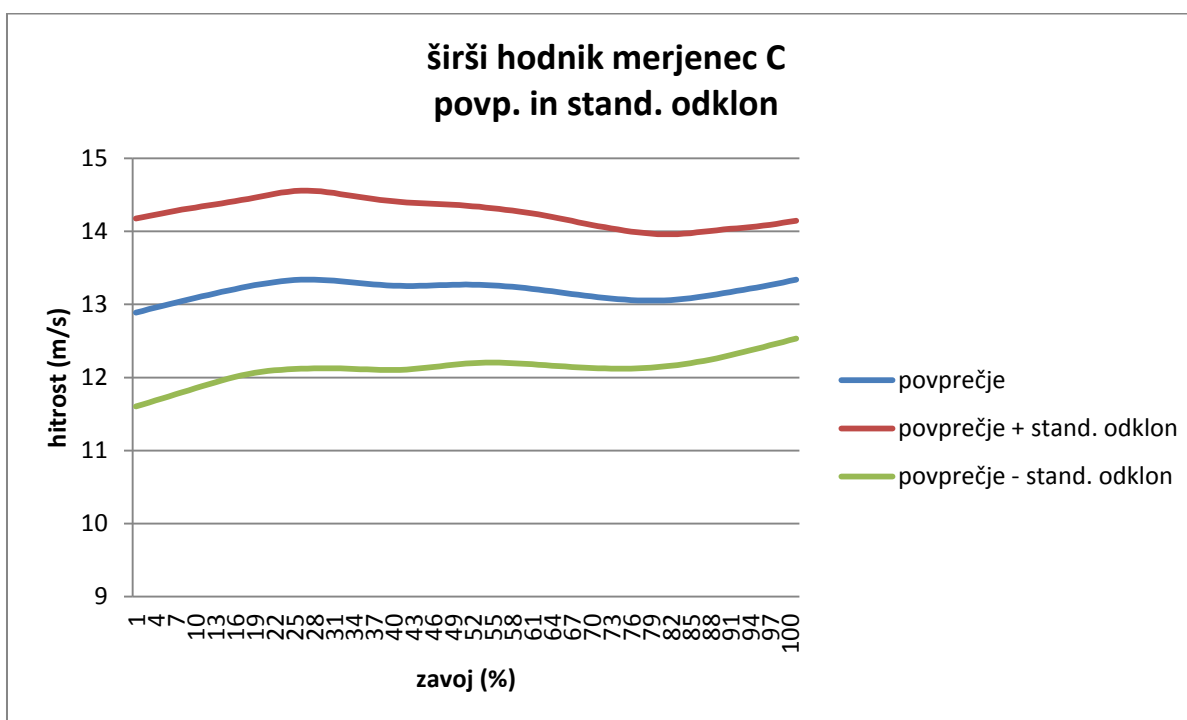


Diagram 174: Povprečje hitrosti pri storitvi širši hodnik – merjenec C

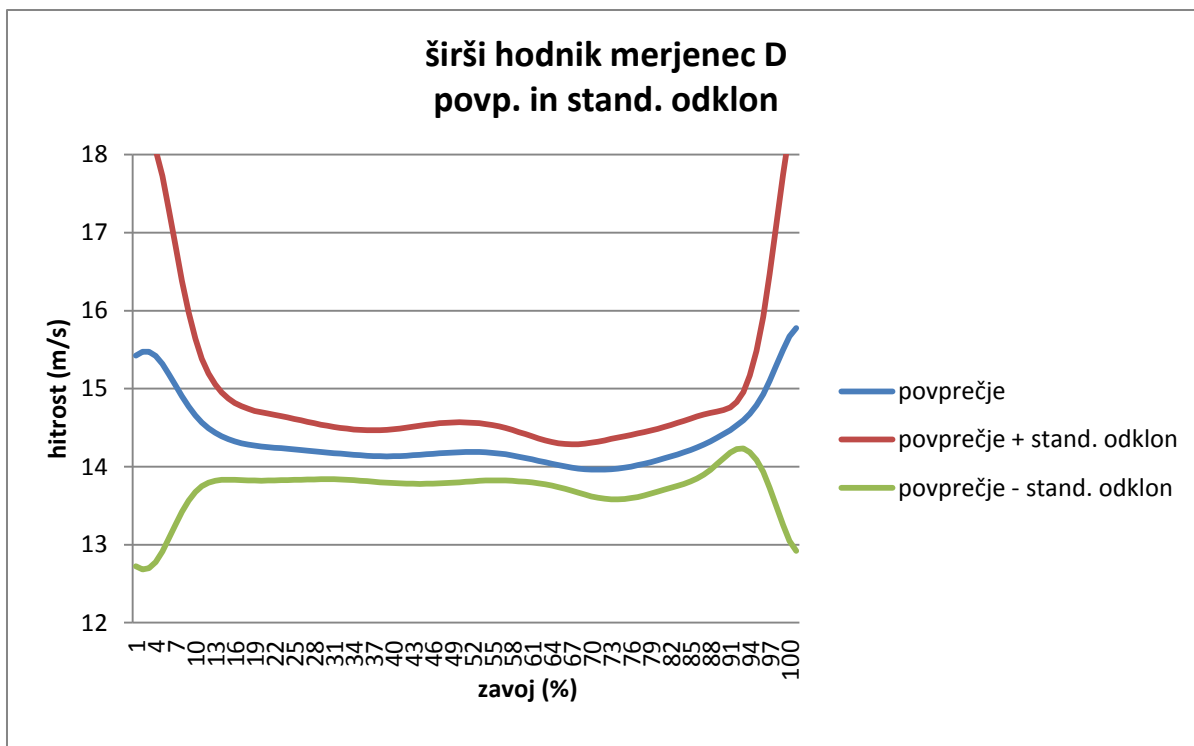


Diagram 175: Povprečje hitrosti pri storitvi širši hodnik – merjenec D

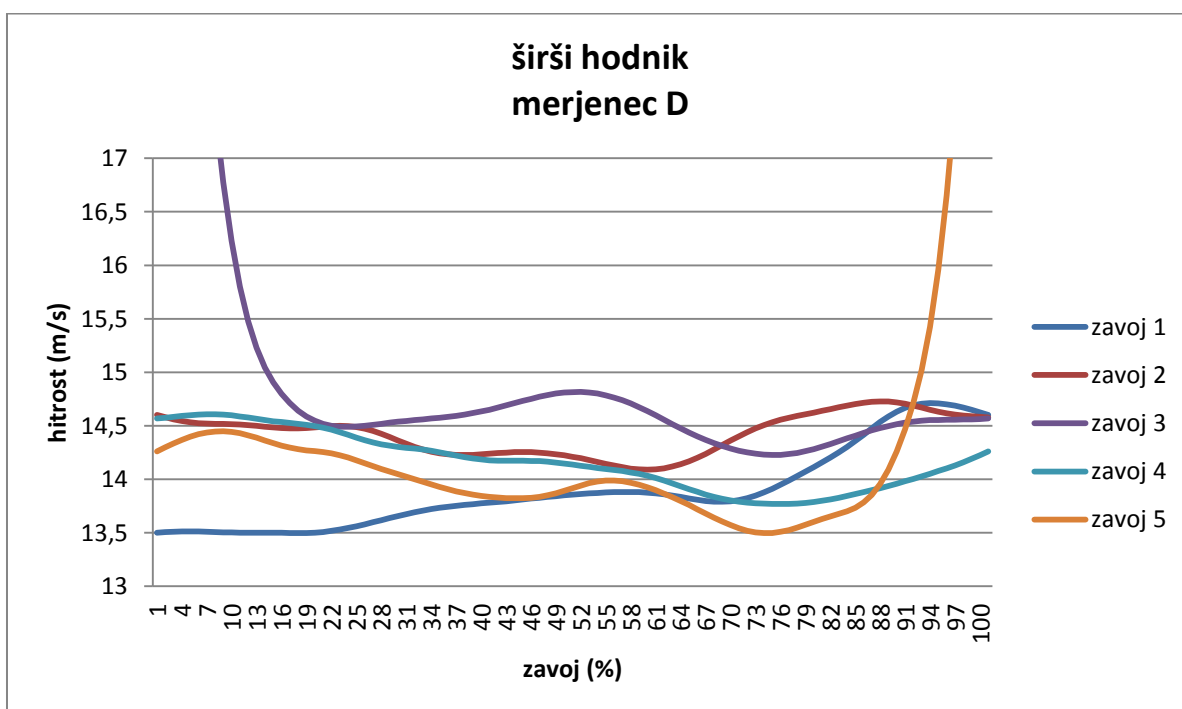


Diagram 176: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi širši hodnik – merjenec D

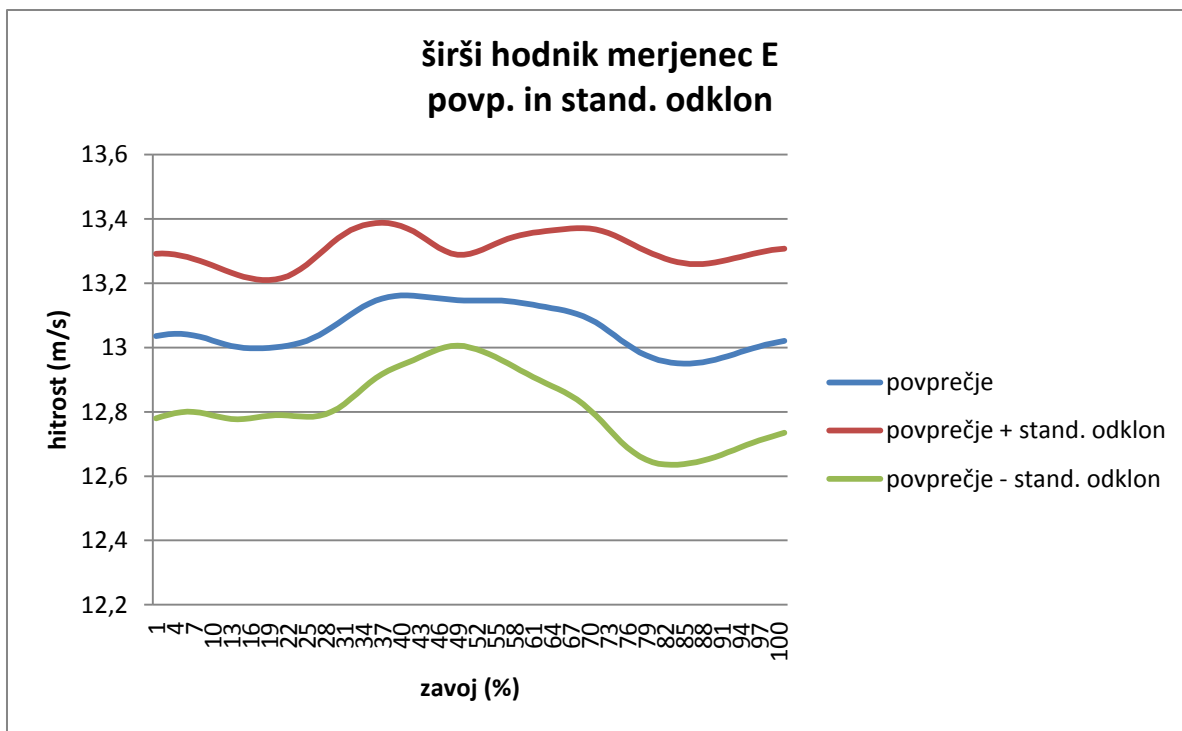


Diagram 177: Povprečje hitrosti pri storitvi širši hodnik – merjenec E

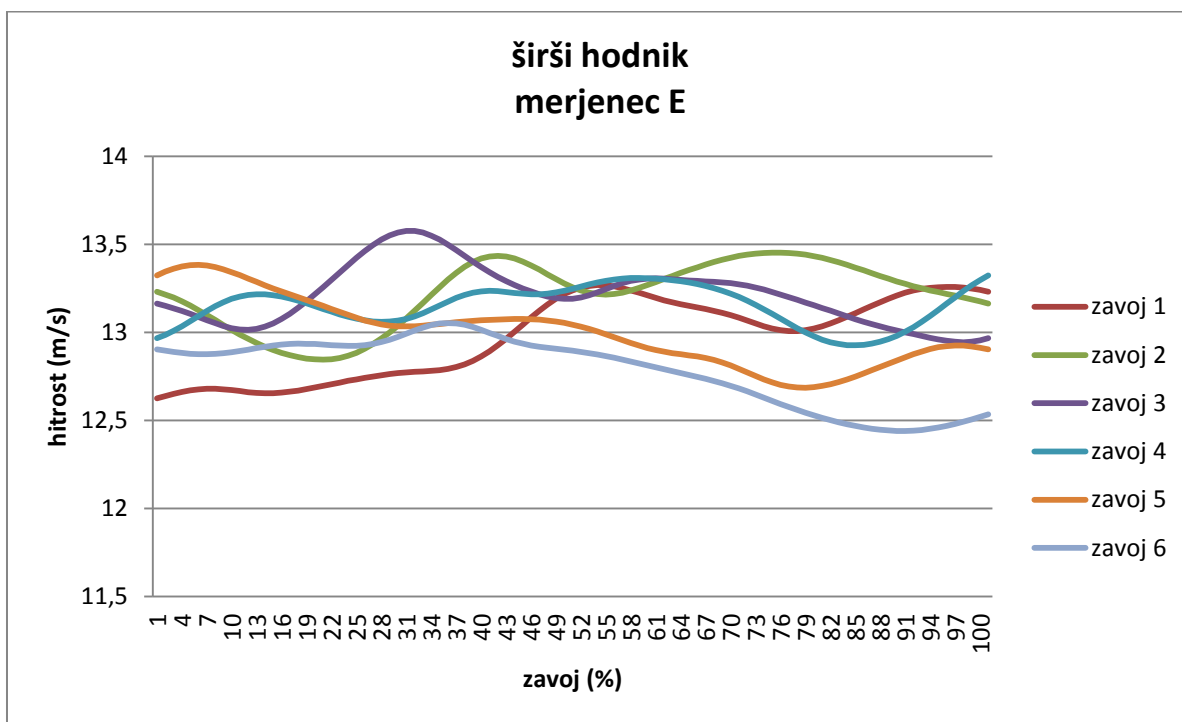


Diagram 178: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi širši hodnik – merjenec E

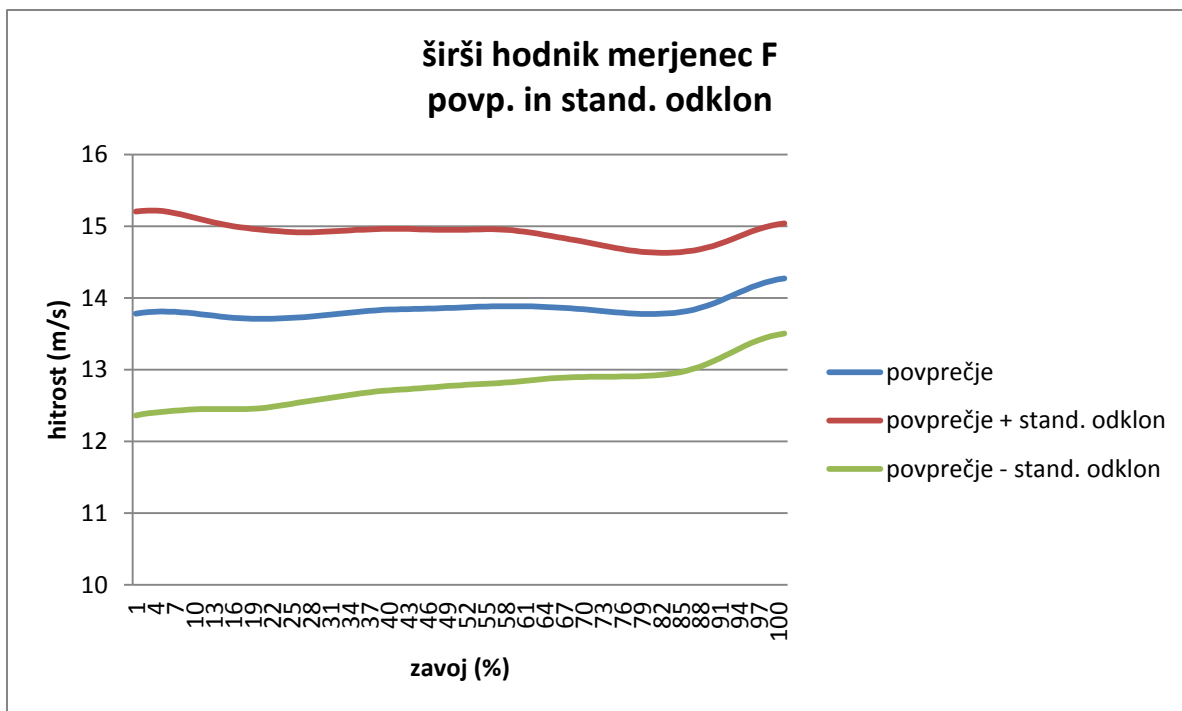


Diagram 179: Povprečje hitrosti pri storitvi širši hodnik – merjenec F

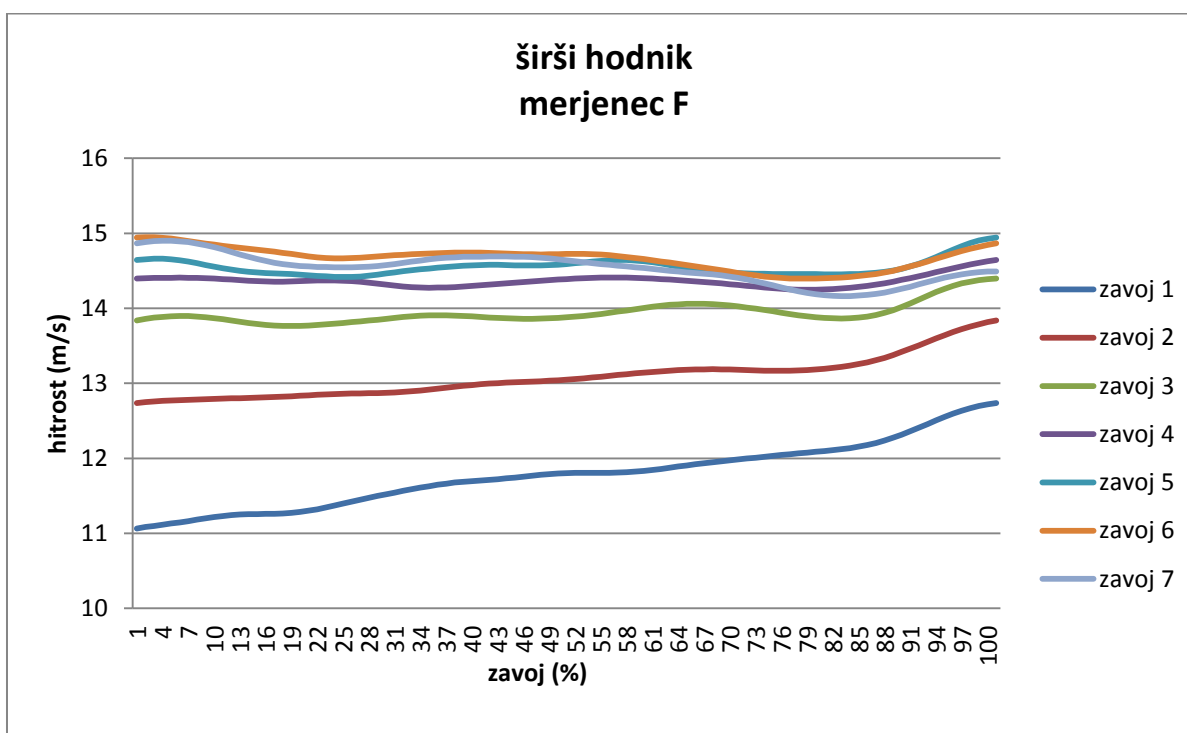


Diagram 180: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi širši hodnik – merjenec F

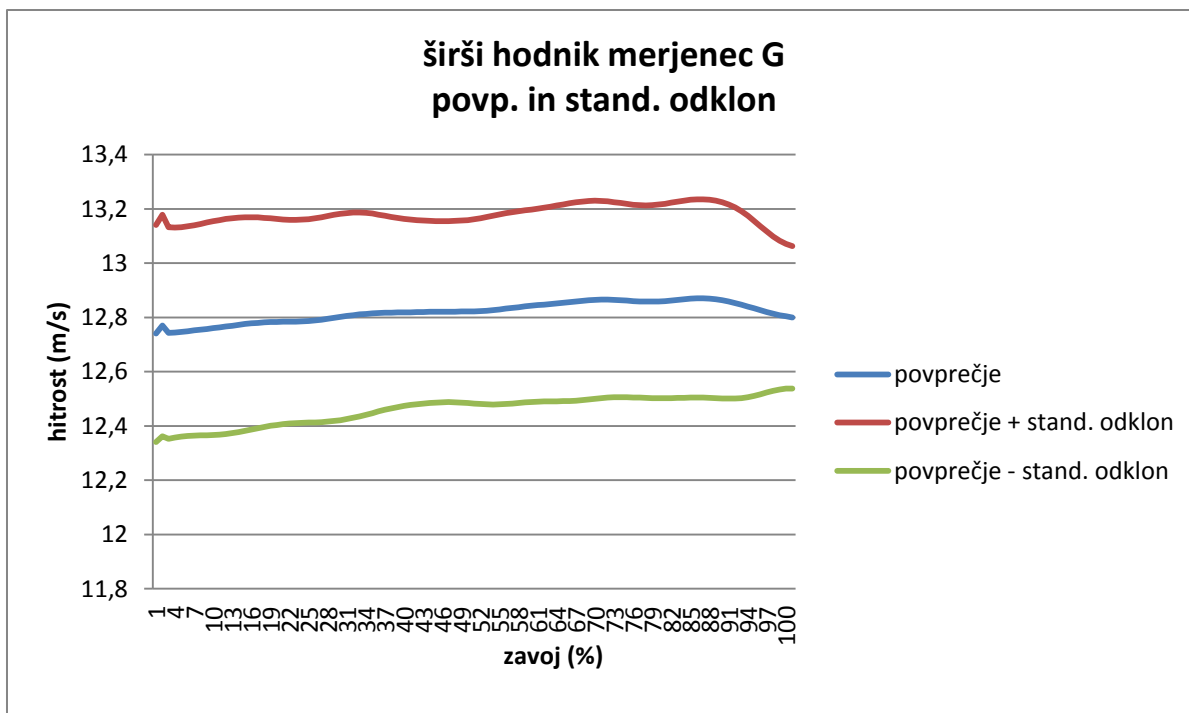


Diagram 181: Povprečje hitrosti pri storitvi širši hodnik – merjenec G

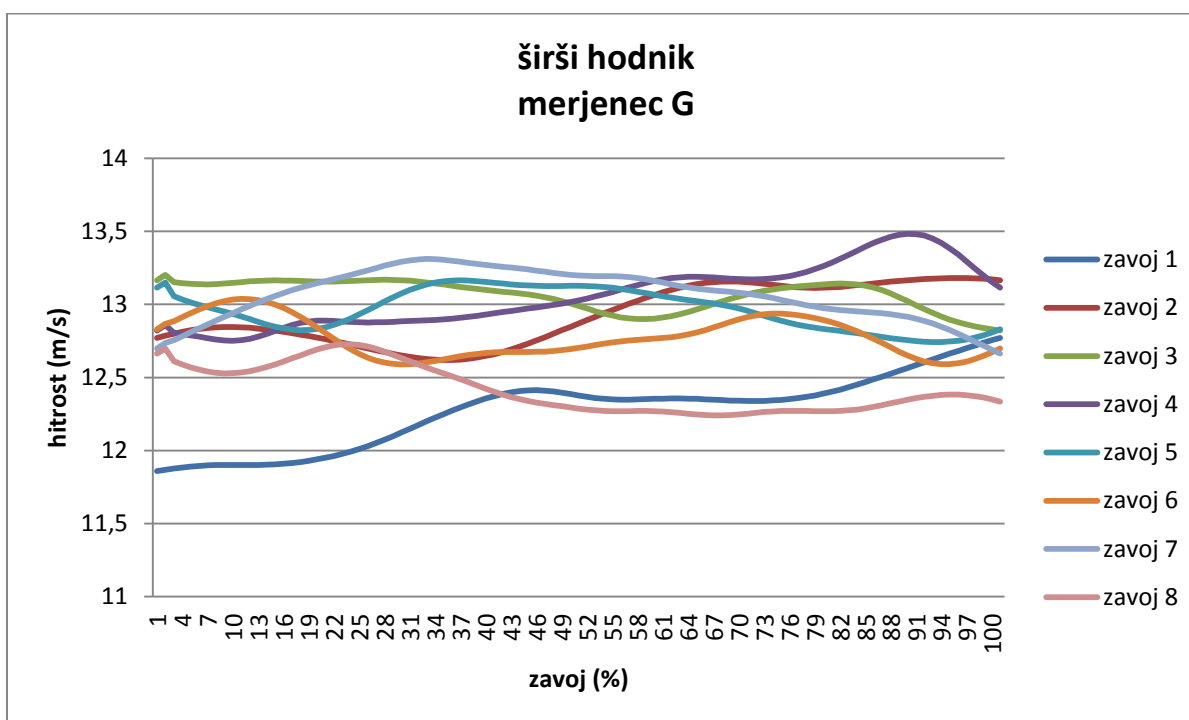


Diagram 182: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi širši hodnik – merjenec G

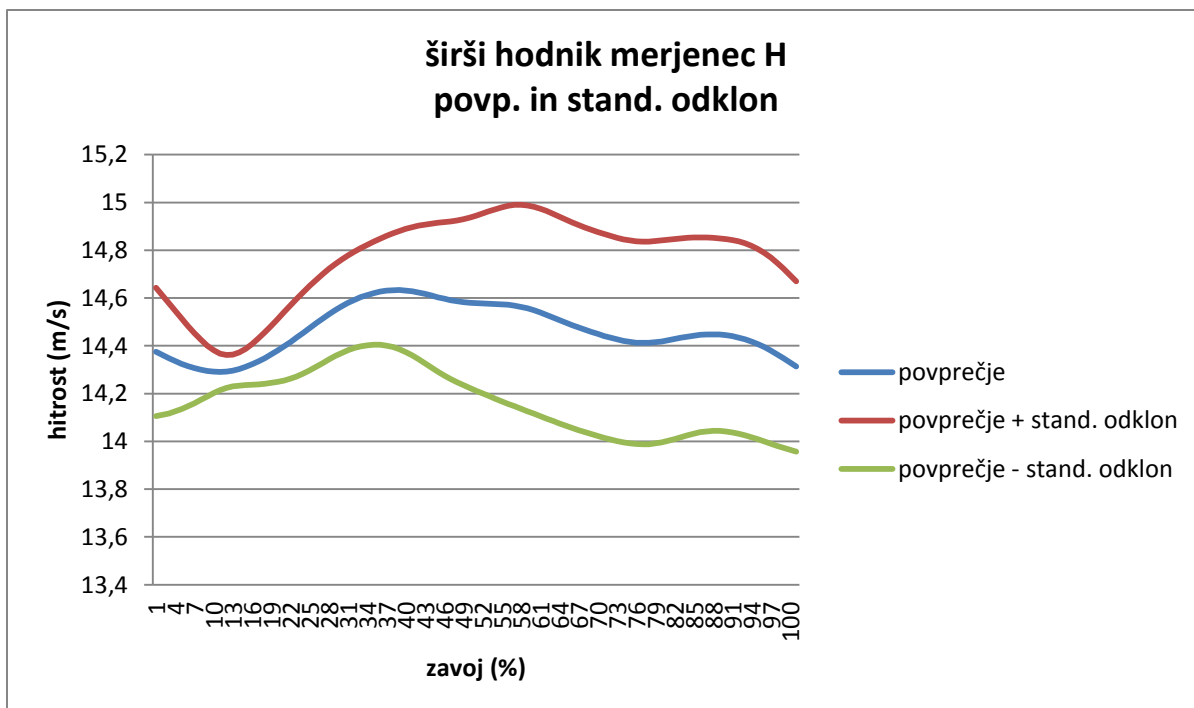


Diagram 183: Povprečje hitrosti pri storitvi širši hodnik – merjenec H

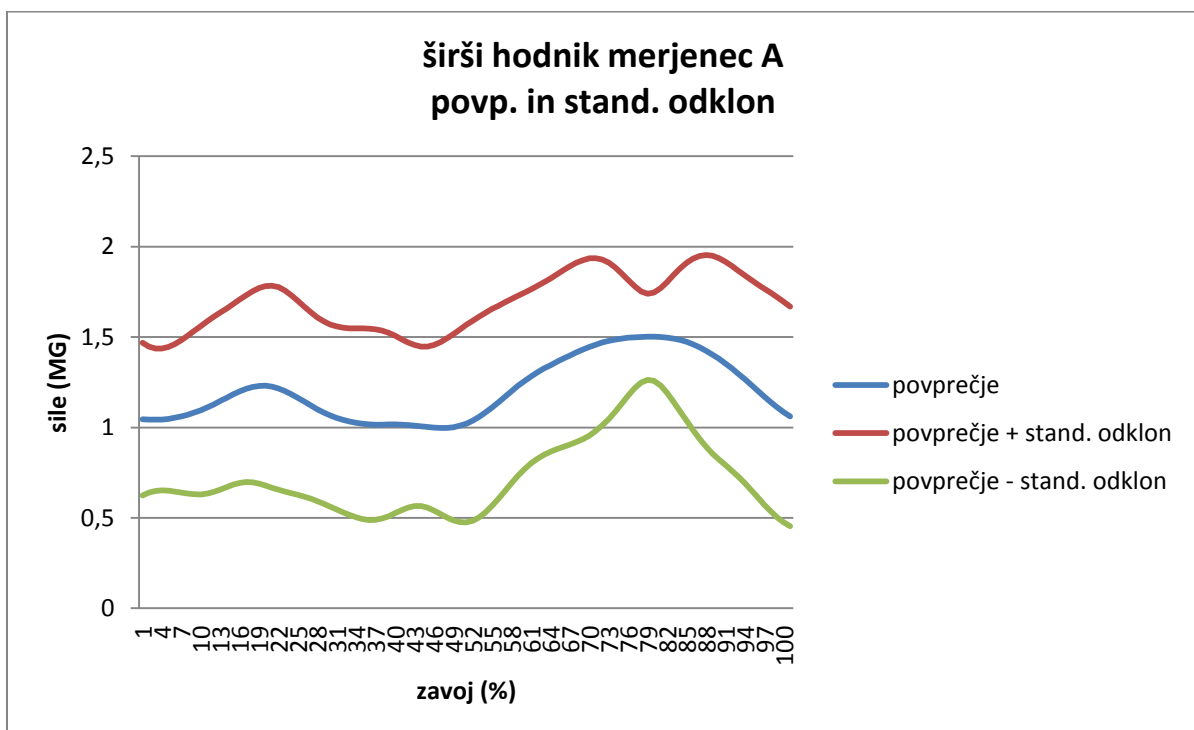


Diagram 184: Povprečje sil pri storitvi širši hodnik – merjenec A

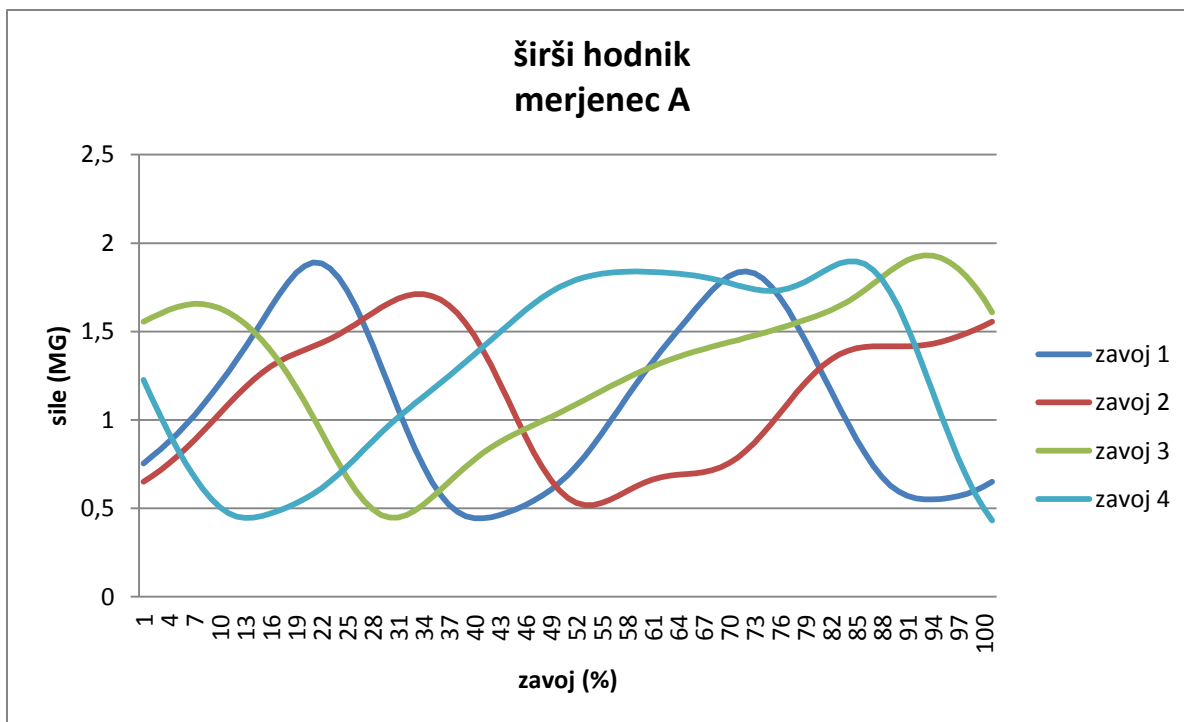


Diagram 185: Sile posameznih zavojev pri storitvi širši hodnik – merjenec A

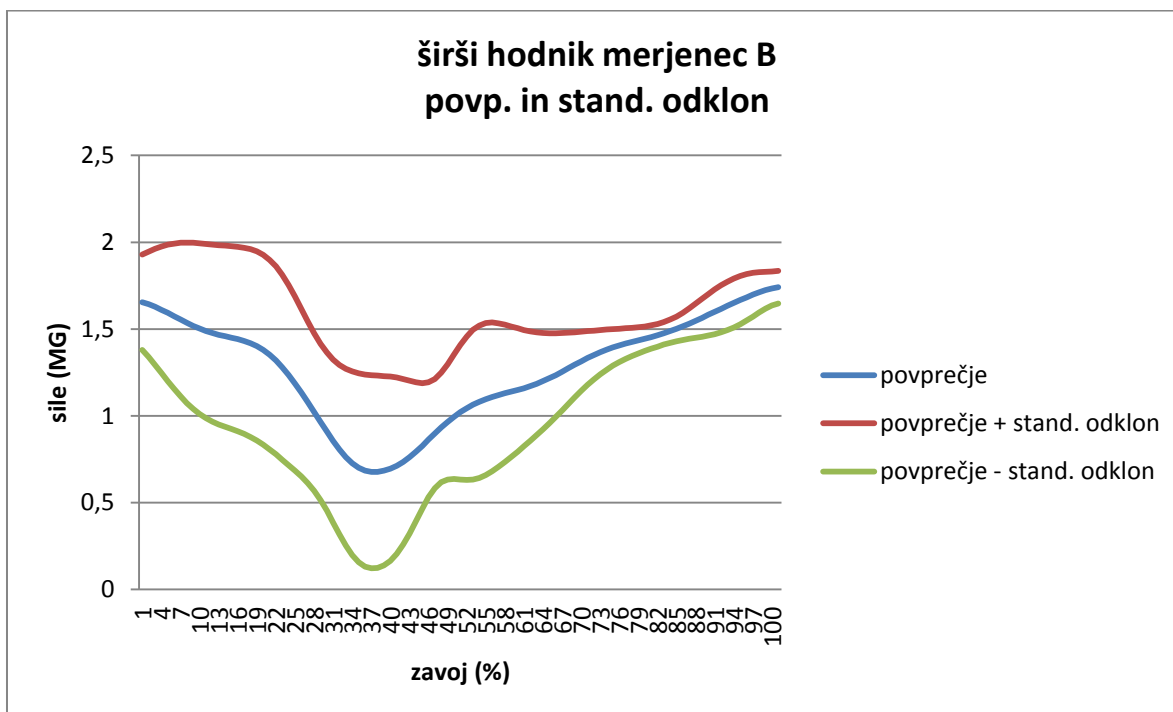


Diagram 186: Povprečje sil pri storitvi širši hodnik – merjenec B

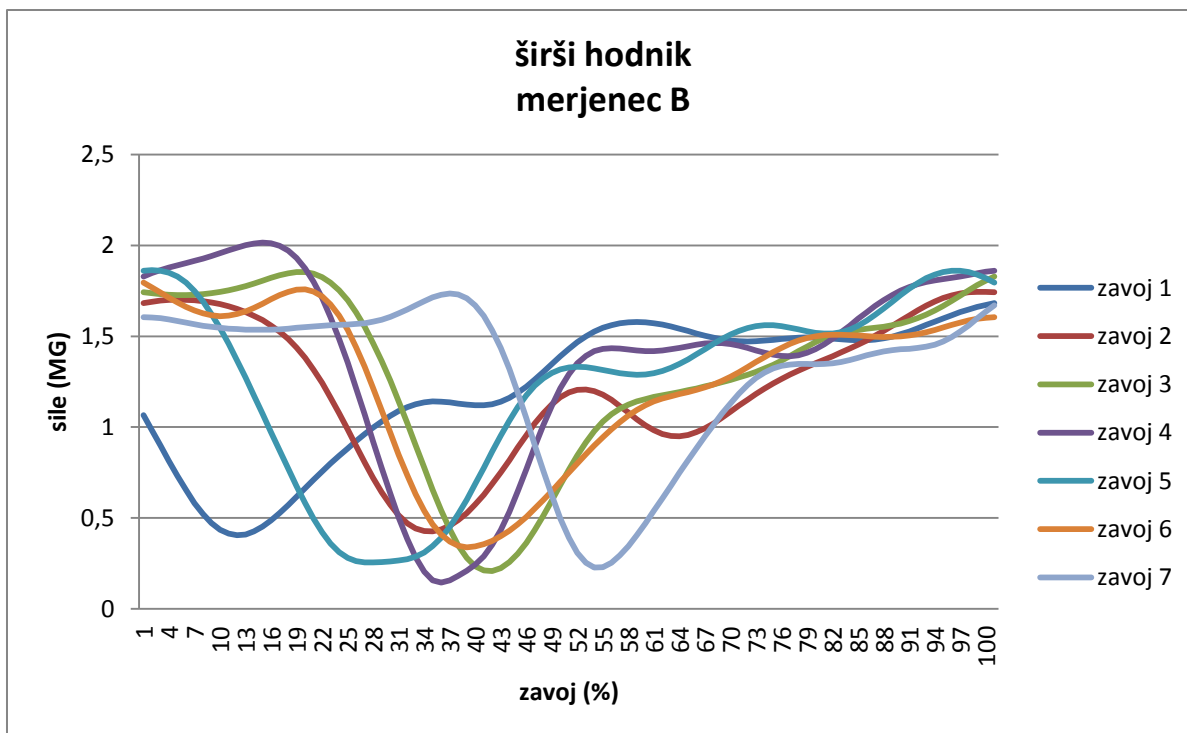


Diagram 187: Sile posameznih zavojev pri storitvi širši hodnik – merjenec B

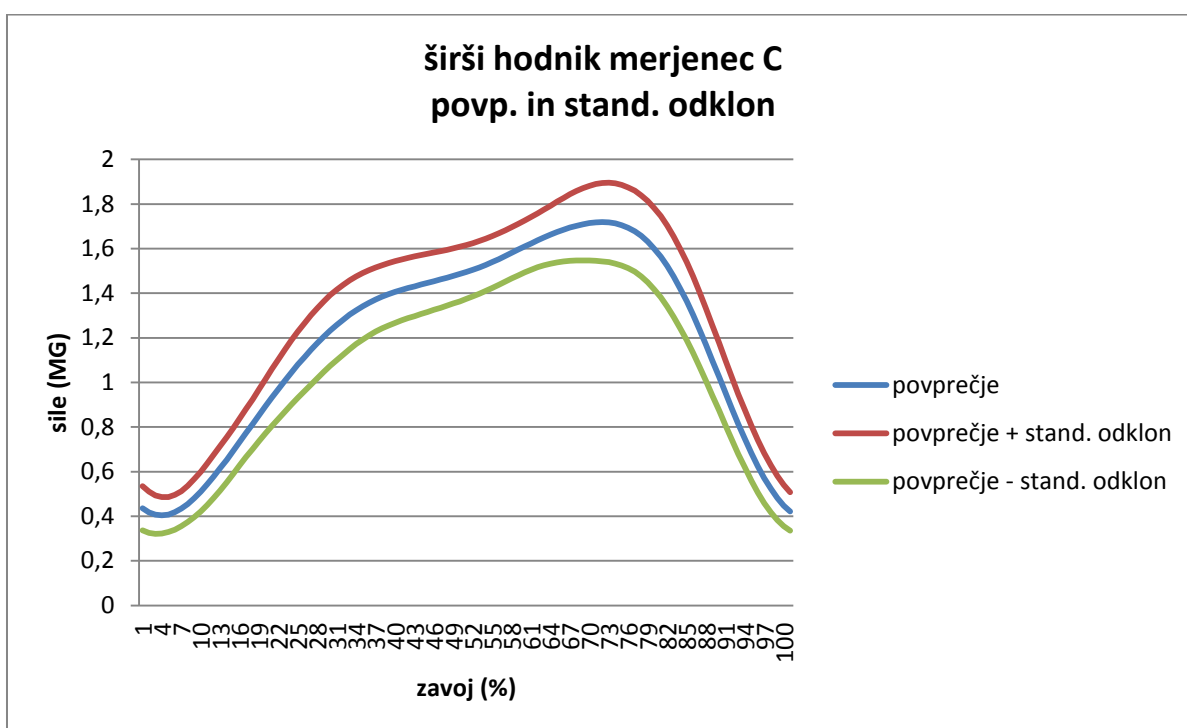


Diagram 188: Povprečje sil pri storitvi širši hodnik – merjenec C

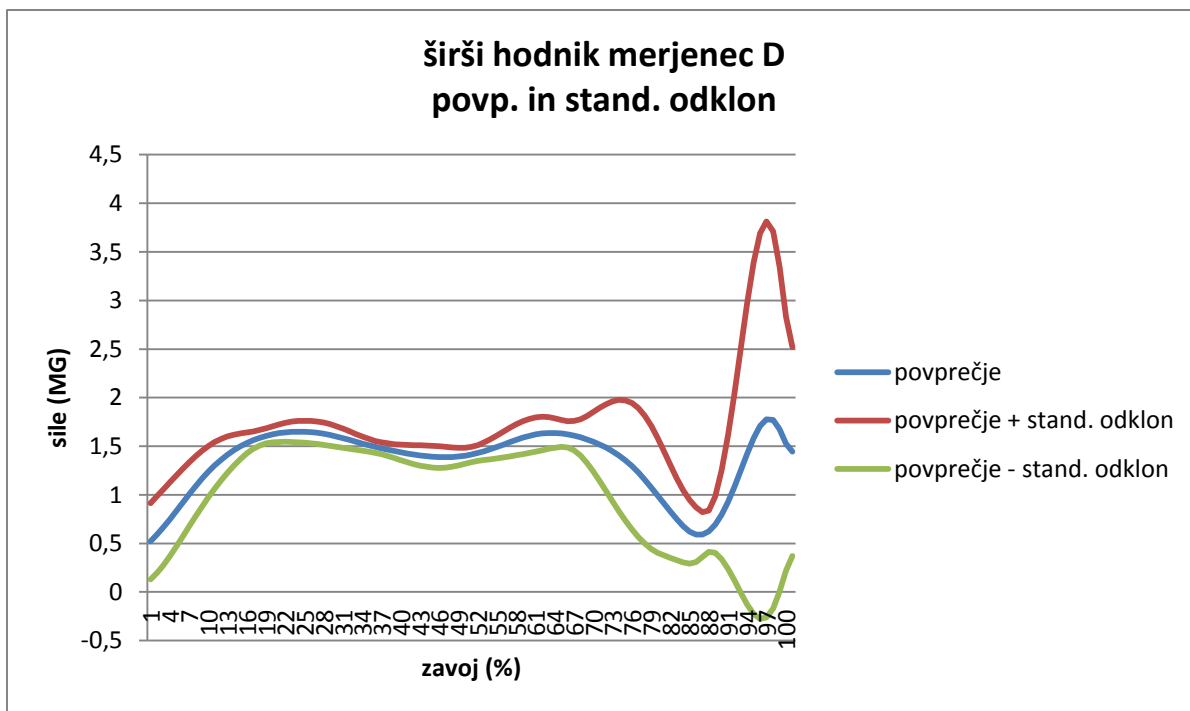


Diagram 189: Povprečje sil pri storitvi širši hodnik – merjenec D

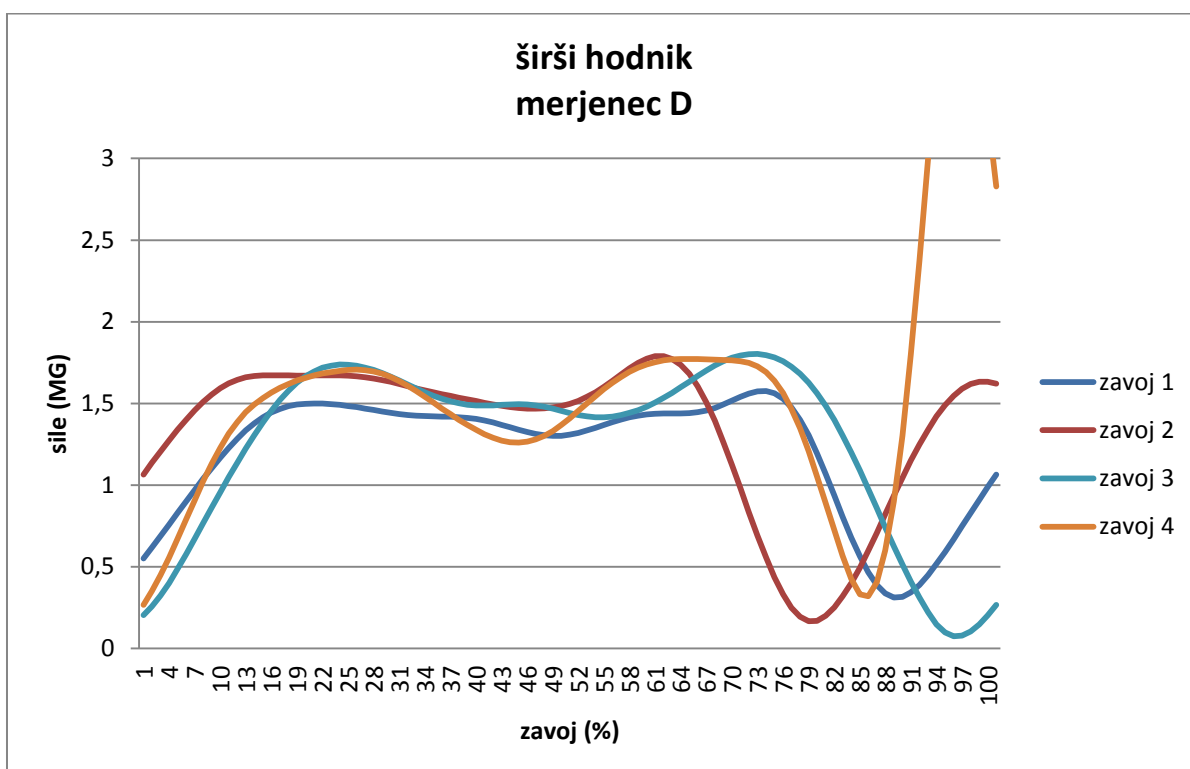


Diagram 190: Sile posameznih zavojev pri storitvi širši hodnik – merjenec D

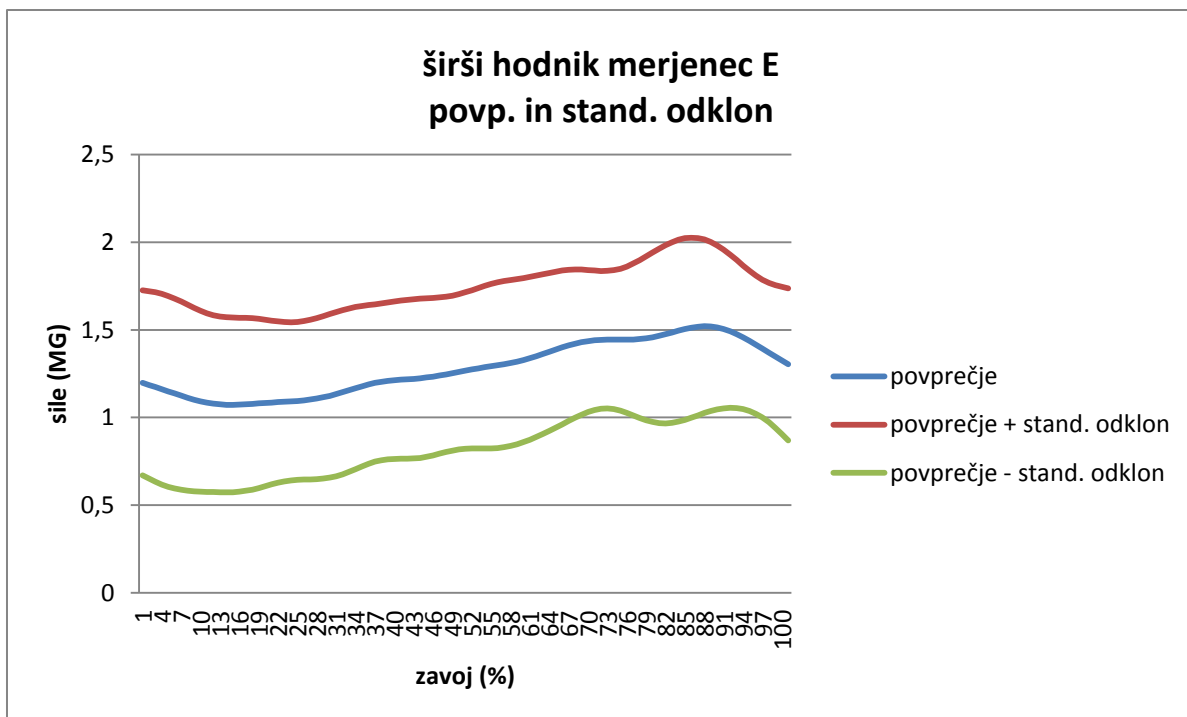


Diagram 191: Povprečje sil pri storitvi širši hodnik – merjenec E

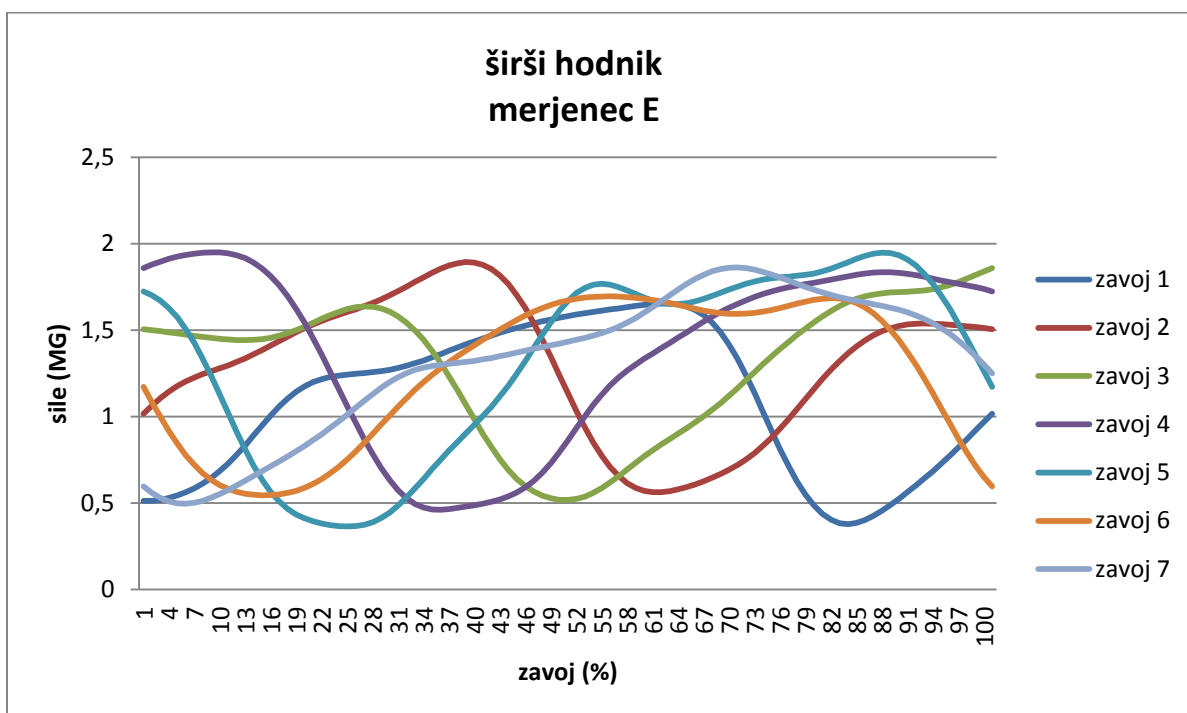


Diagram 192: Sile posameznih zavojev pri storitvi širši hodnik – merjenec E

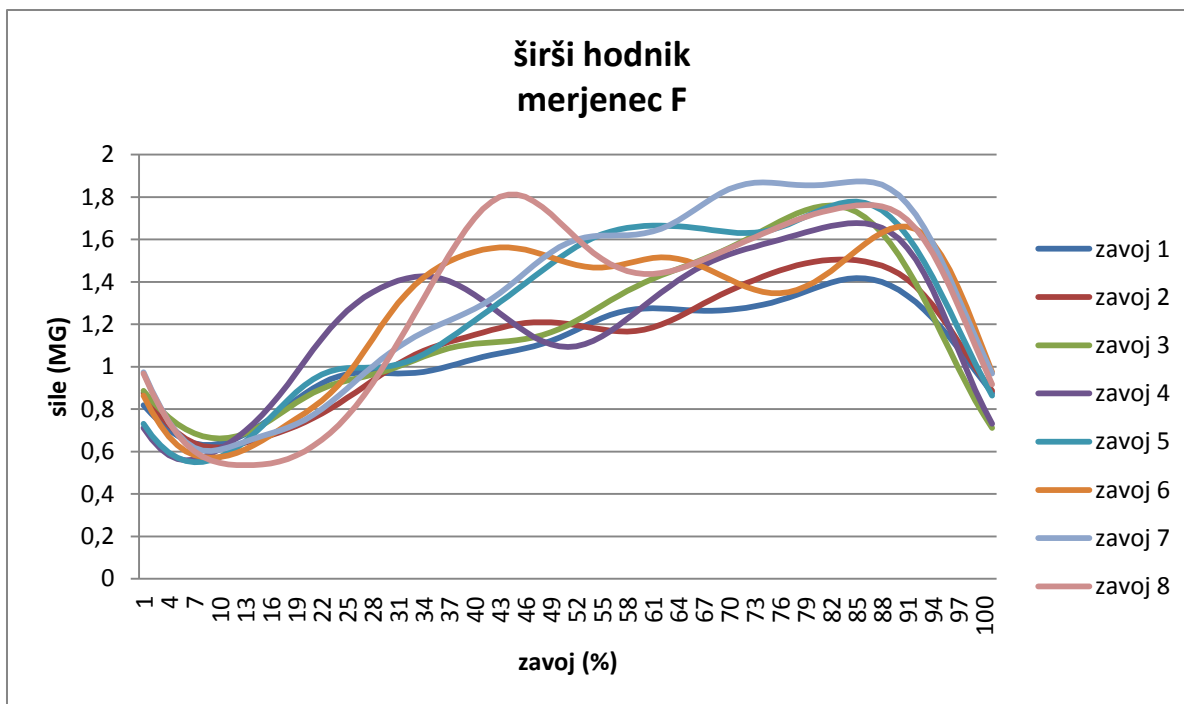


Diagram 193: Sile posameznih zavojev pri storitvi širši hodnik – merjenec F

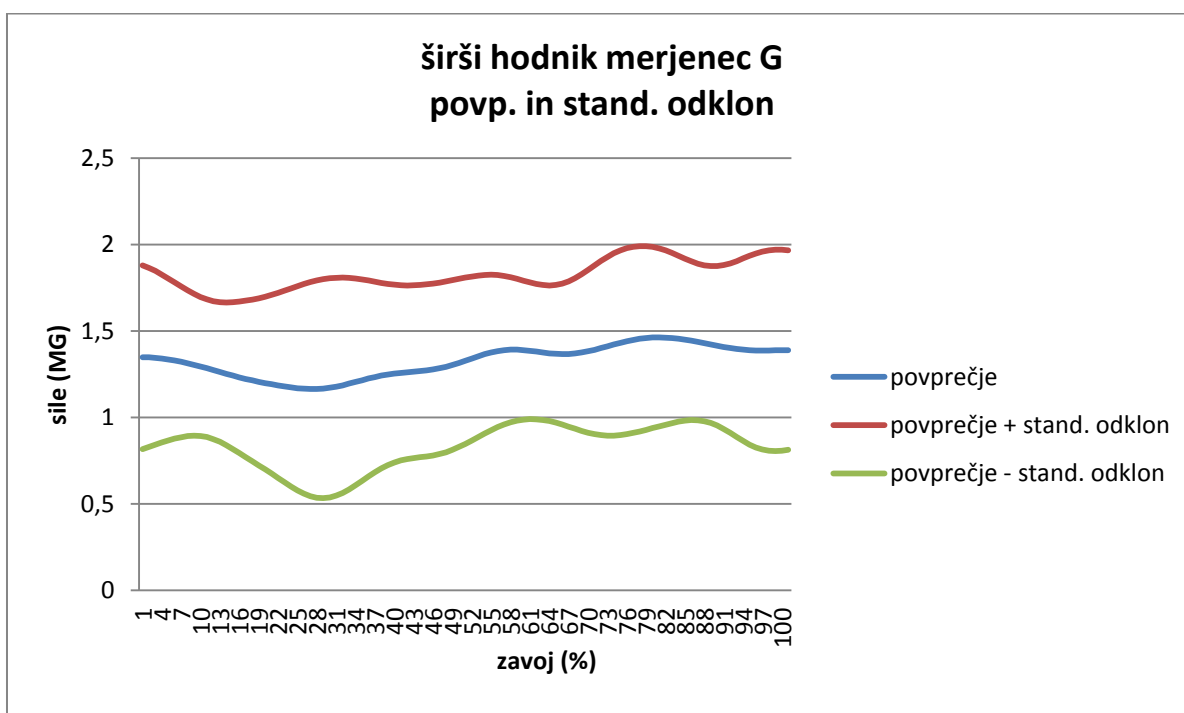


Diagram 194: Povprečje sil pri storitvi širši hodnik – merjenec G

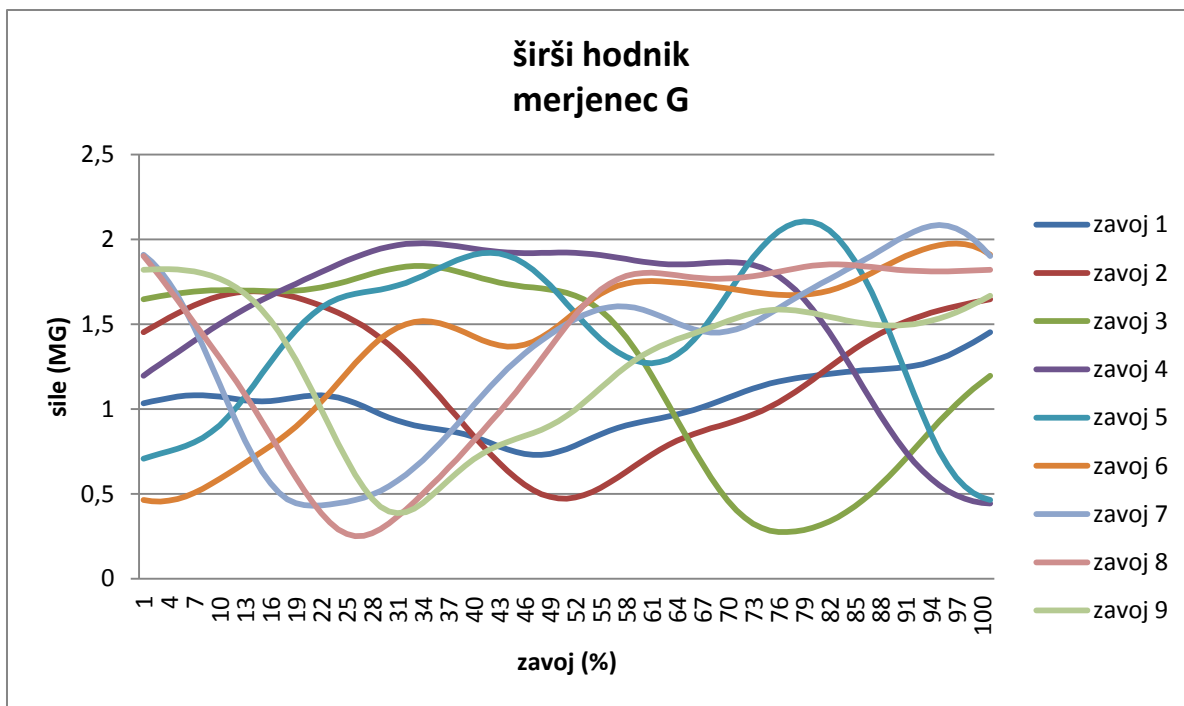


Diagram 195: Sile posameznih zavojev pri storitvi širši hodnik – merjenec G

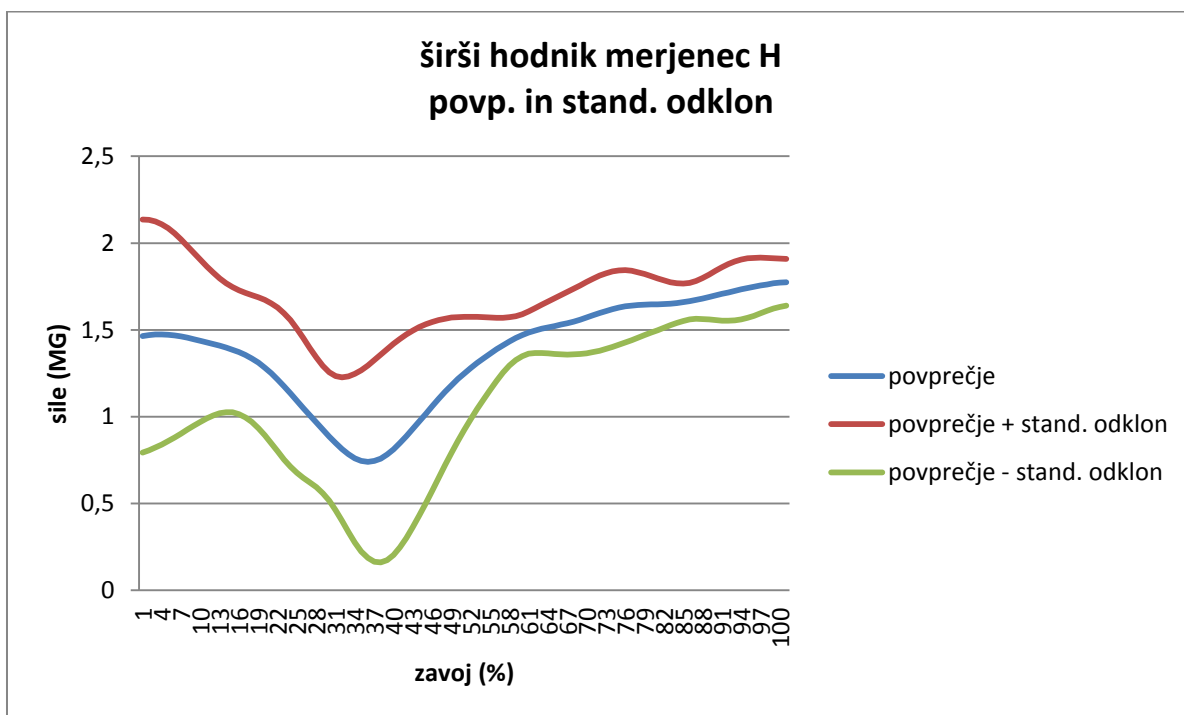


Diagram 196: Povprečje sil pri storitvi širši hodnik – merjenec F

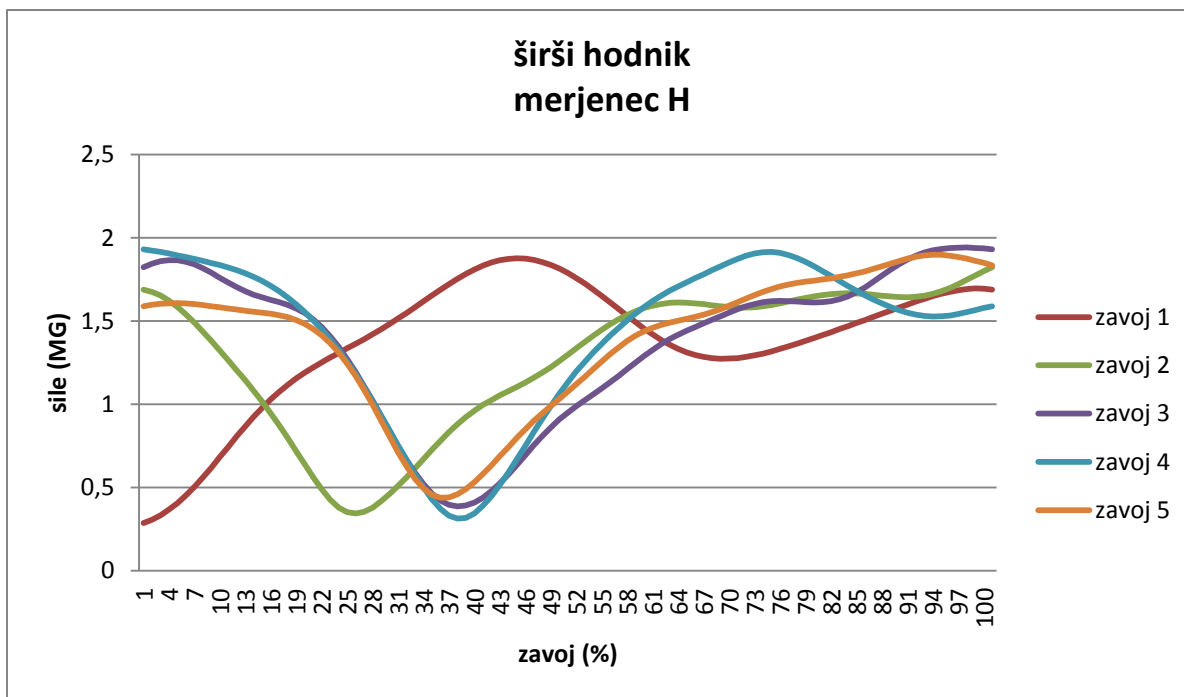


Diagram 197: Sile posameznih zavojev pri storitvi širši hodnik – merjenec H

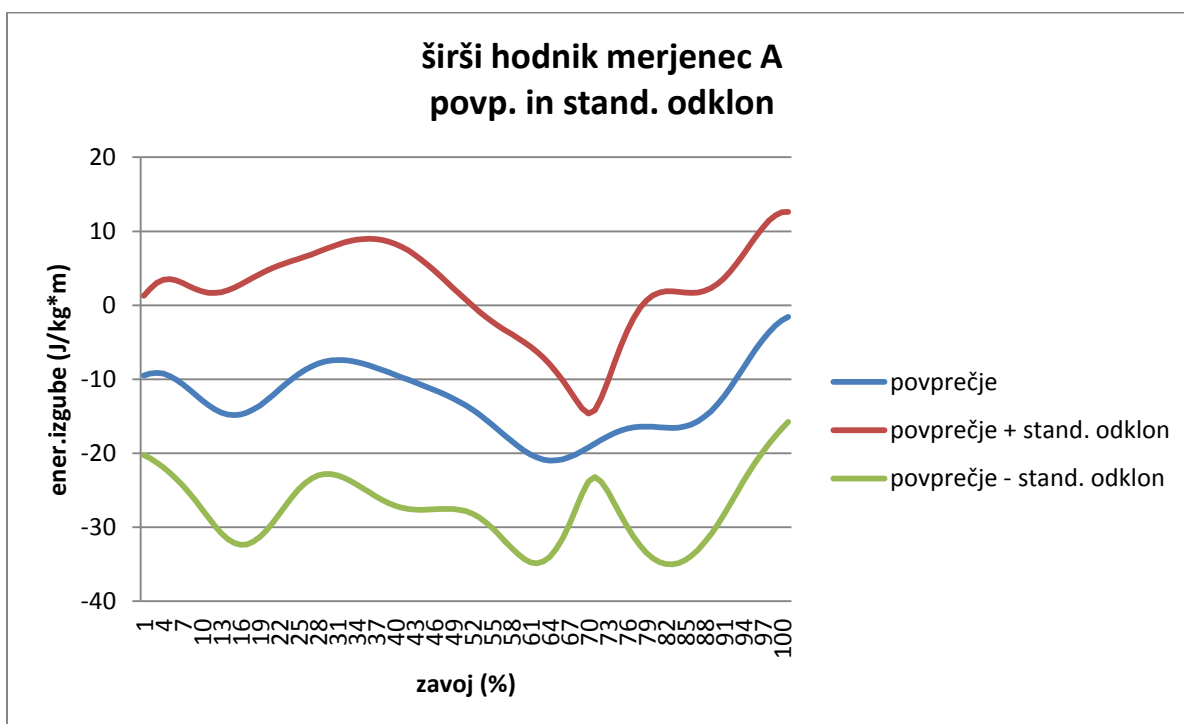


Diagram 198: Povprečje energijskih izgub pri storitvi širši hodnik – merjenec A

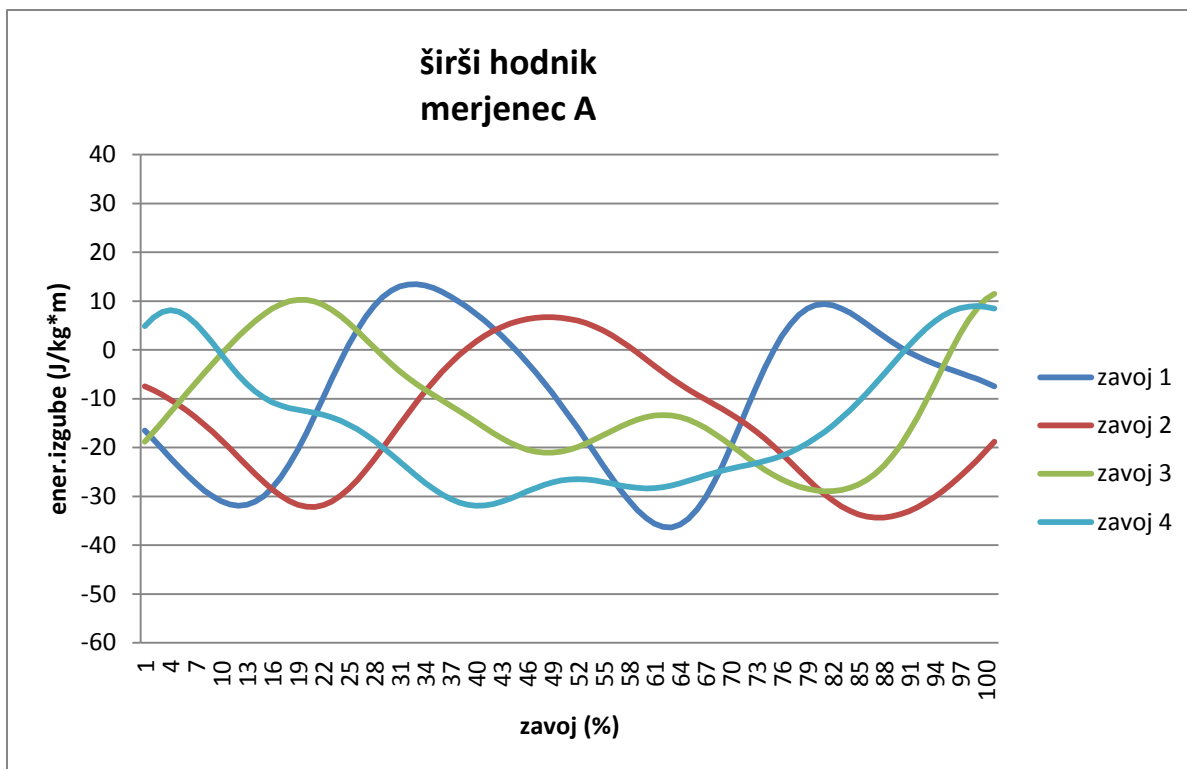


Diagram 199: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi širši hodnik – merjenec A

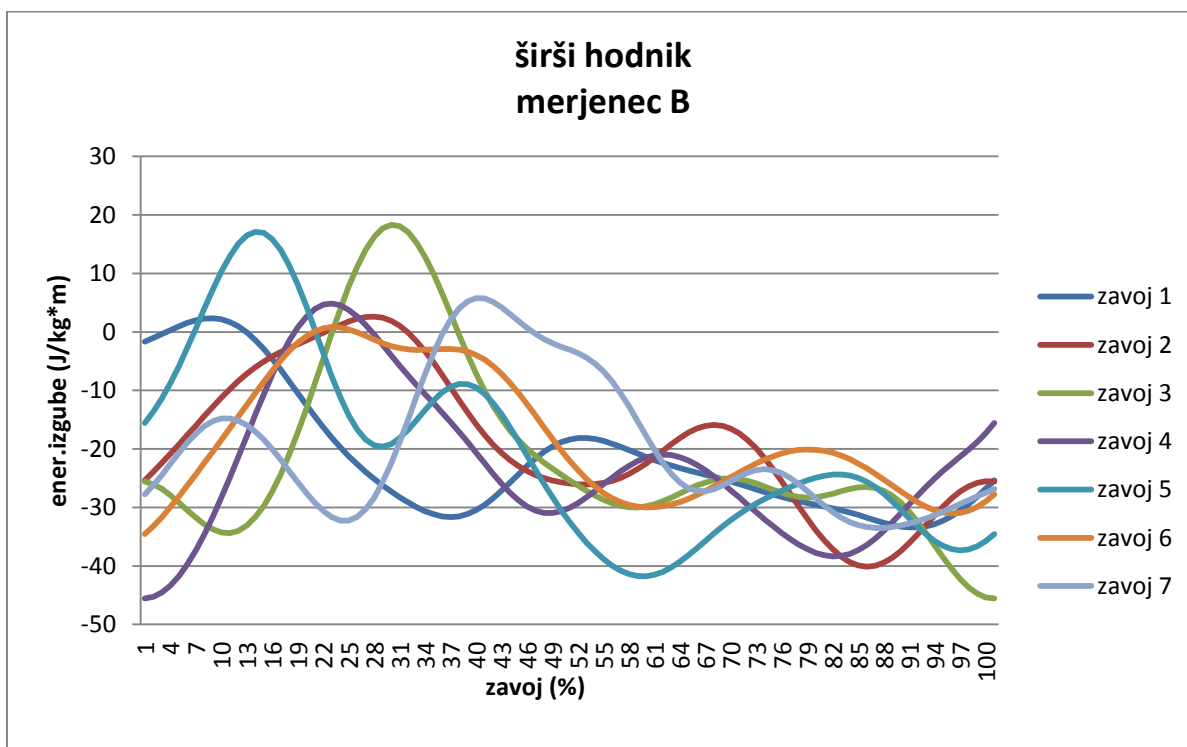


Diagram 200: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi širši hodnik – merjenec B

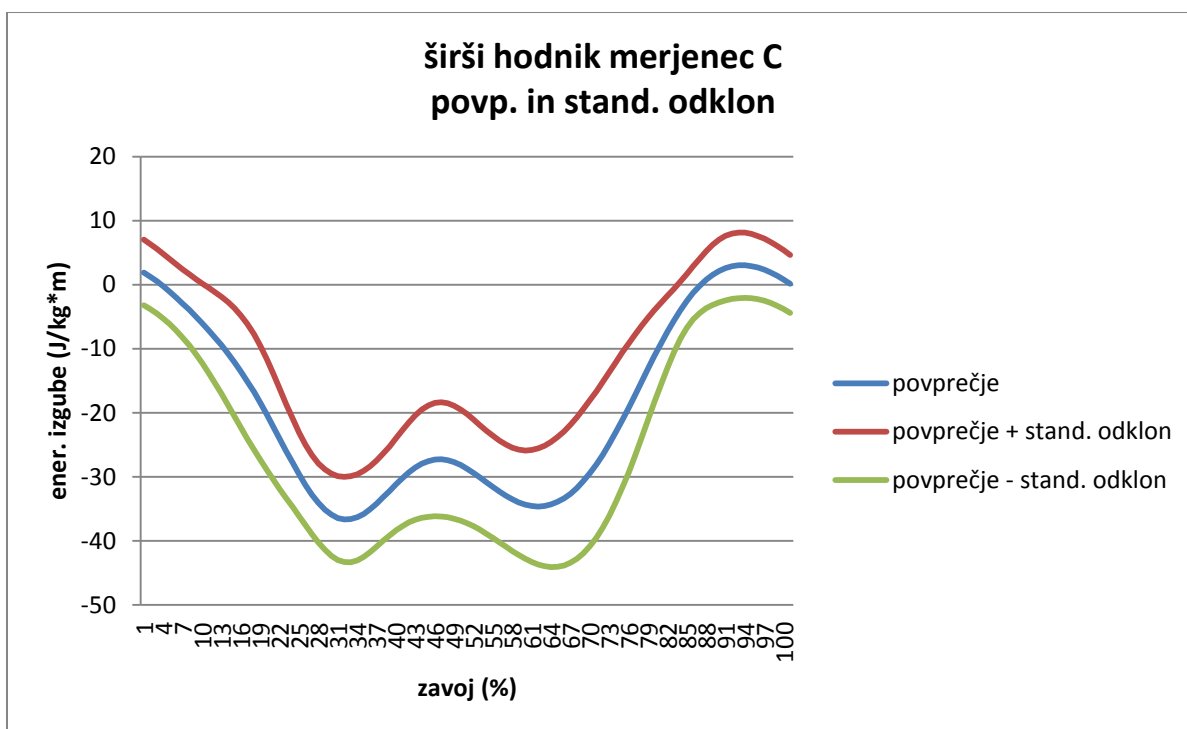


Diagram 201: Povprečje energijskih izgub pri storitvi širši hodnik – merjenec C

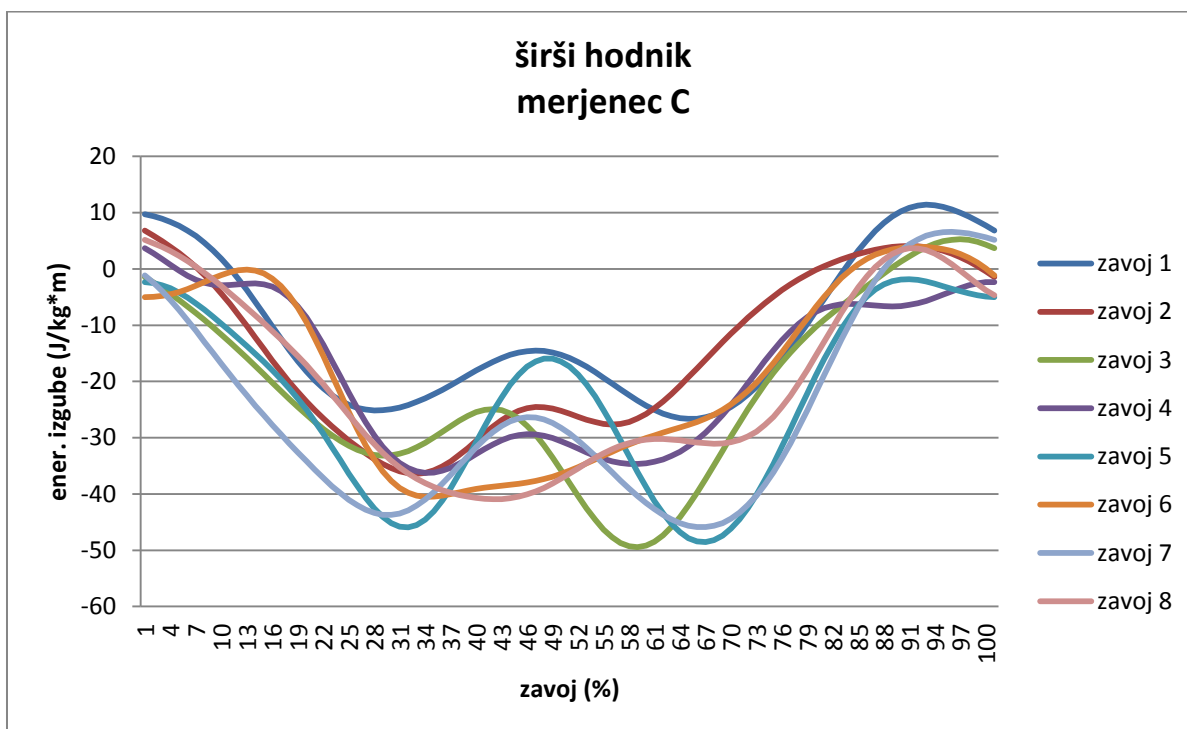


Diagram 202: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi širši hodnik – merjenec C

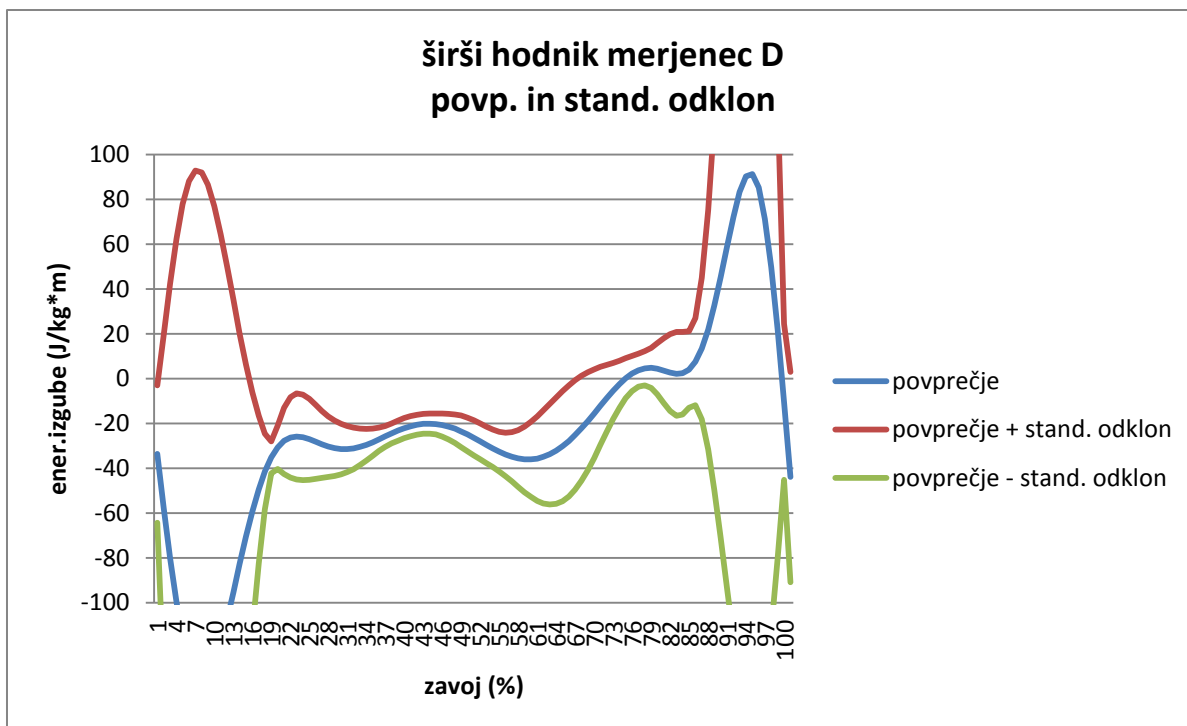


Diagram 203: Povprečje energijskih izgub pri storitvi širši hodnik – merjenec D

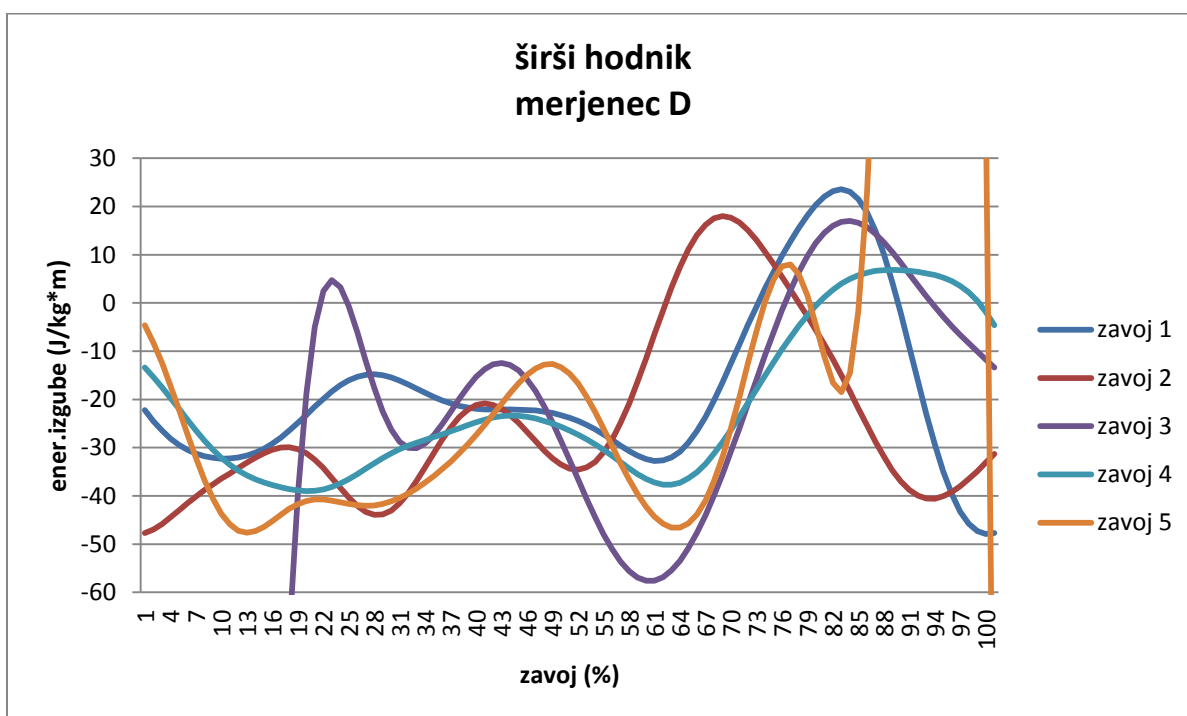


Diagram 204: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi širši hodnik – merjenec D

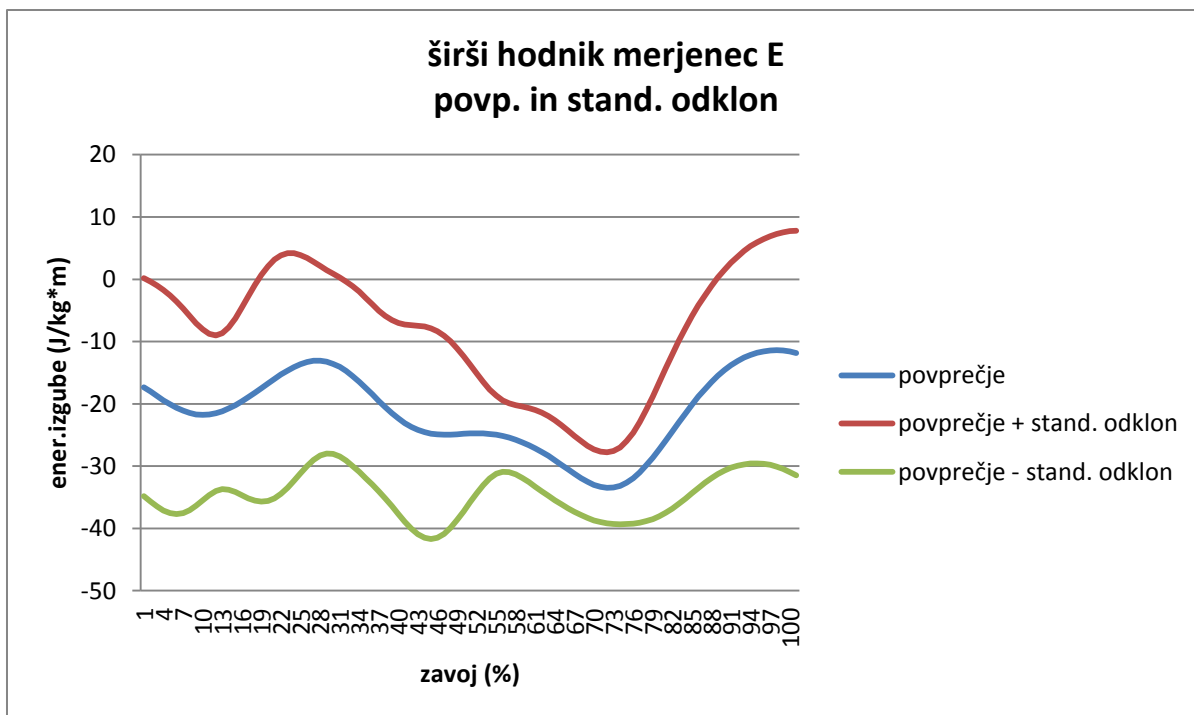


Diagram 205: Povprečje energijskih izgub pri storitvi širši hodnik – merjenec E

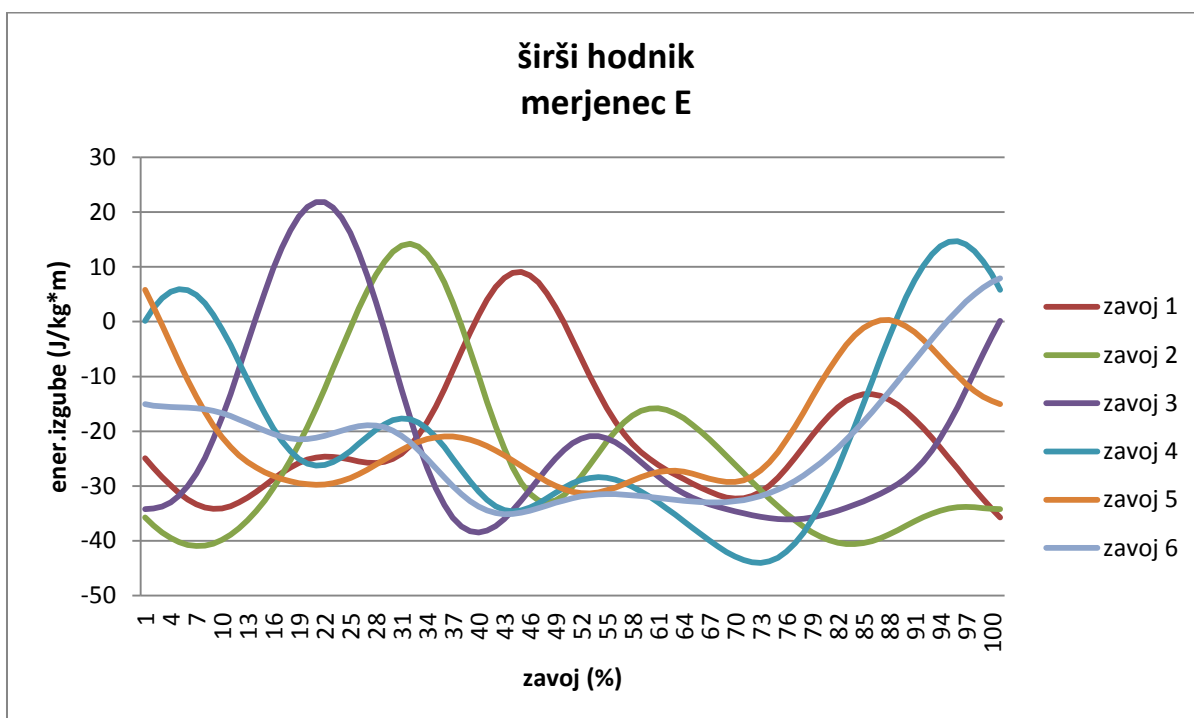


Diagram 206: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi širši hodnik – merjenec E

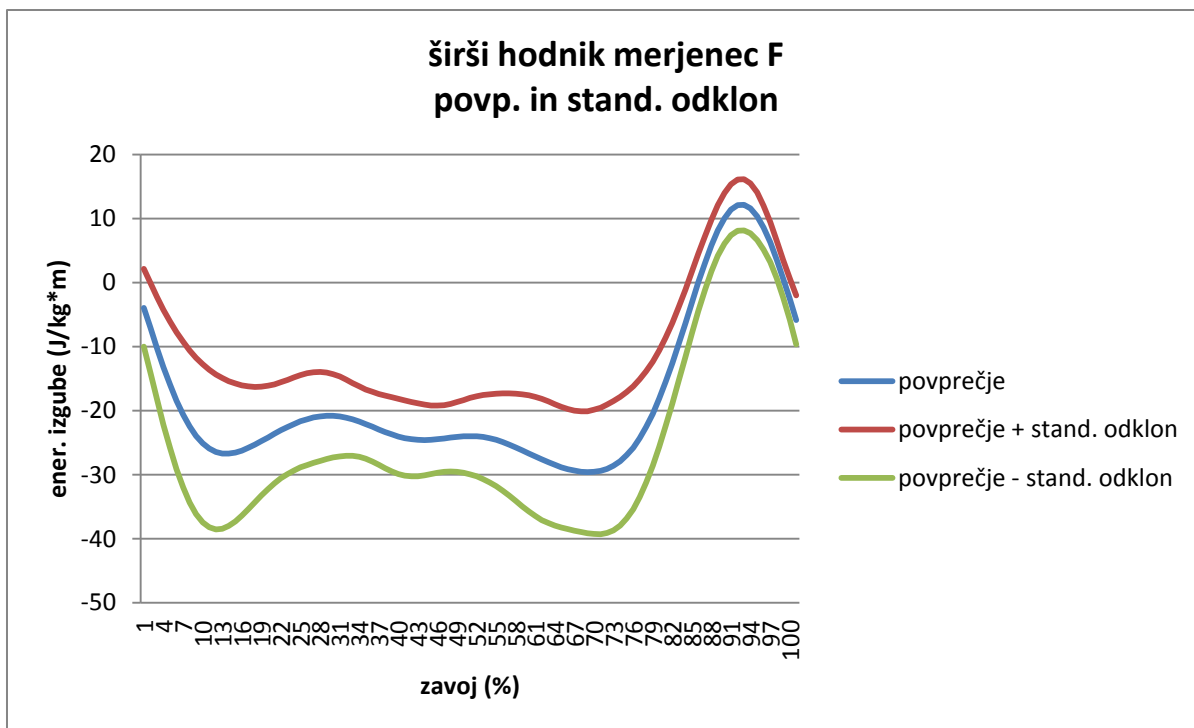


Diagram 207: Povprečje energijskih izgub pri storitvi širši hodnik – merjenec F

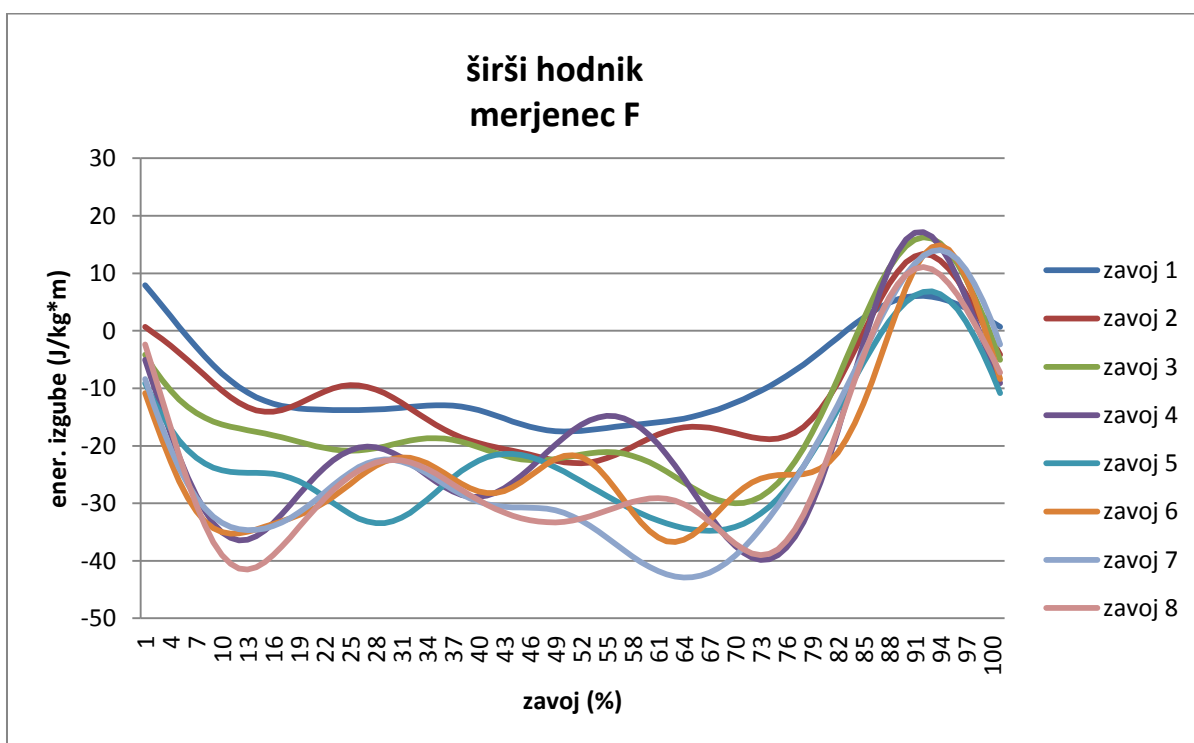


Diagram 208: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi širši hodnik – merjenec F

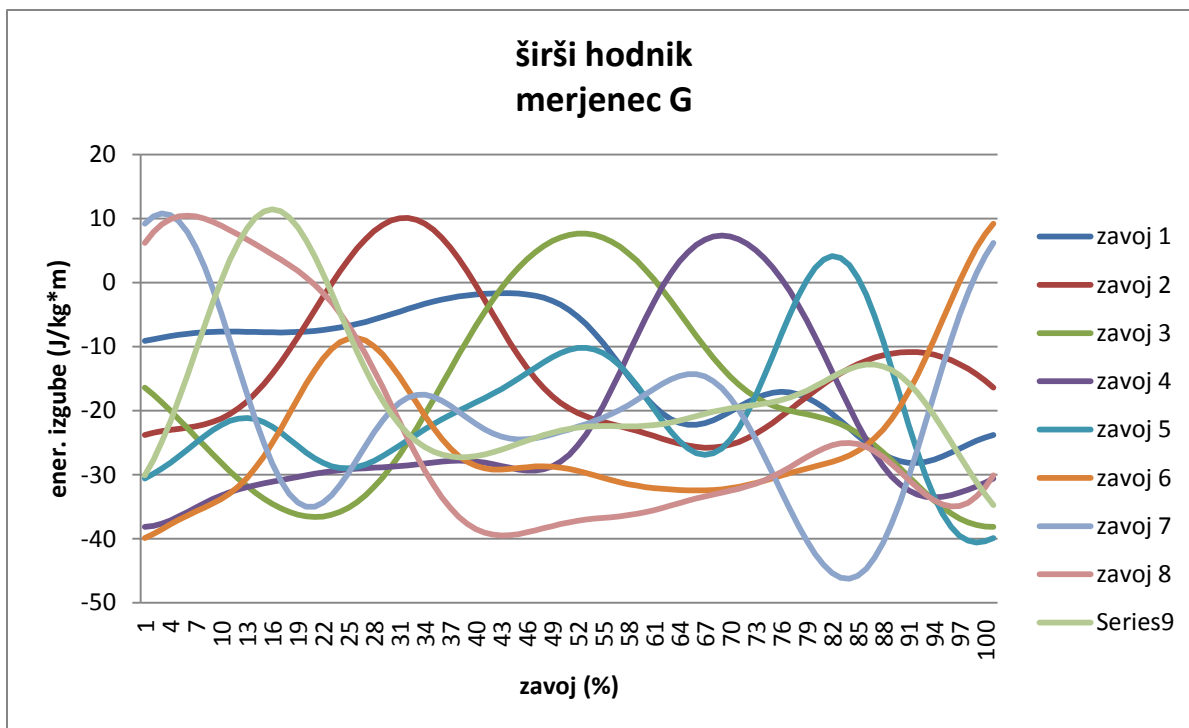


Diagram 209: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi širši hodnik – merjenec G

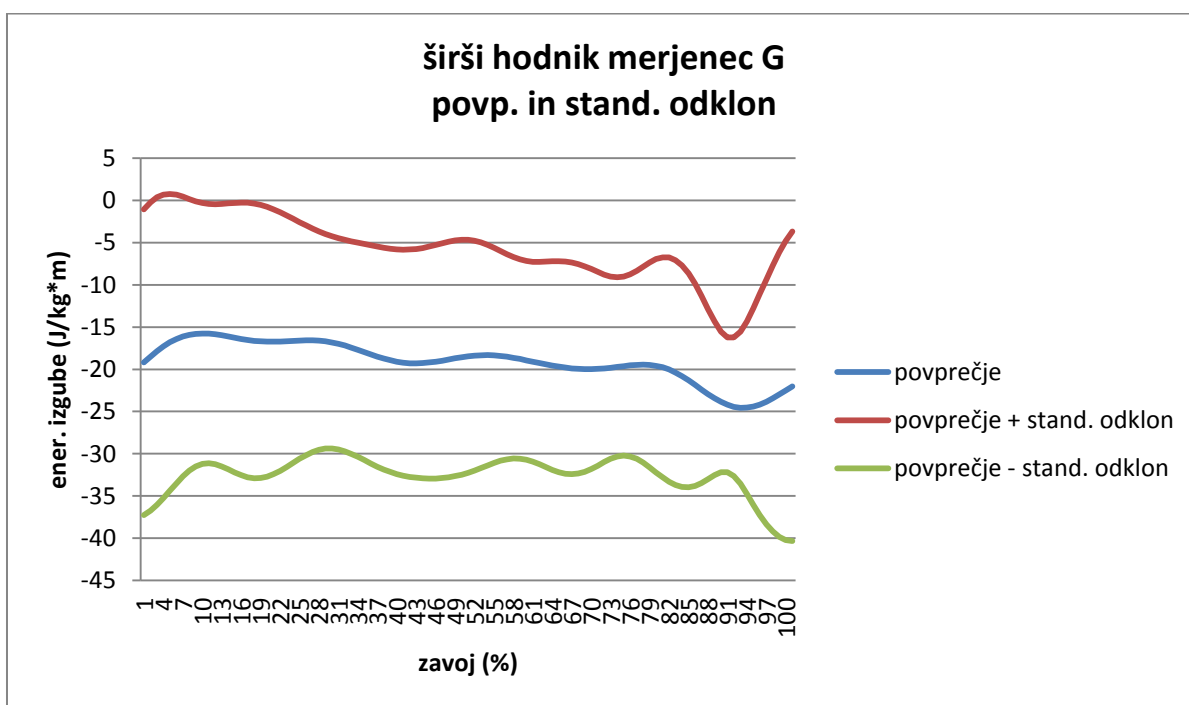


Diagram 210: Povprečje energijskih izgub pri storitvi širši hodnik – merjenec G

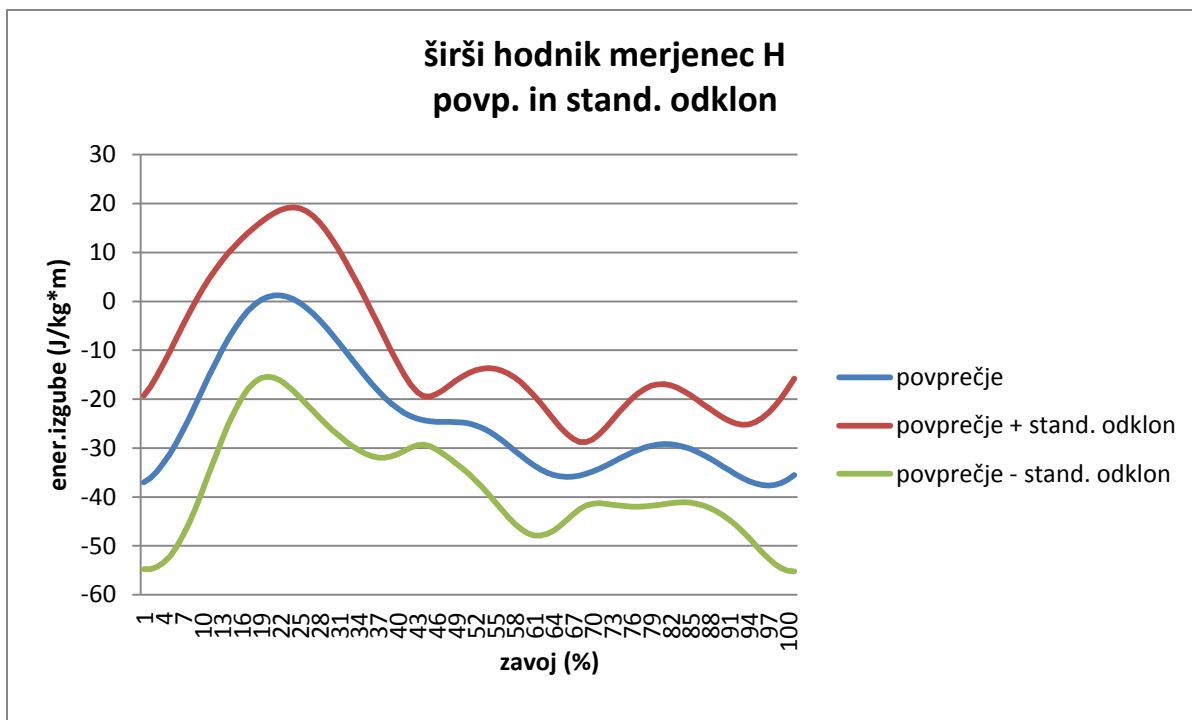


Diagram 211: Povprečje energijskih izgub pri storitvi širši hodnik – merjenec H

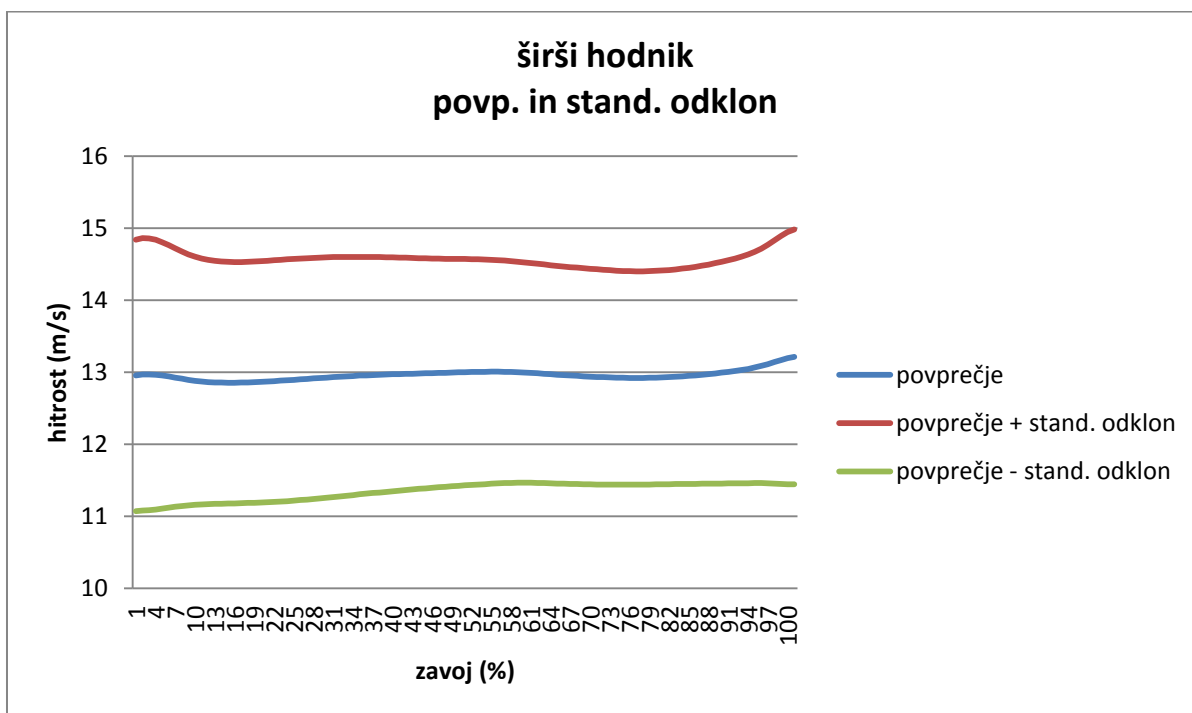


Diagram 212: Skupno povprečje hitrosti pri storitvi širši hodnik

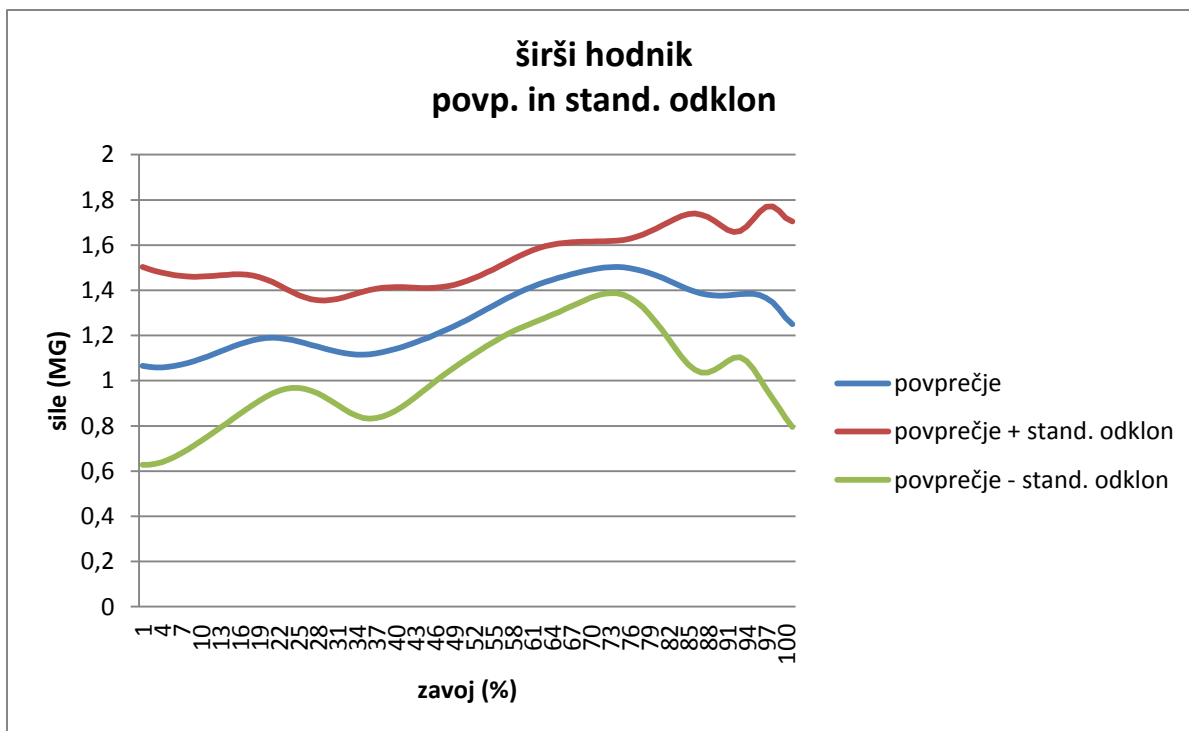


Diagram 213: Skupno povprečje sil pri storitvi širši hodnik

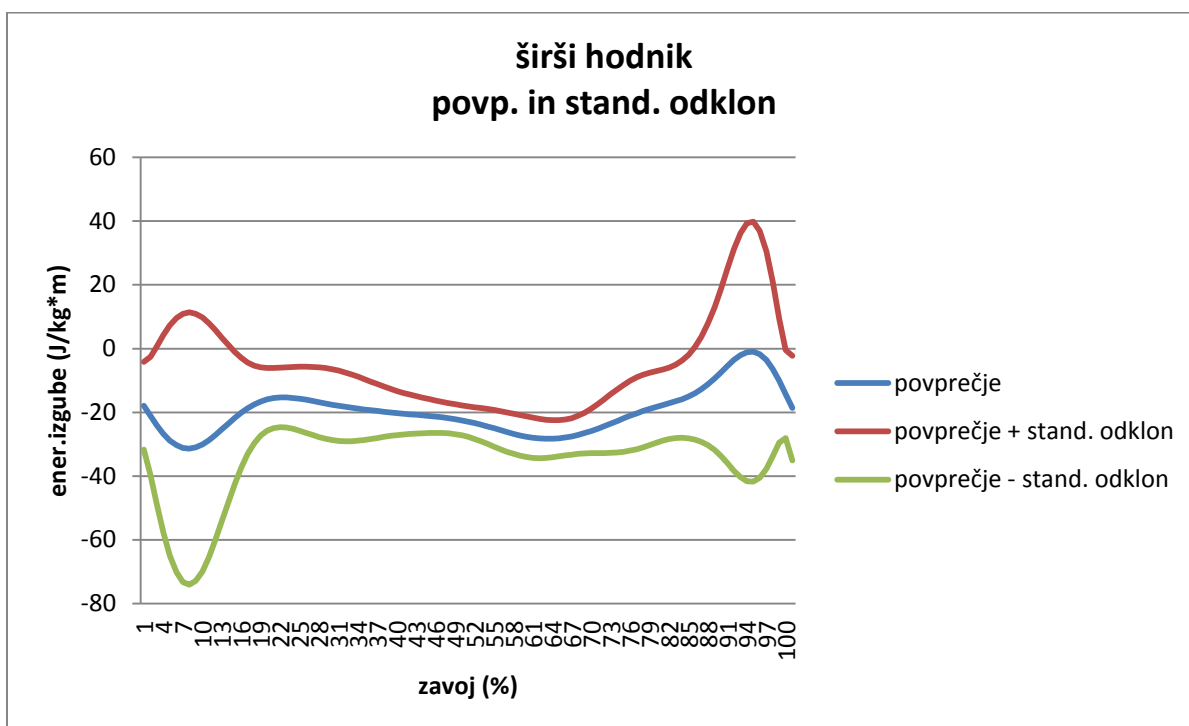


Diagram 214: Skupno povprečje energijskih izgub pri storitvi širši hodnik

10.5. Terensko vijuganje v ožjem hodniku

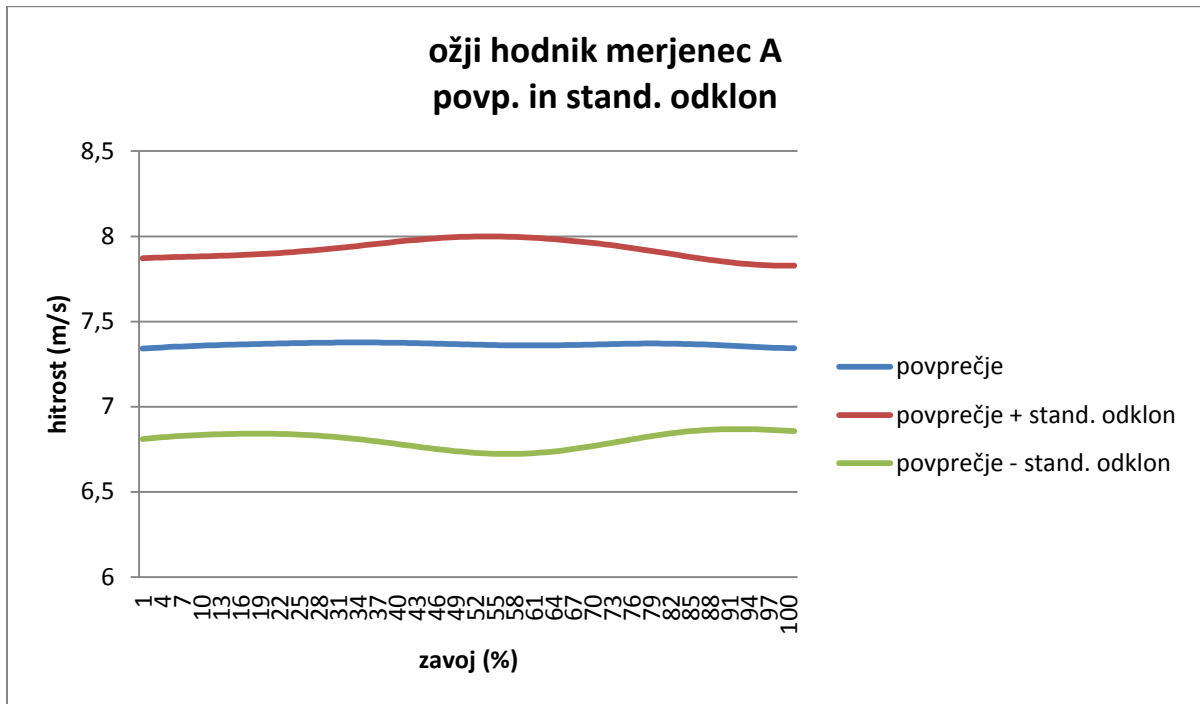


Diagram 215: Povprečje hitrosti pri storitvi ožji hodnik – merjenec A

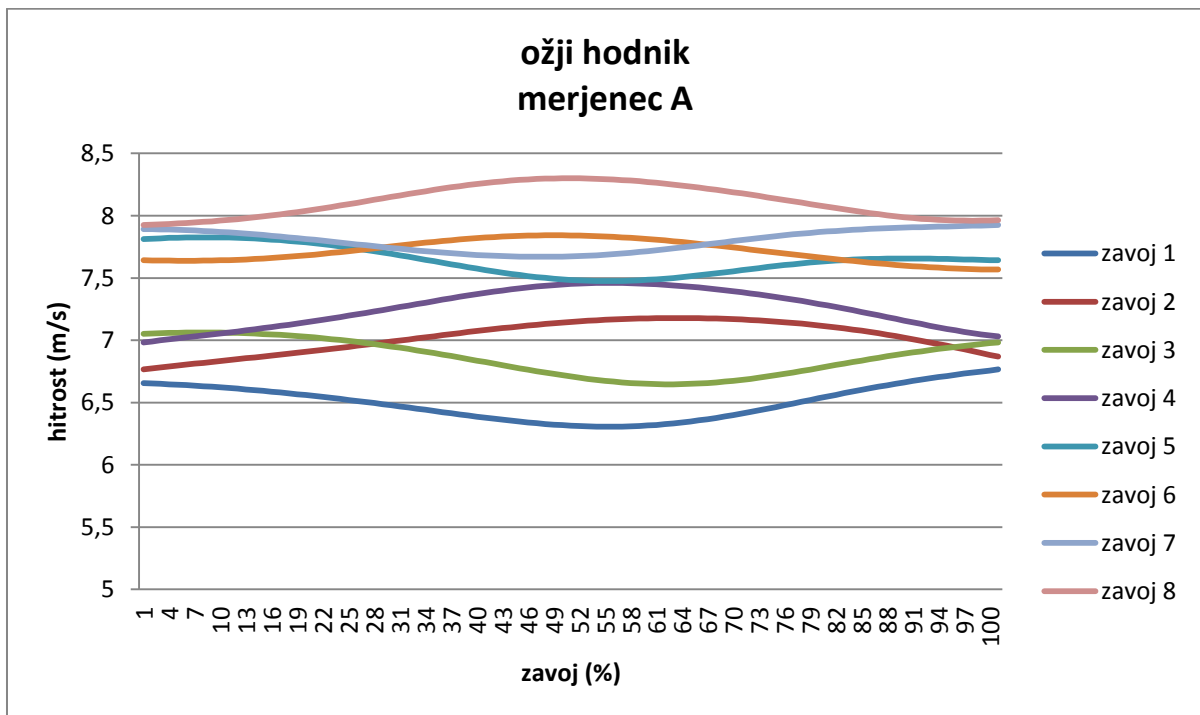


Diagram 216: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi ožji hodnik – merjenec A

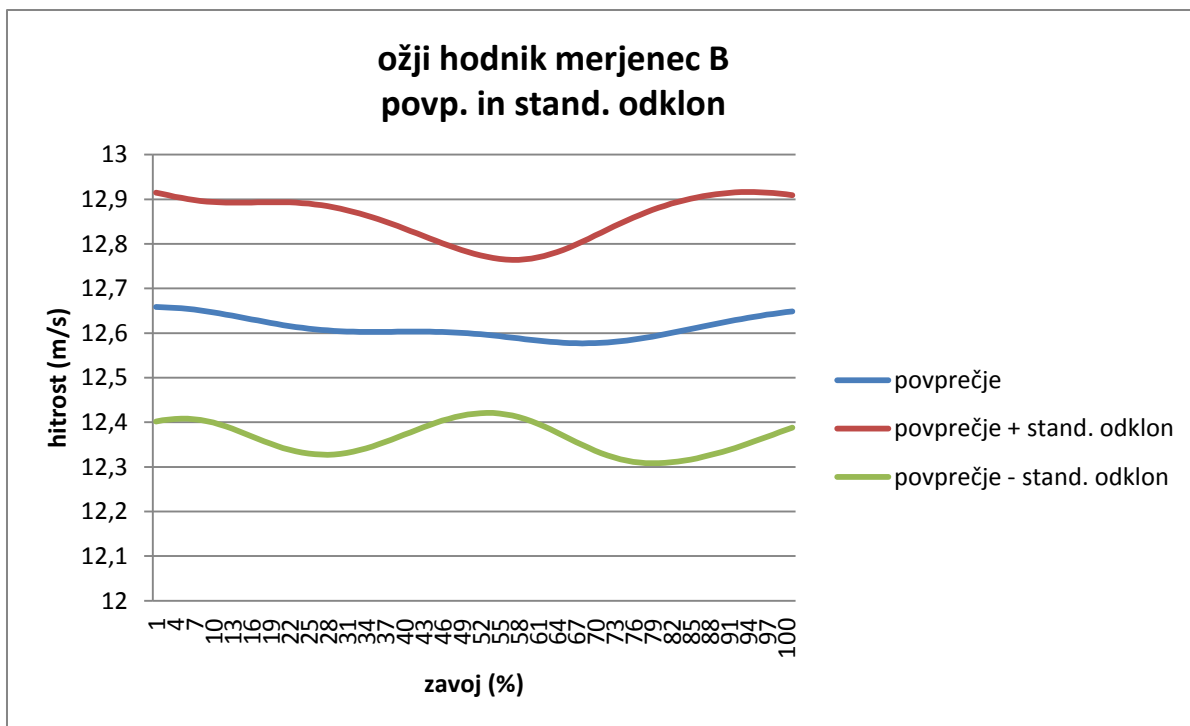


Diagram 217: Povprečje hitrosti pri storitvi ožji hodnik – merjenec B

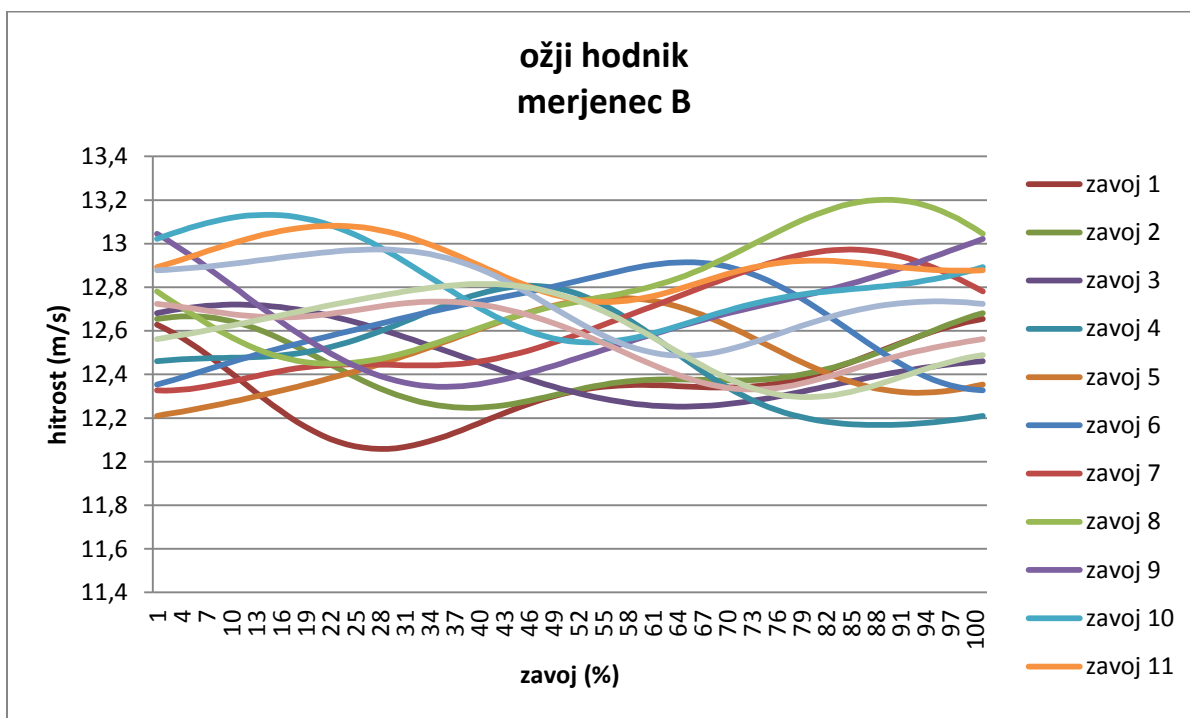


Diagram 218: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi ožji hodnik – merjenec B

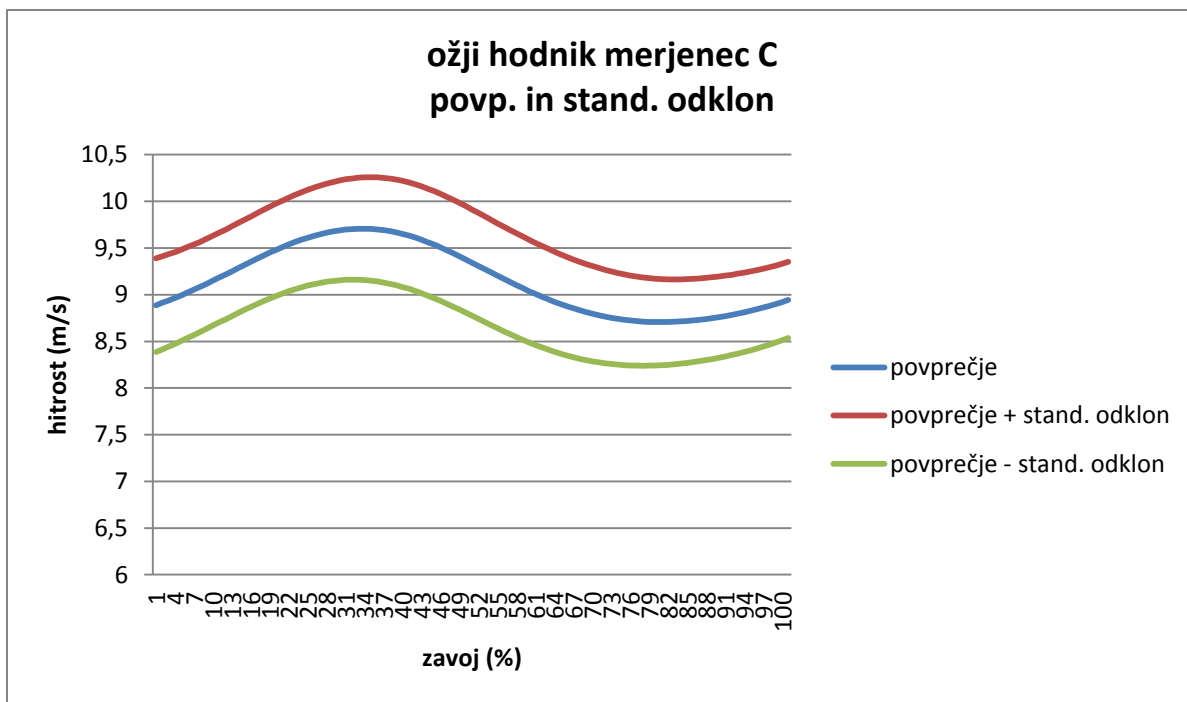


Diagram 219: Povprečje hitrosti pri storitvi ožji hodnik – merjenec C

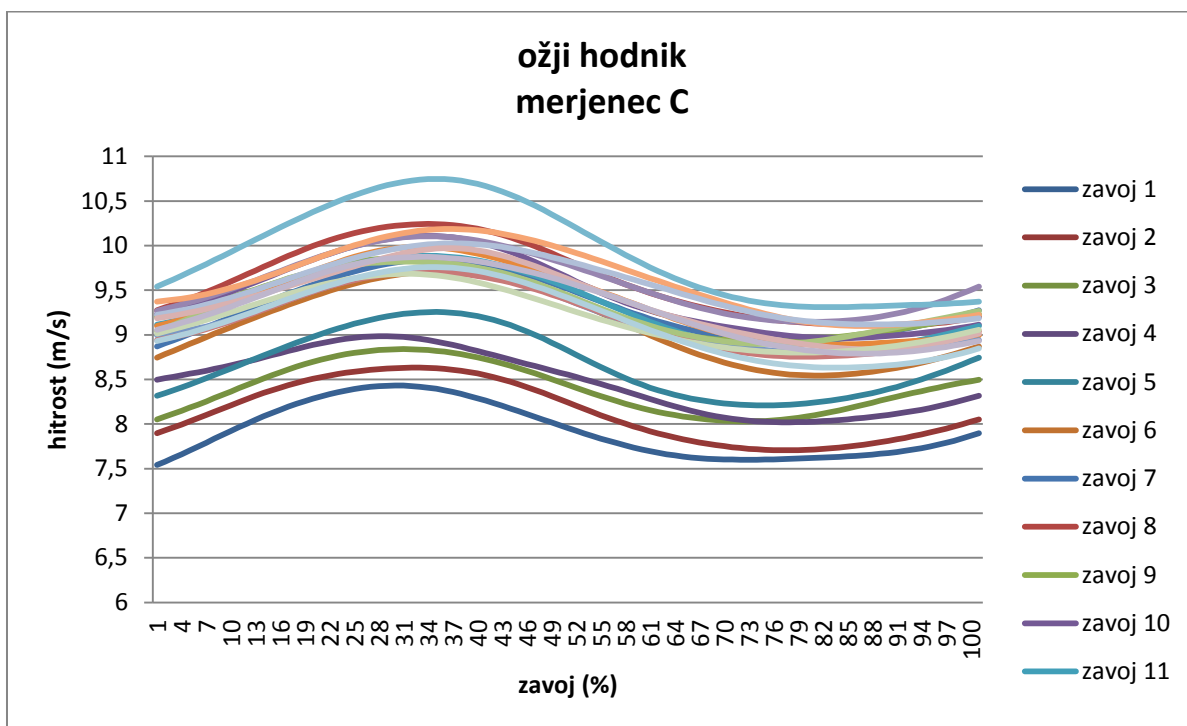


Diagram 220: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi ožji hodnik – merjenec C

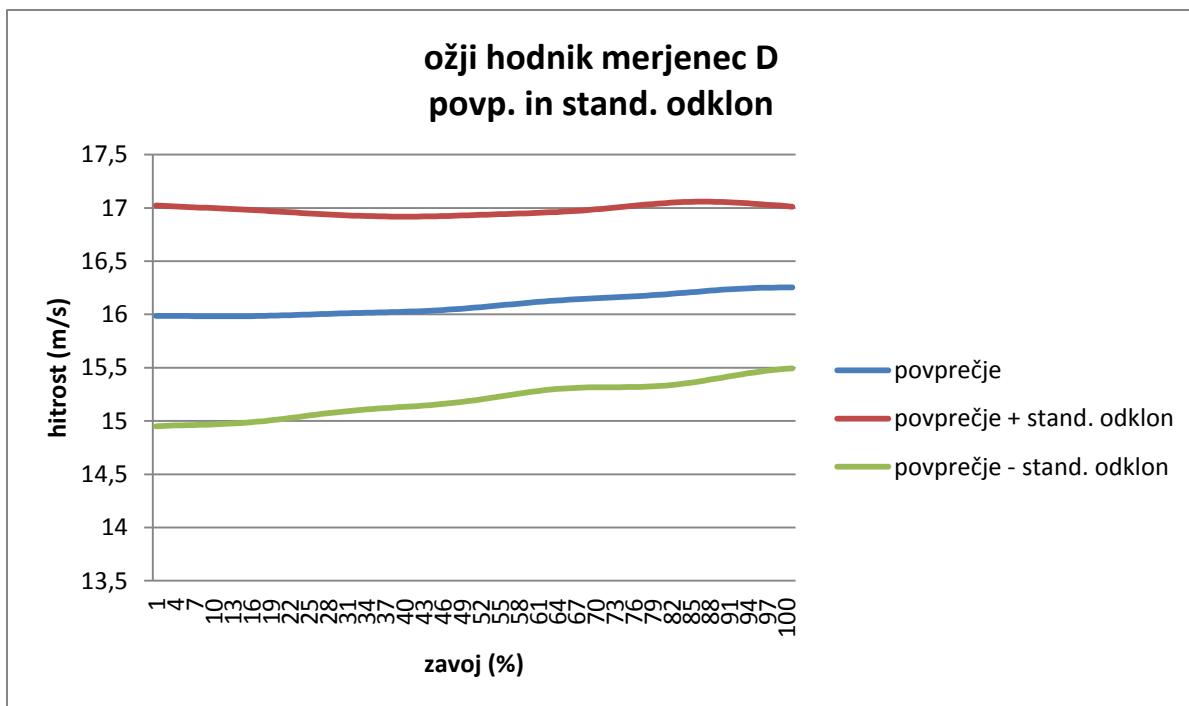


Diagram 221: Povprečje hitrosti pri storitvi ožji hodnik – merjenec D

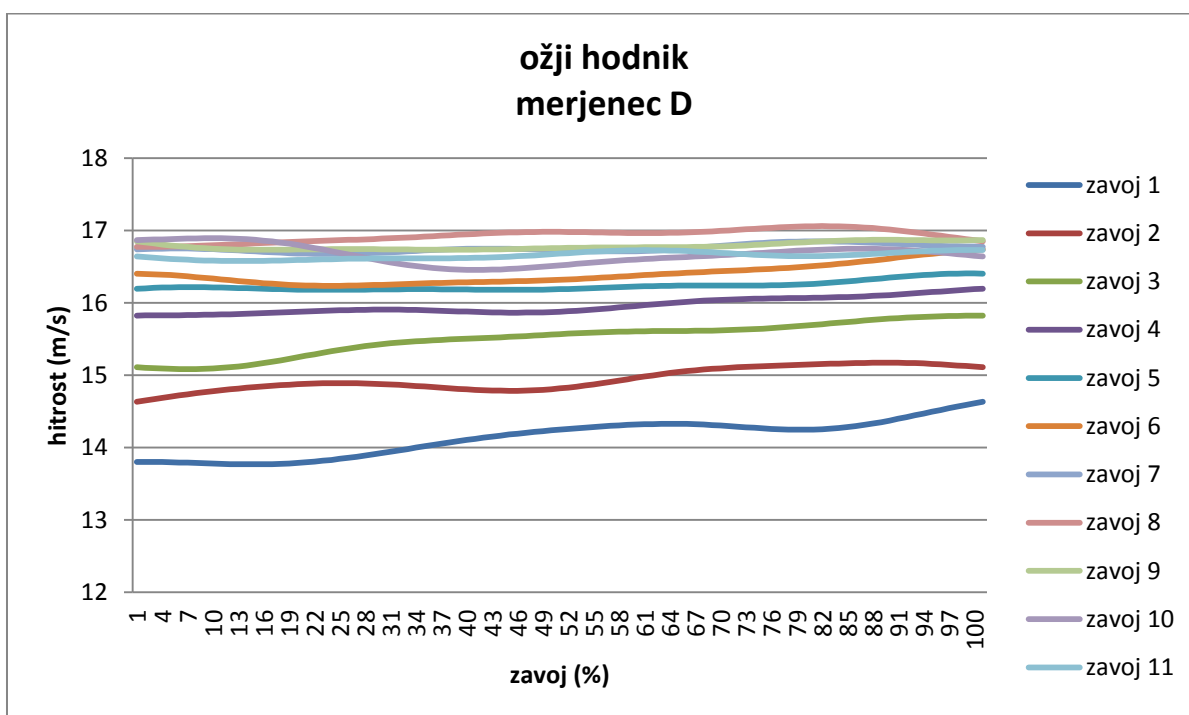


Diagram 222: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi ožji hodnik – merjenec D

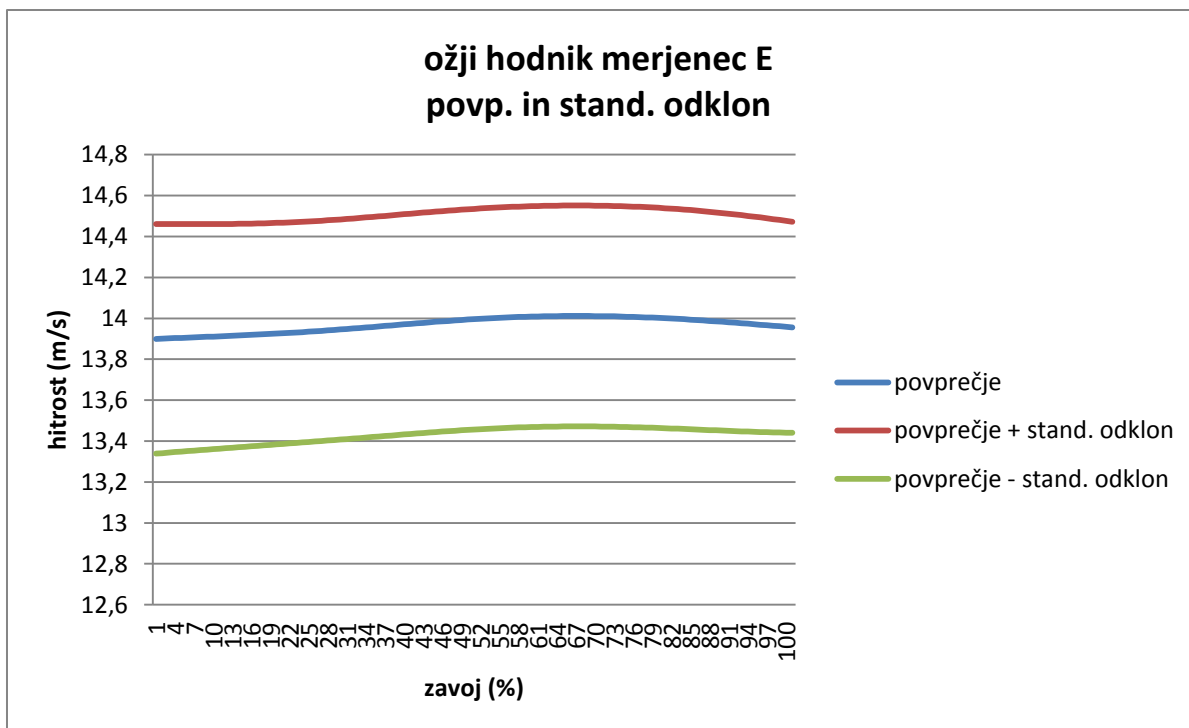


Diagram 223: Povprečje hitrosti pri storitvi ožj hodnik – merjenec E

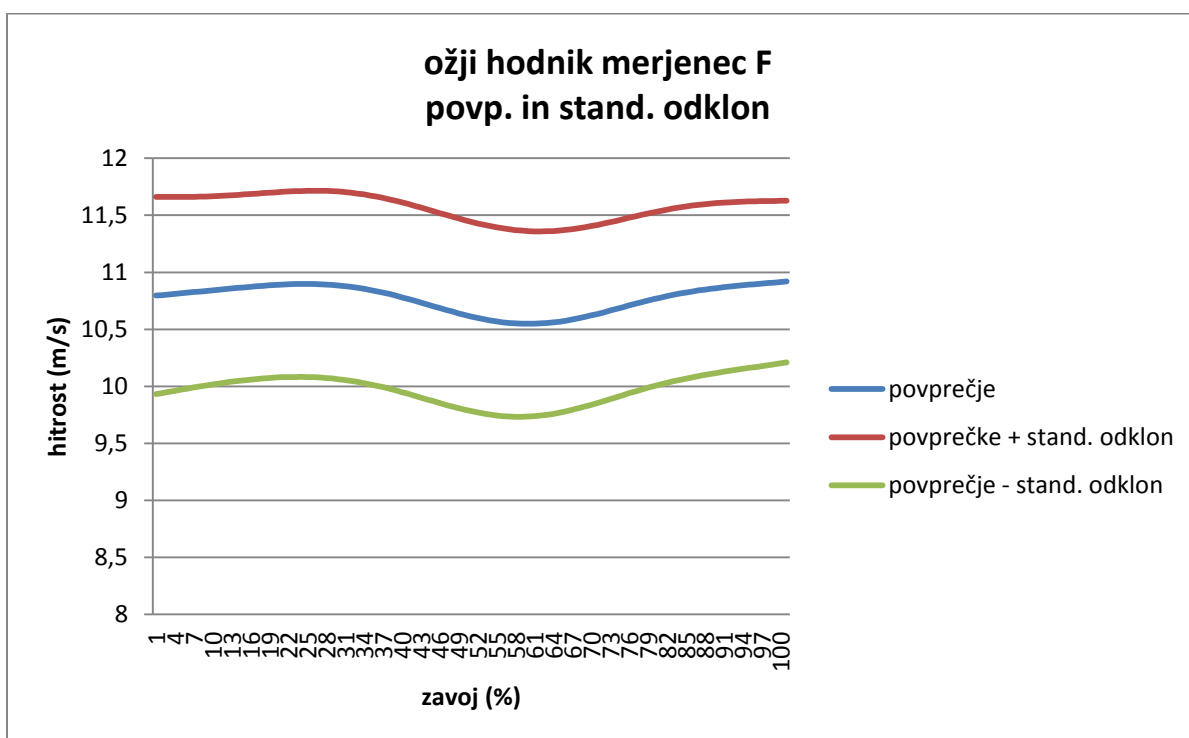


Diagram 224: Povprečje hitrosti pri storitvi ožji hodnik – merjenec F

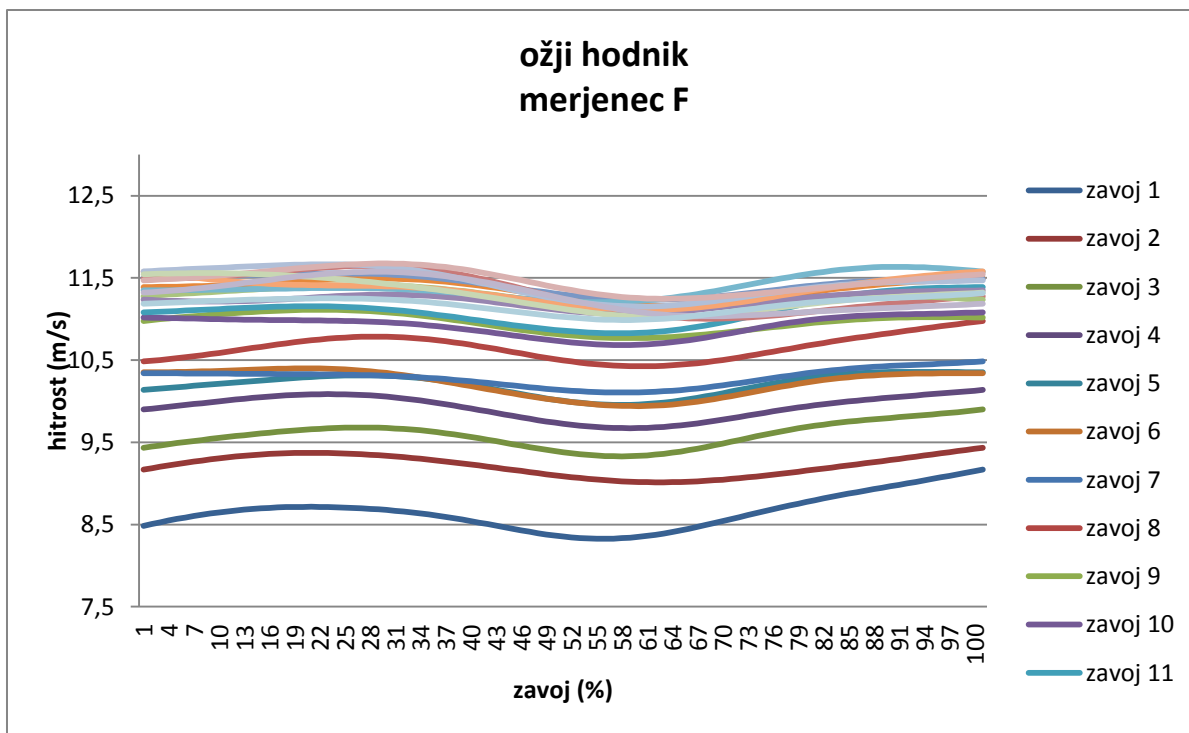


Diagram 225: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi ožji hodnik – merjenec F

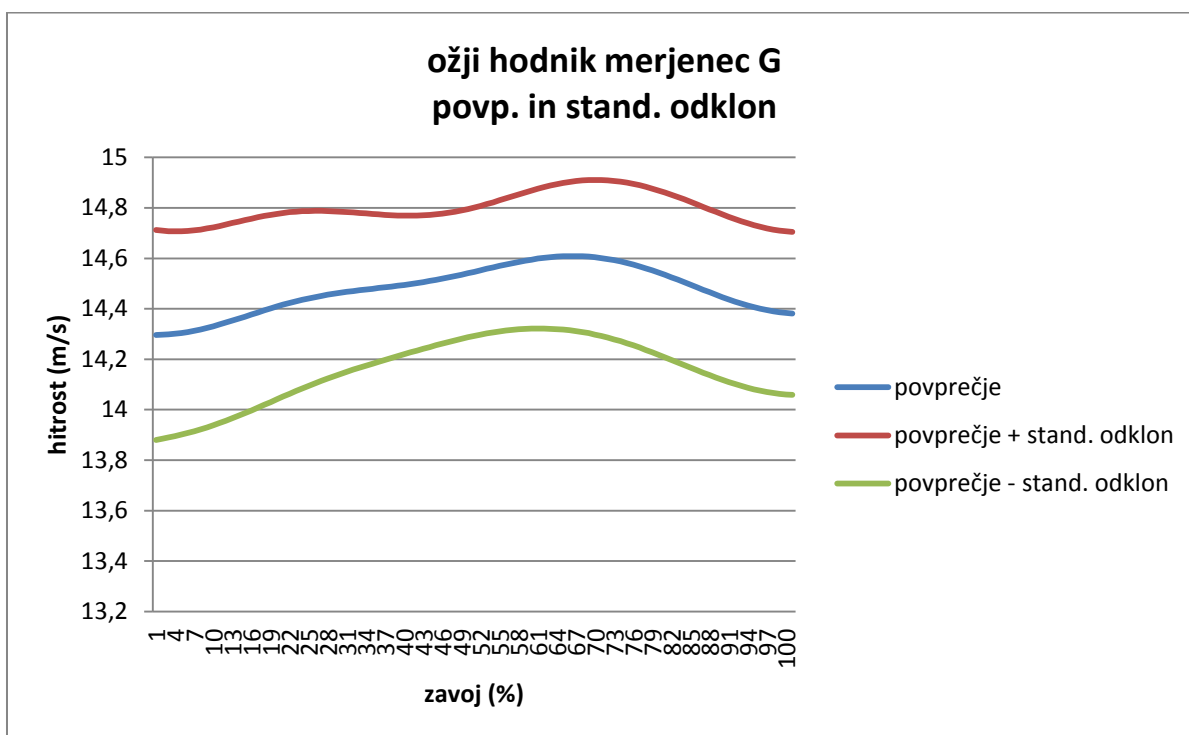


Diagram 226: Povprečje hitrosti pri storitvi ožji hodnik – merjenec G

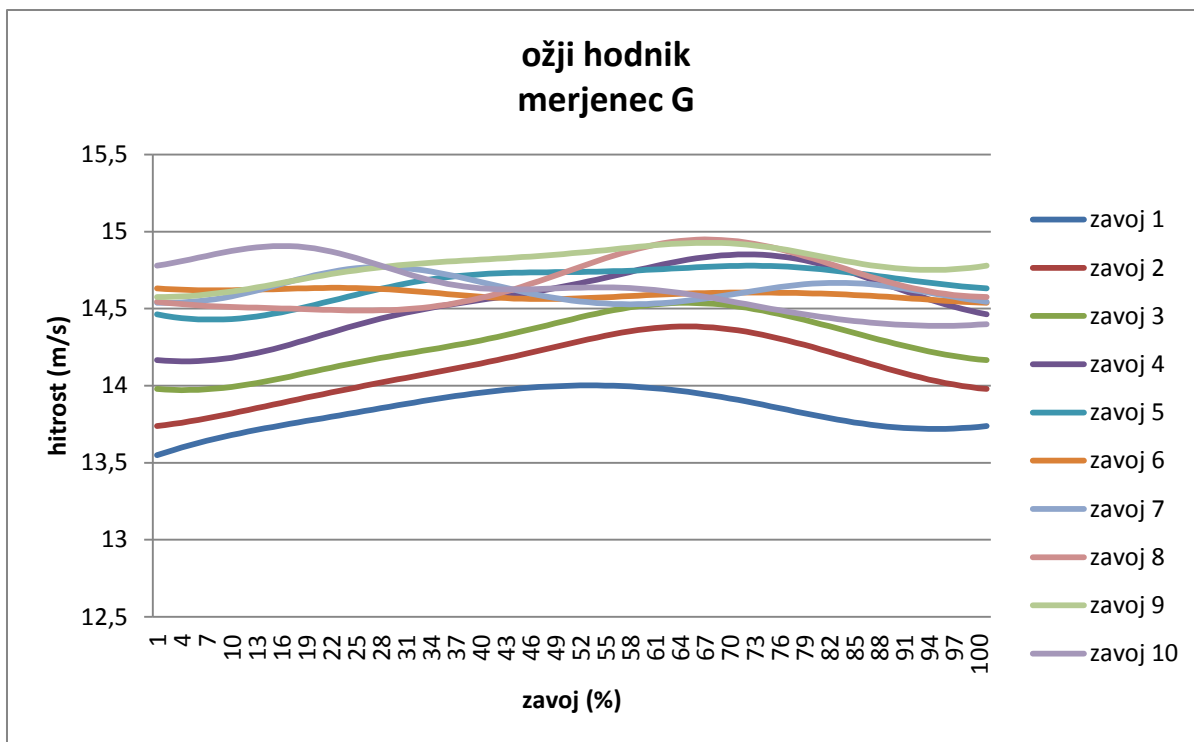


Diagram 227: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi ožji hodnik – merjenec G

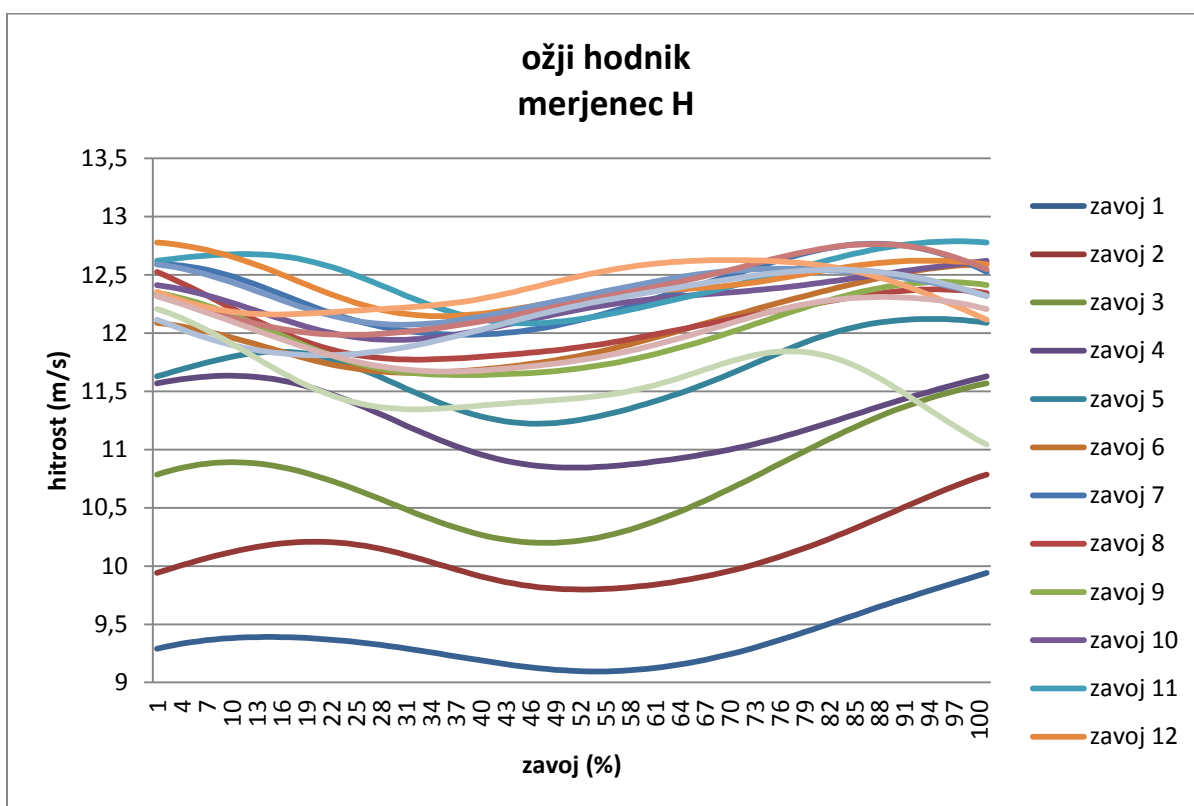


Diagram 228: Hitrosti posameznih zavojev pri storitvi ožji hodnik – merjenec H

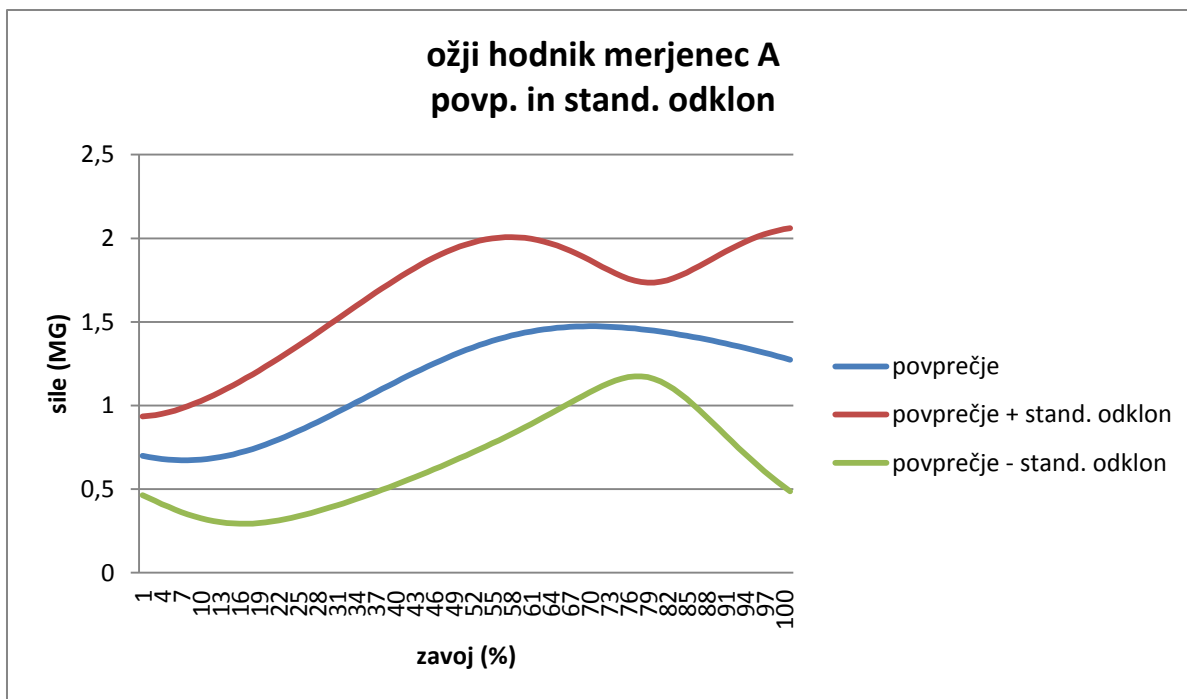


Diagram 229: Povprečje sil pri storitvi ožji hodnik – merjenec A

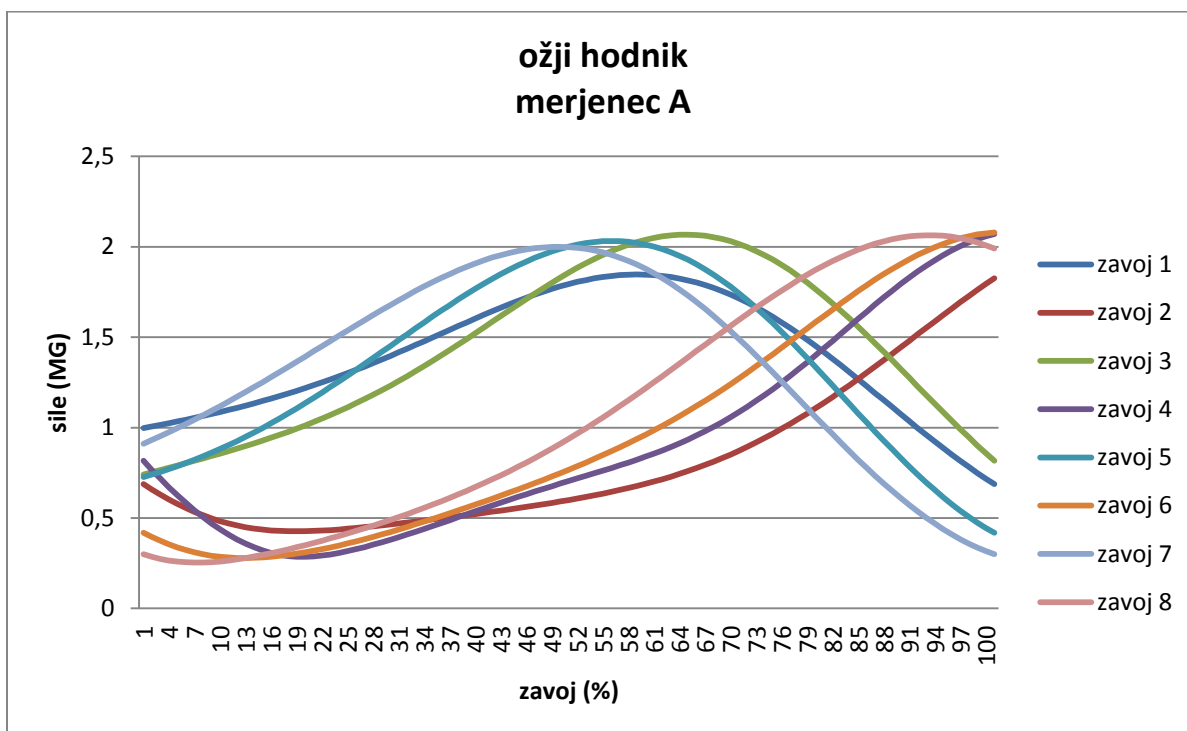


Diagram 230: Sile posameznih zavojev pri storitvi ožji hodnik – merjenec A

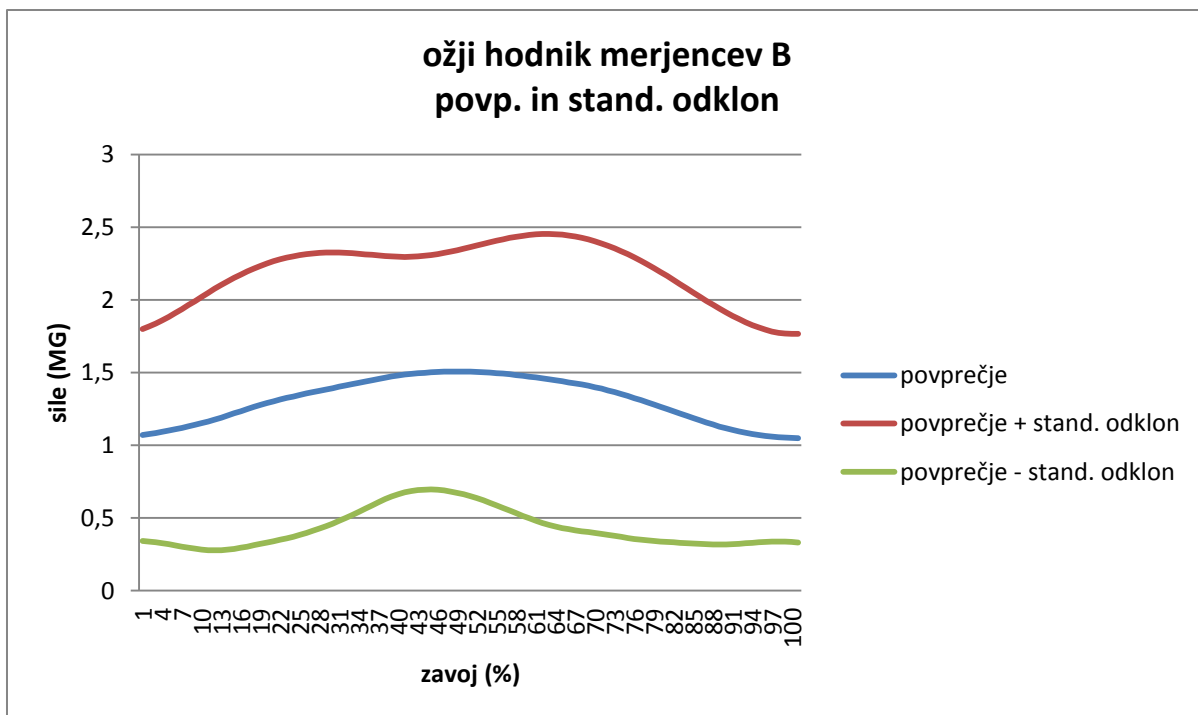


Diagram 231: Povprečje sil pri storitvi ožji hodnik – merjenec B

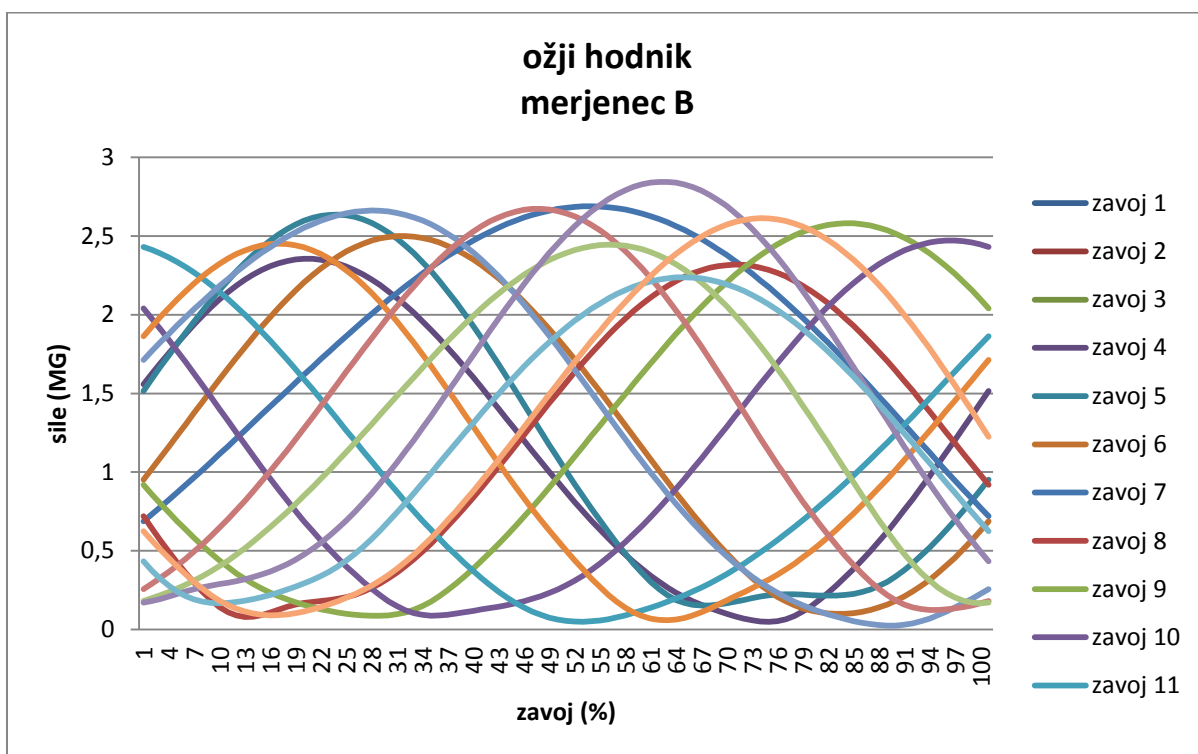


Diagram 232: Sile posameznih zavojev pri storitvi ožji hodnik – merjenec B

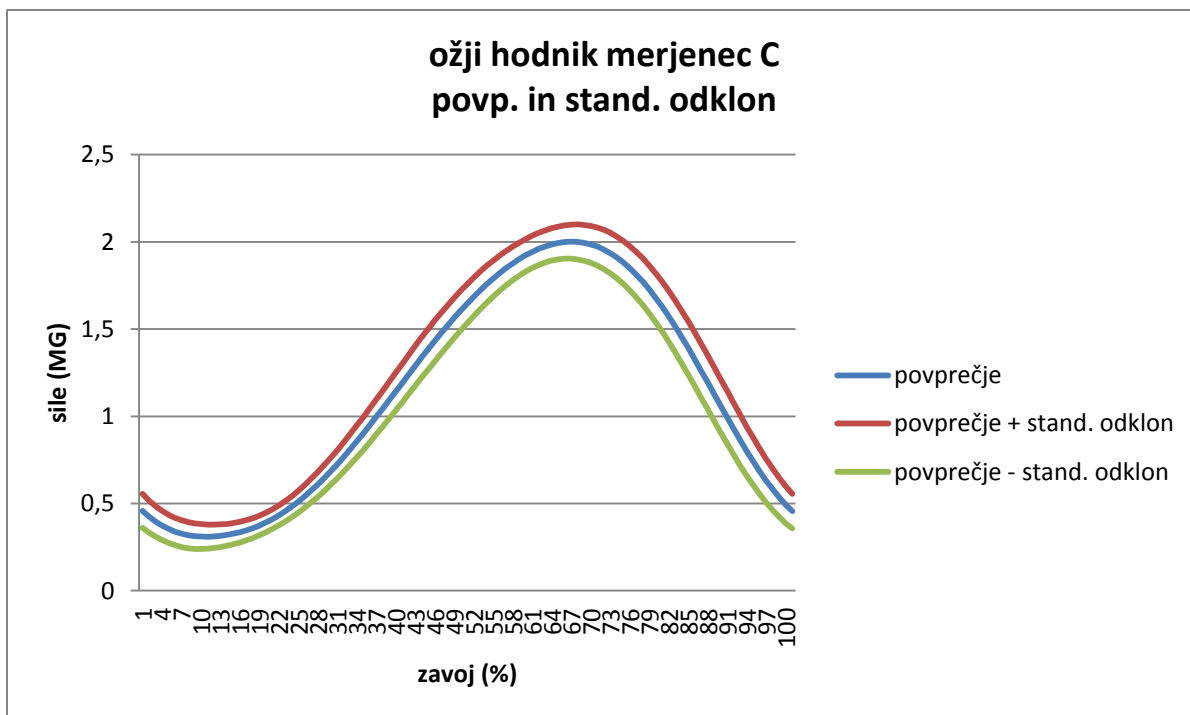


Diagram 233: Povprečje sil pri storitvi ožji hodnik – merjenec C

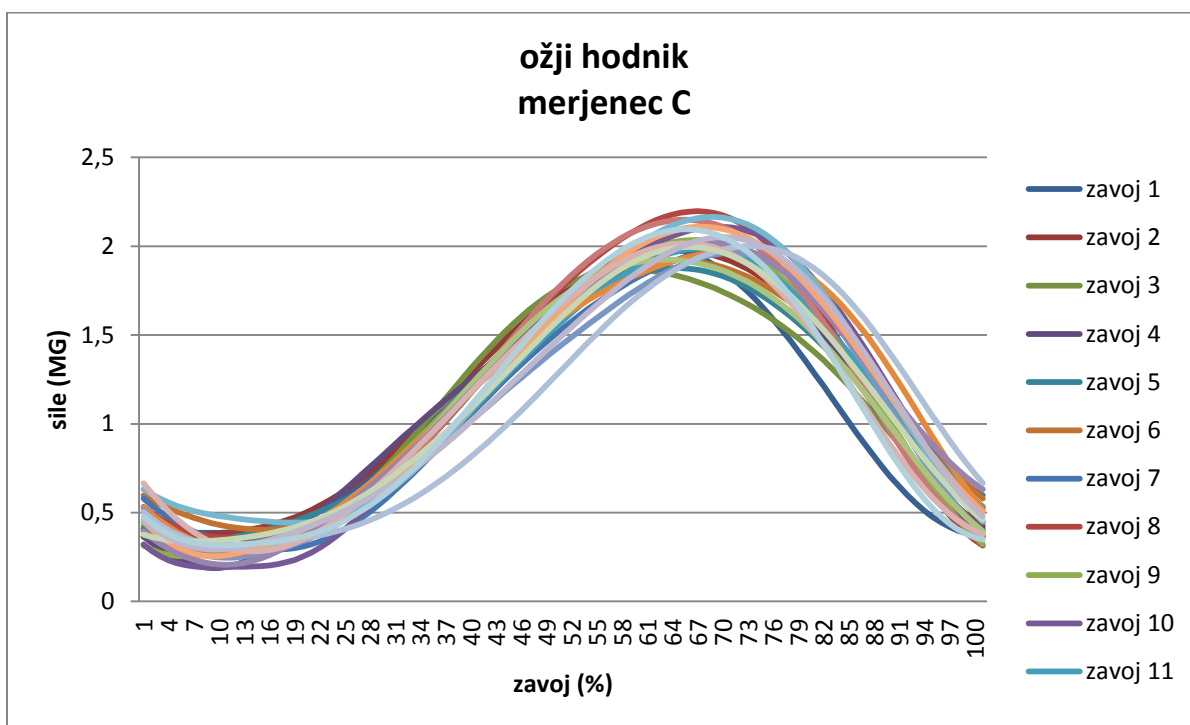


Diagram 234: Sile posameznih zavojev pri storitvi ožji hodnik – merjenec C

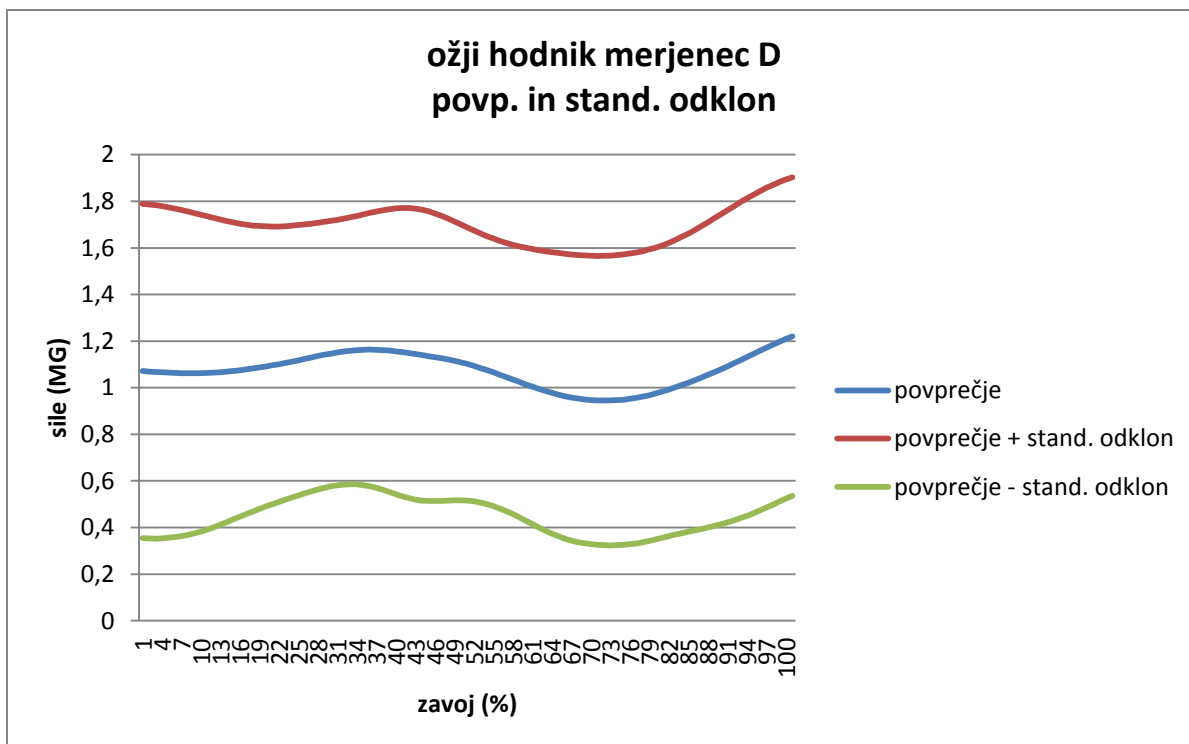


Diagram 235: Povprečje sil pri storitvi ožji hodnik – merjenec D

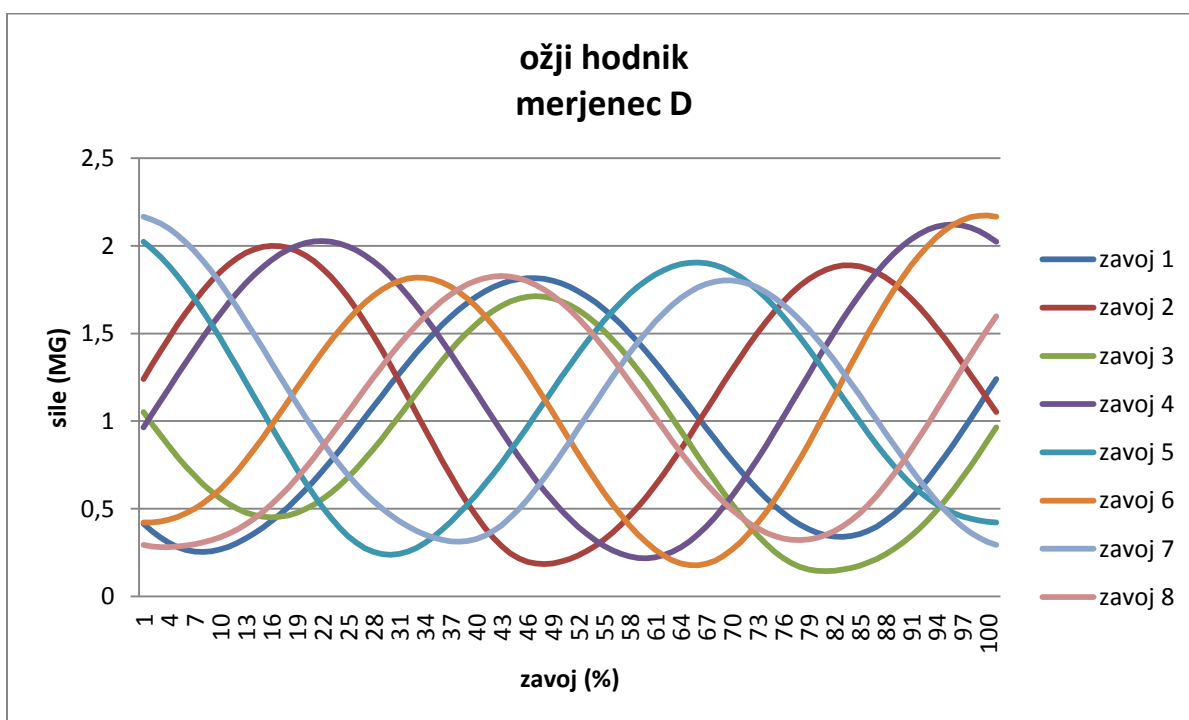


Diagram 236: Sile posameznih zavojev pri storitvi ožji hodnik – merjenec D

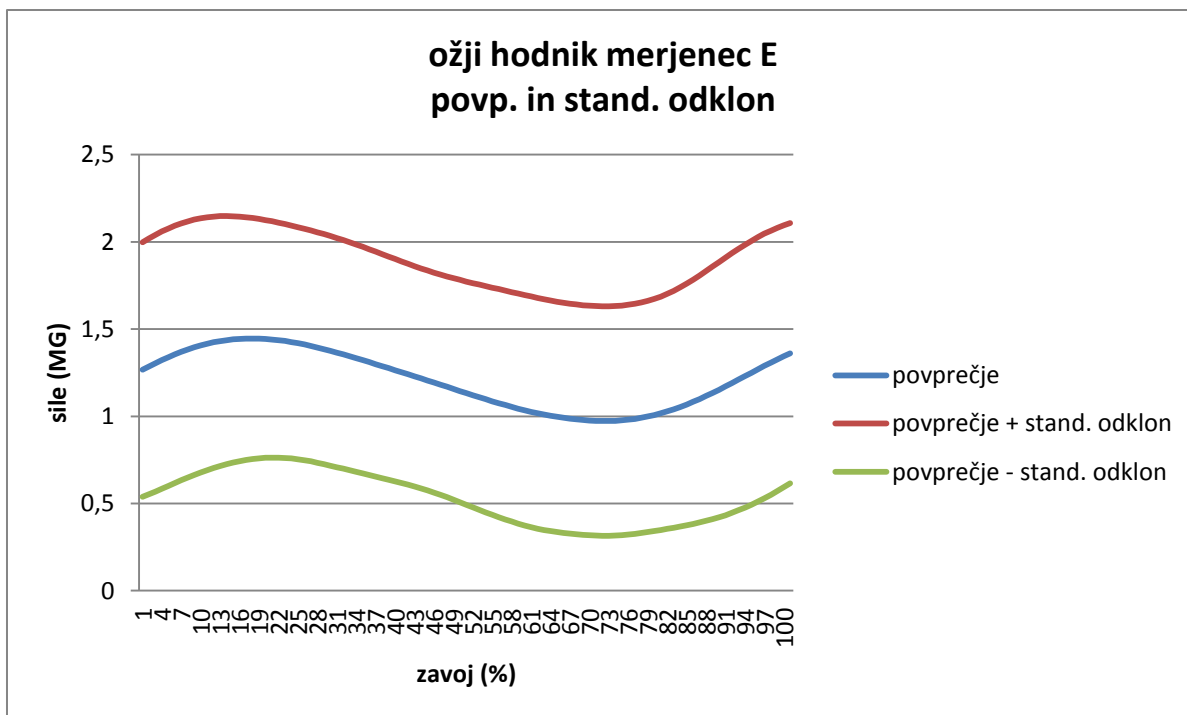


Diagram 237: Povprečje sil pri storitvi ožji hodnik – merjenec E

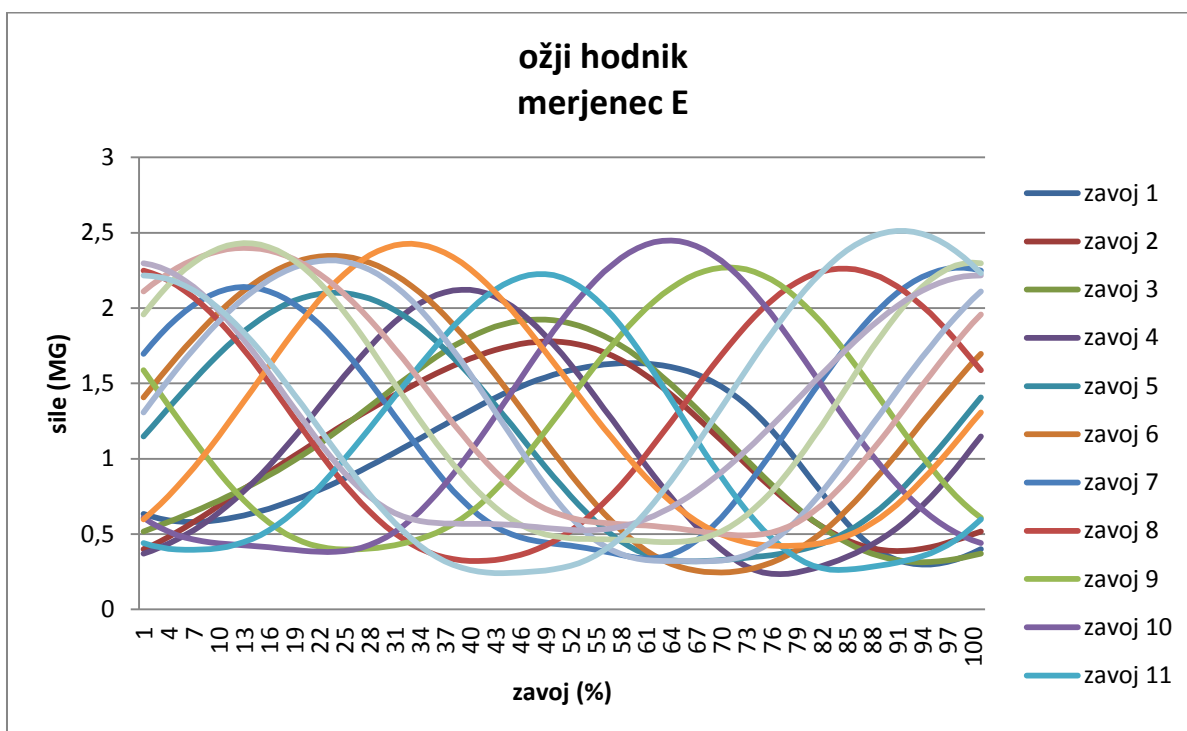


Diagram 238: Sile posameznih zavojev pri storitvi ožji hodnik – merjenec E

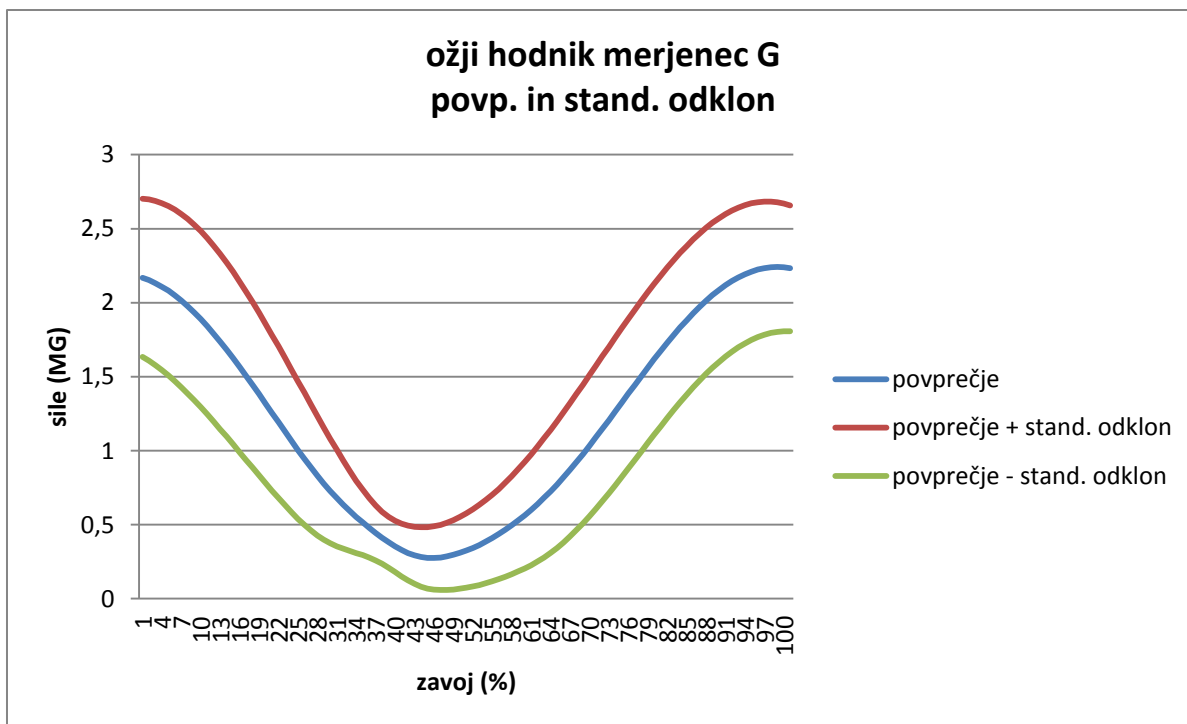


Diagram 239: Povprečje sil pri storitvi ožji hodnik – merjenec G

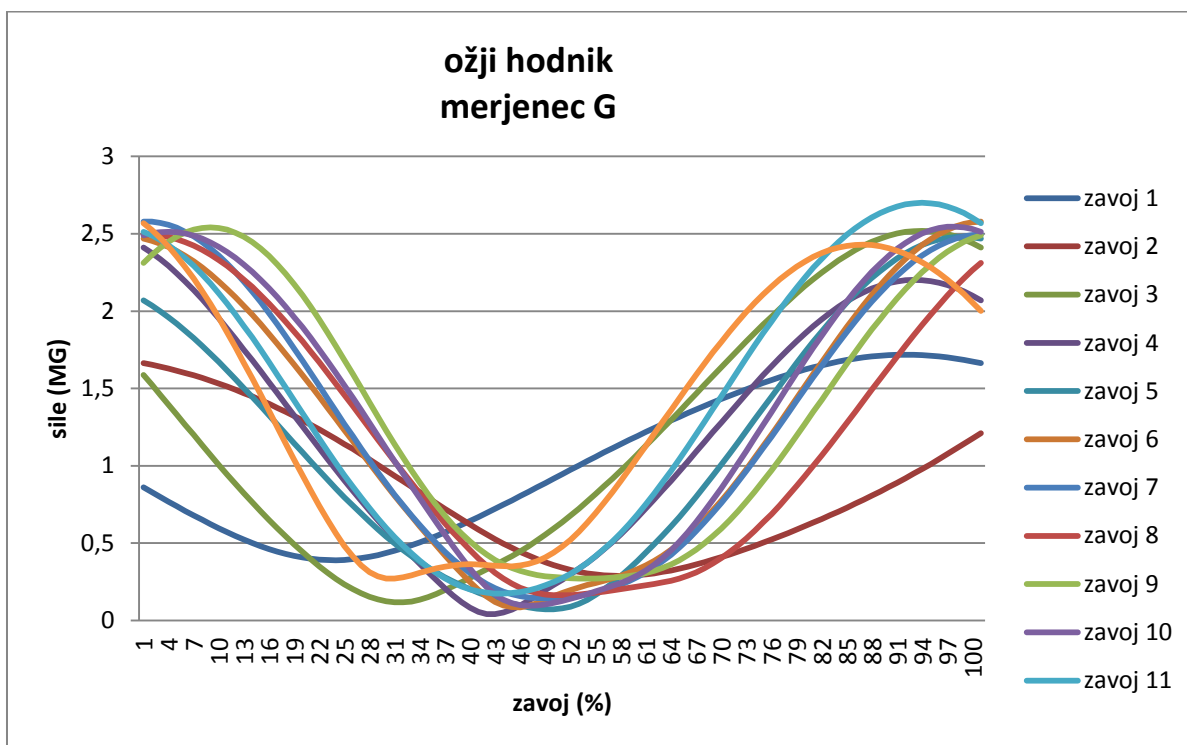


Diagram 240: Sile posameznih zavojev pri storitvi ožji hodnik – merjenec G

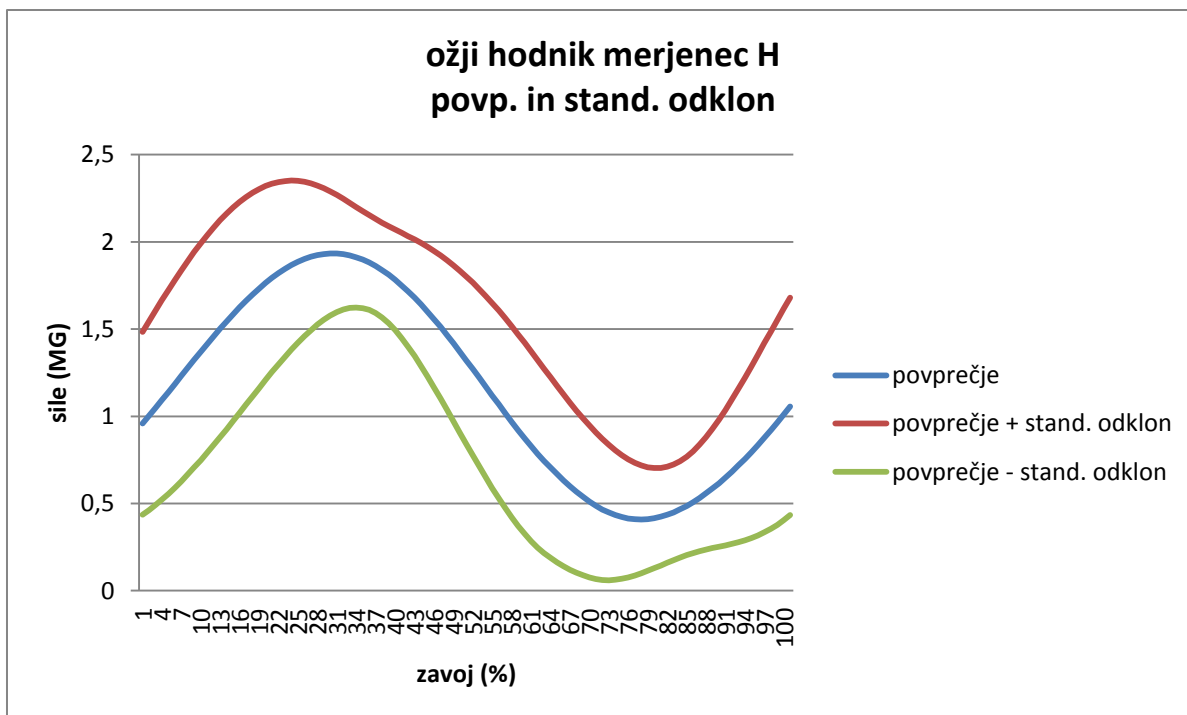


Diagram 241: Povprečje sil pri storitvi ožji hodnik – merjenec H

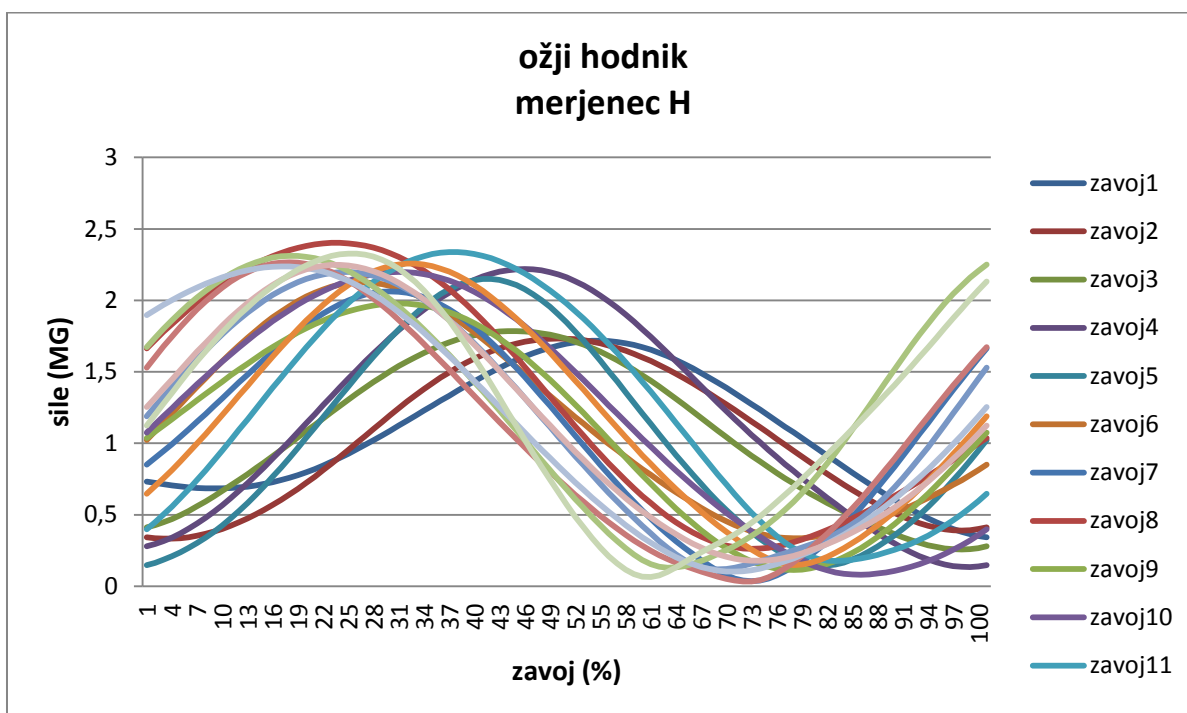


Diagram 242: Sile posameznih zavojev pri storitvi ožji hodnik – merjenec H

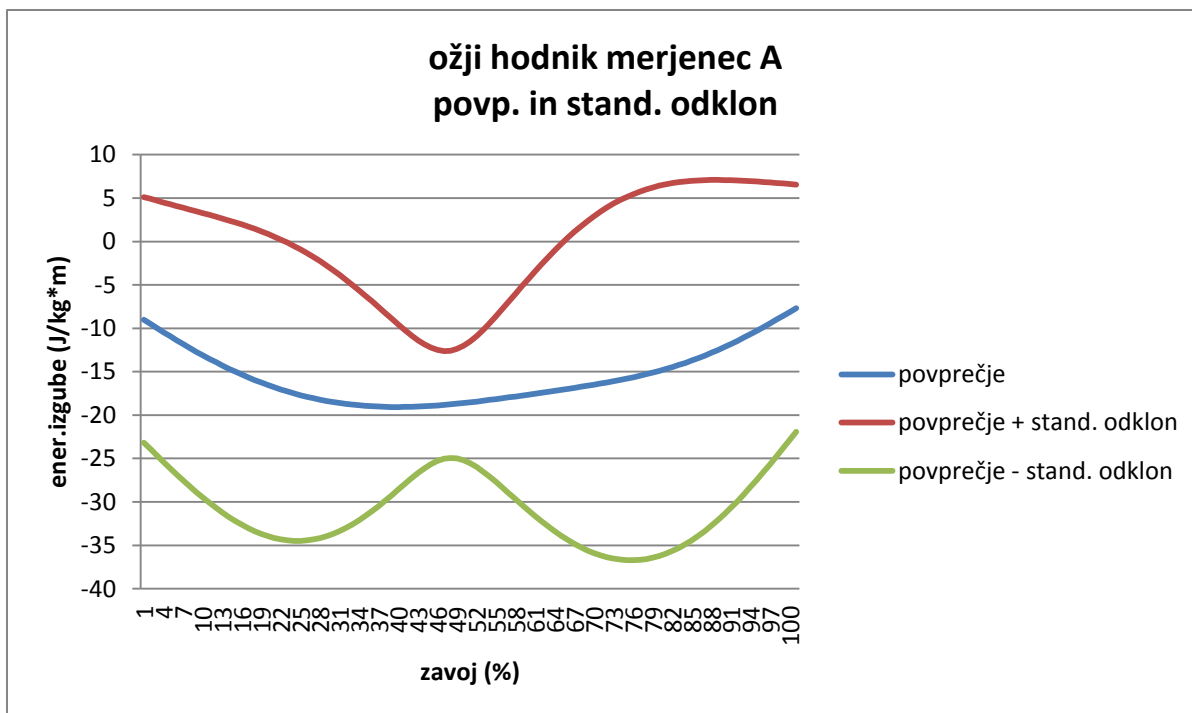


Diagram 243: Povprečje energijskih izgub pri storitvi ožji hodnik – merjenec A

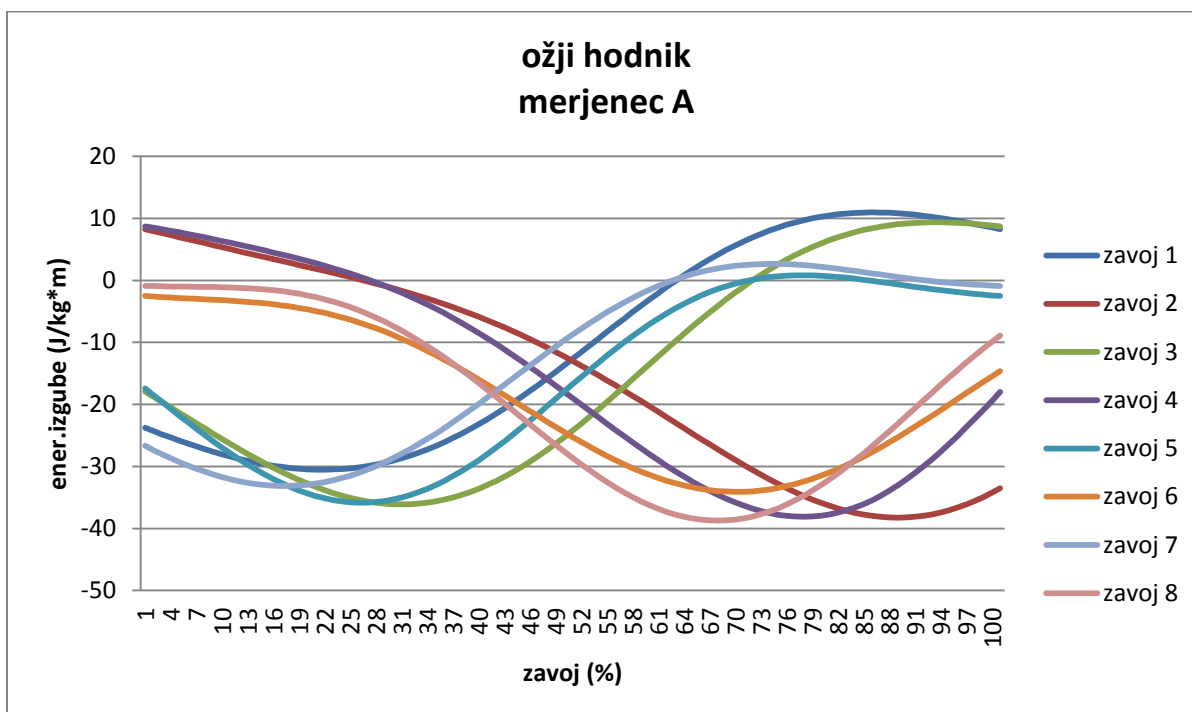


Diagram 244: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi ožji hodnik – merjenec A

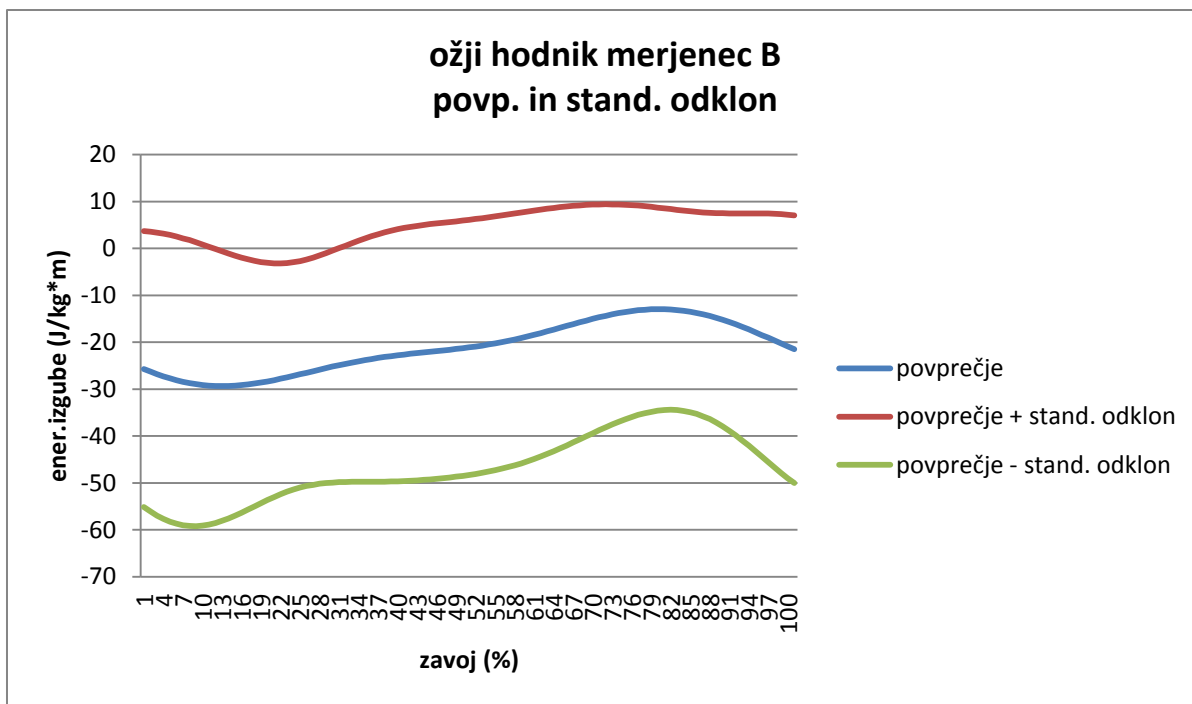


Diagram 245: Povprečje energijskih izgub pri storitvi ožji hodnik – merjenec B

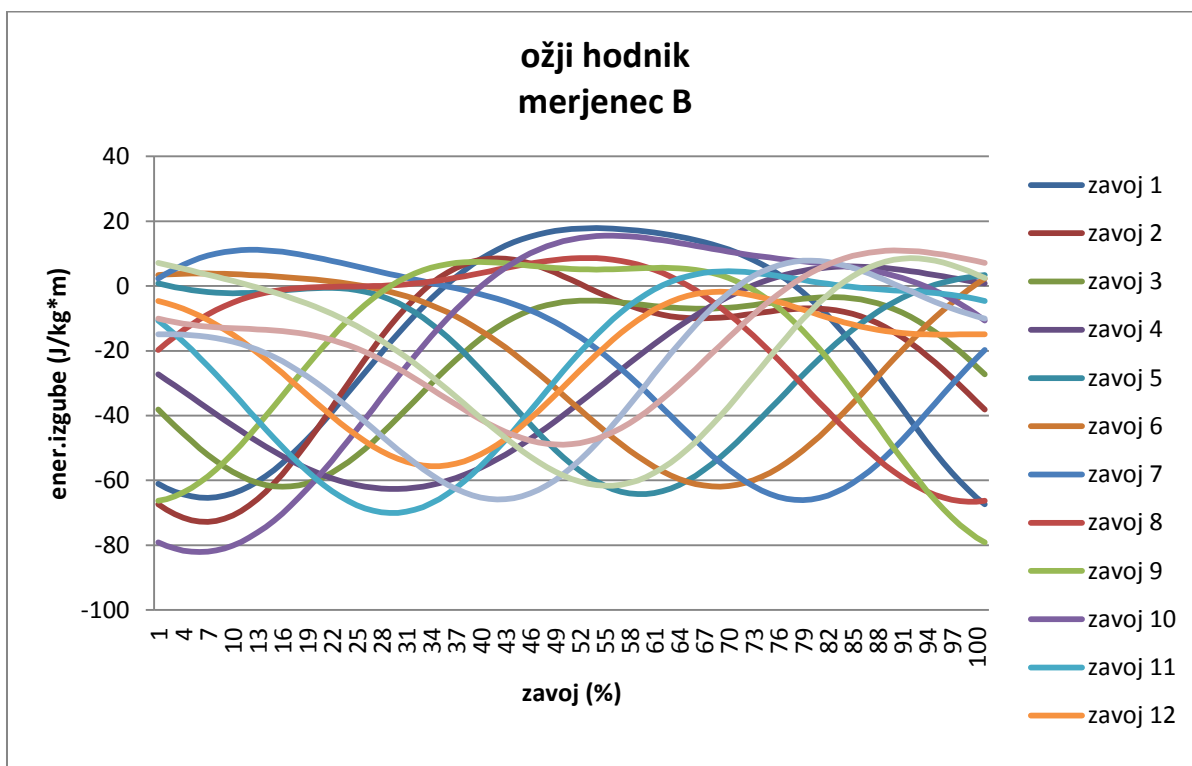


Diagram 246: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi ožji hodnik – merjenec B

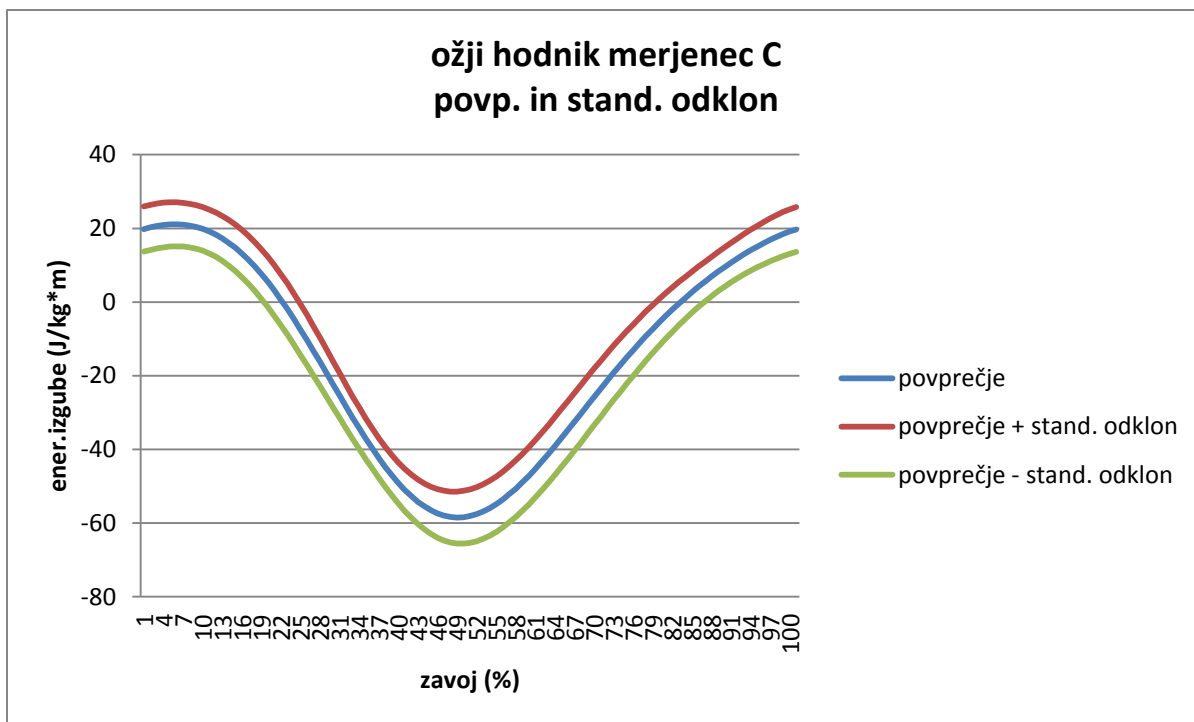


Diagram 247: Povprečje energijskih izgub pri storitvi ožji hodnik – merjenec C

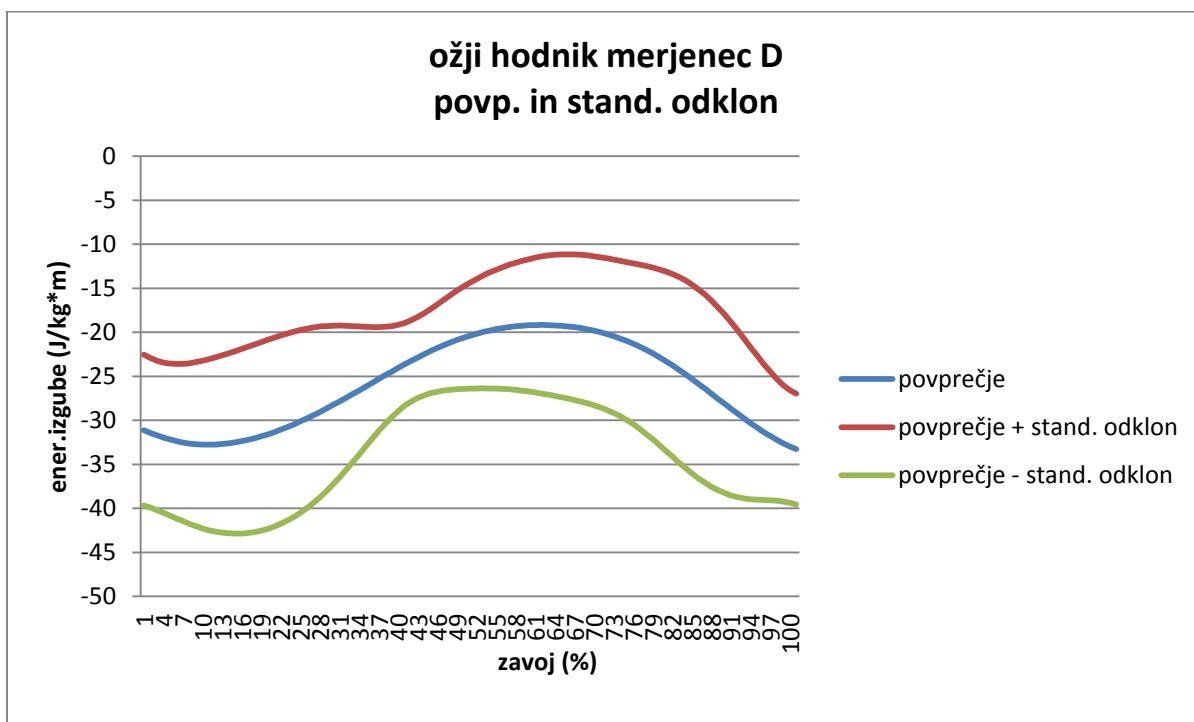


Diagram 248: Povprečje energijskih izgub pri storitvi ožji hodnik – merjenec D

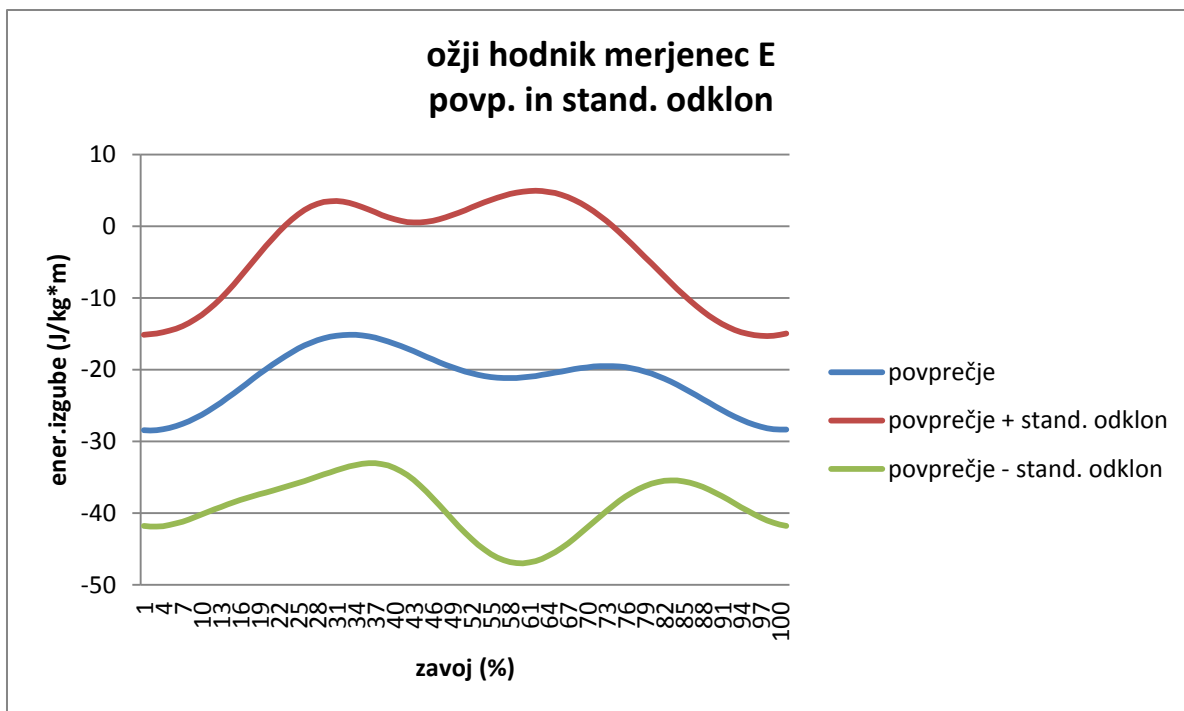


Diagram 249: Povprečje energijskih izgub pri storitvi ožji hodnik – merjenec E

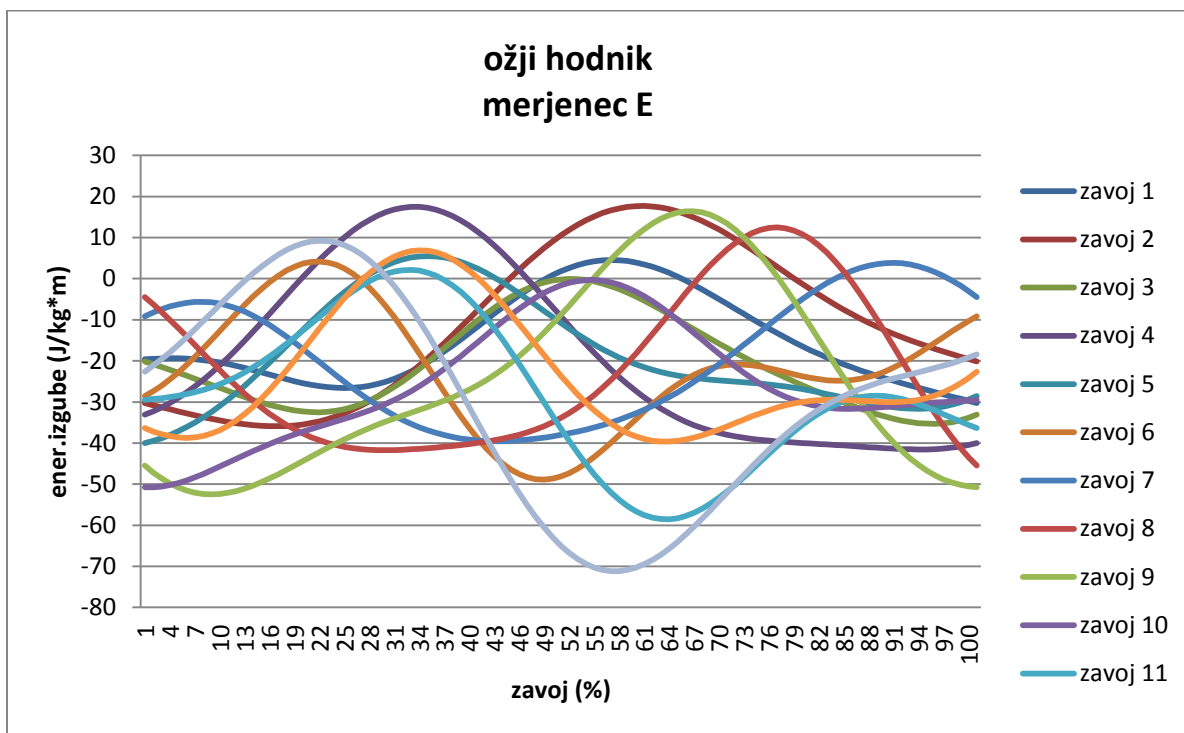


Diagram 250: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi ožji hodnik – merjenec E

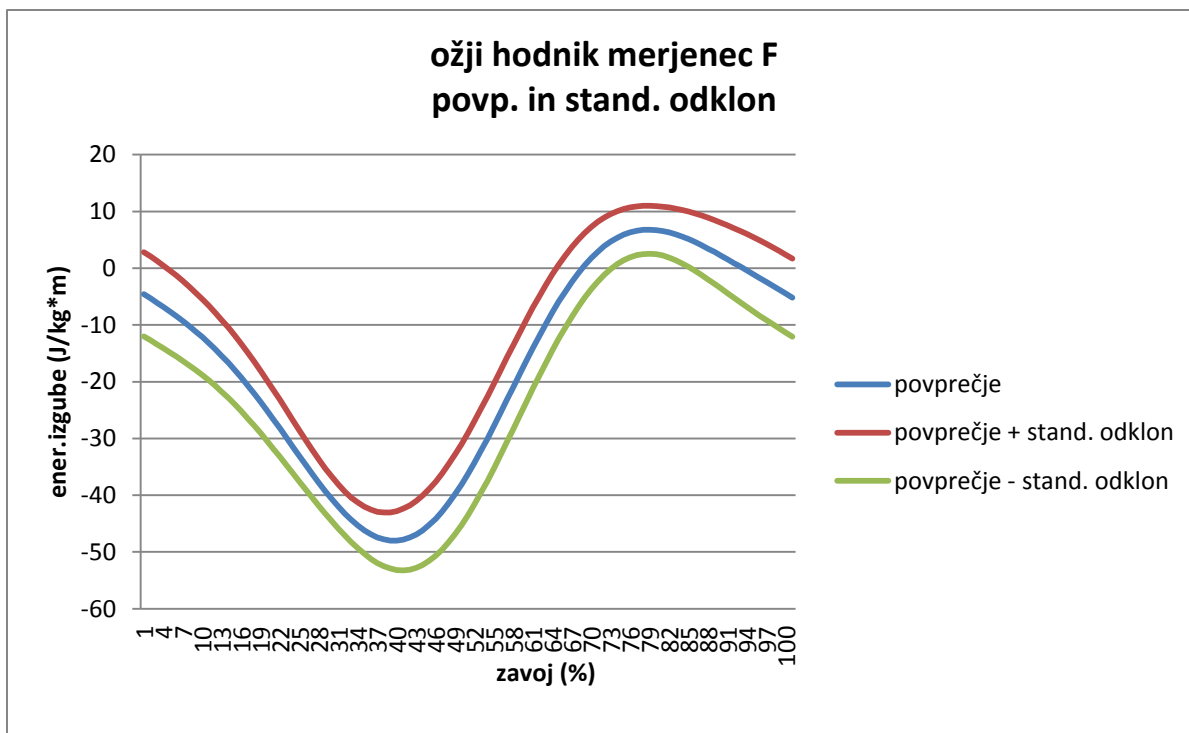


Diagram 251: Povprečje energijskih izgub pri storitvi ožji hodnik – merjenec F

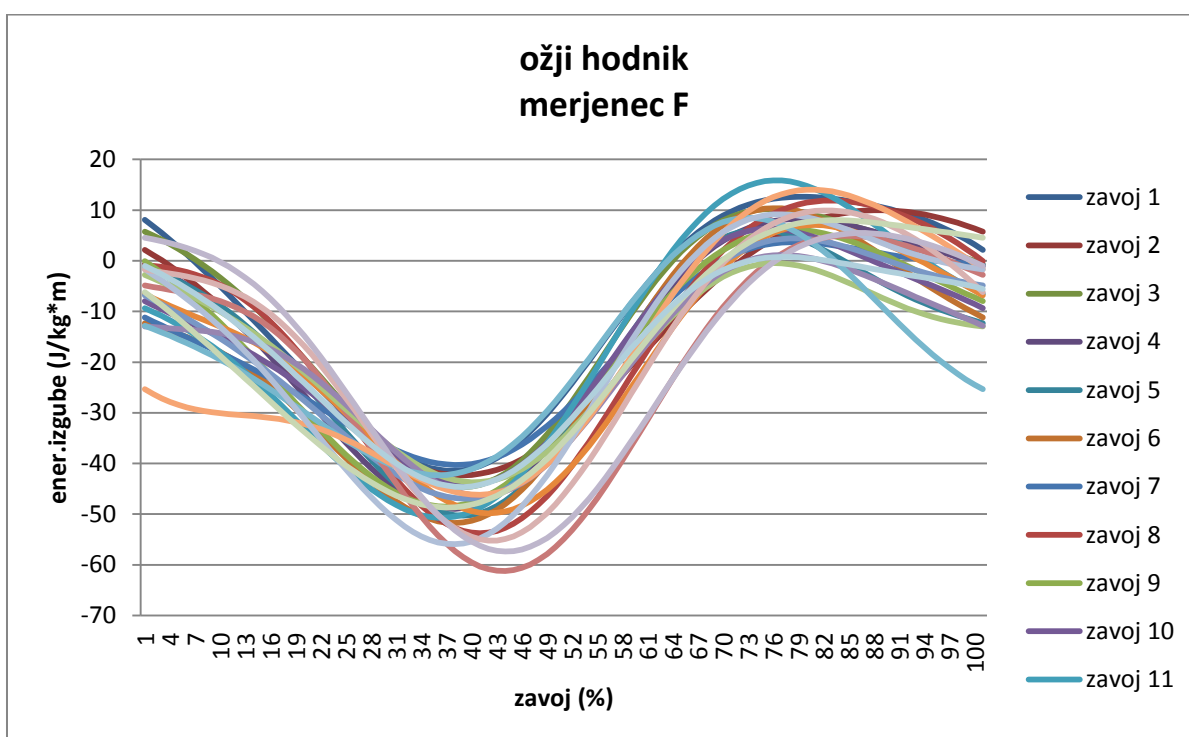


Diagram 252: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi ožji hodnik – merjenec F

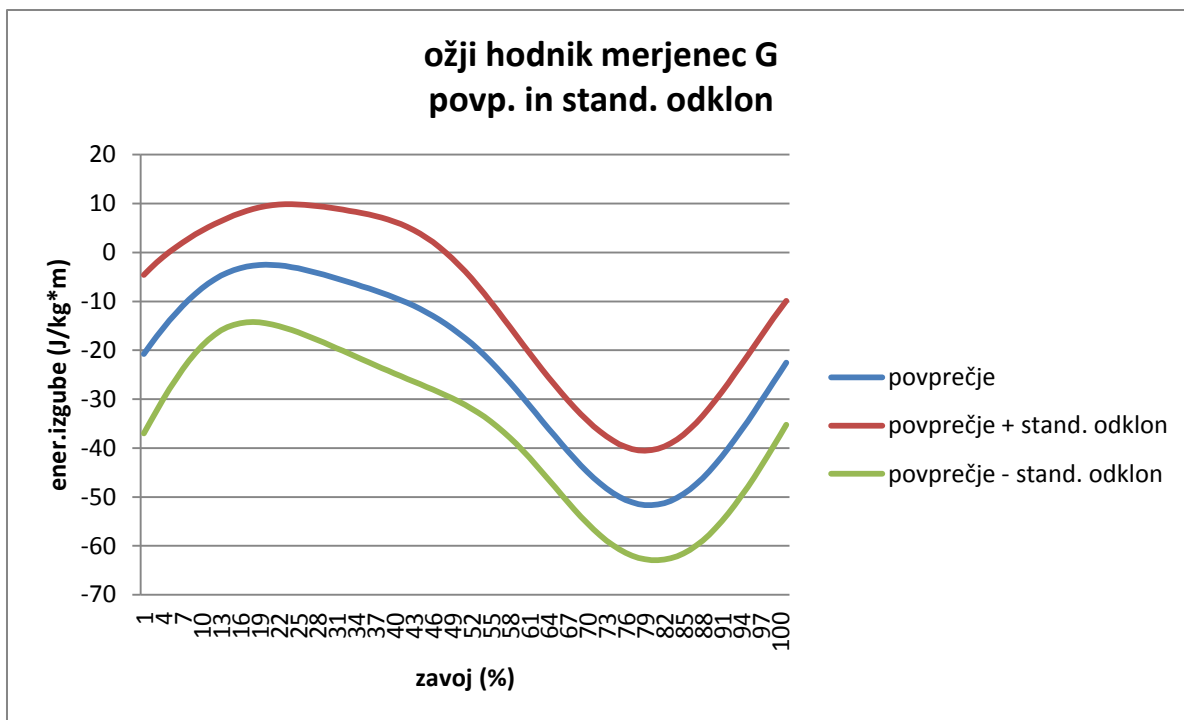


Diagram 253: Povprečje energijskih izgub pri storitvi ožji hodnik – merjenec G

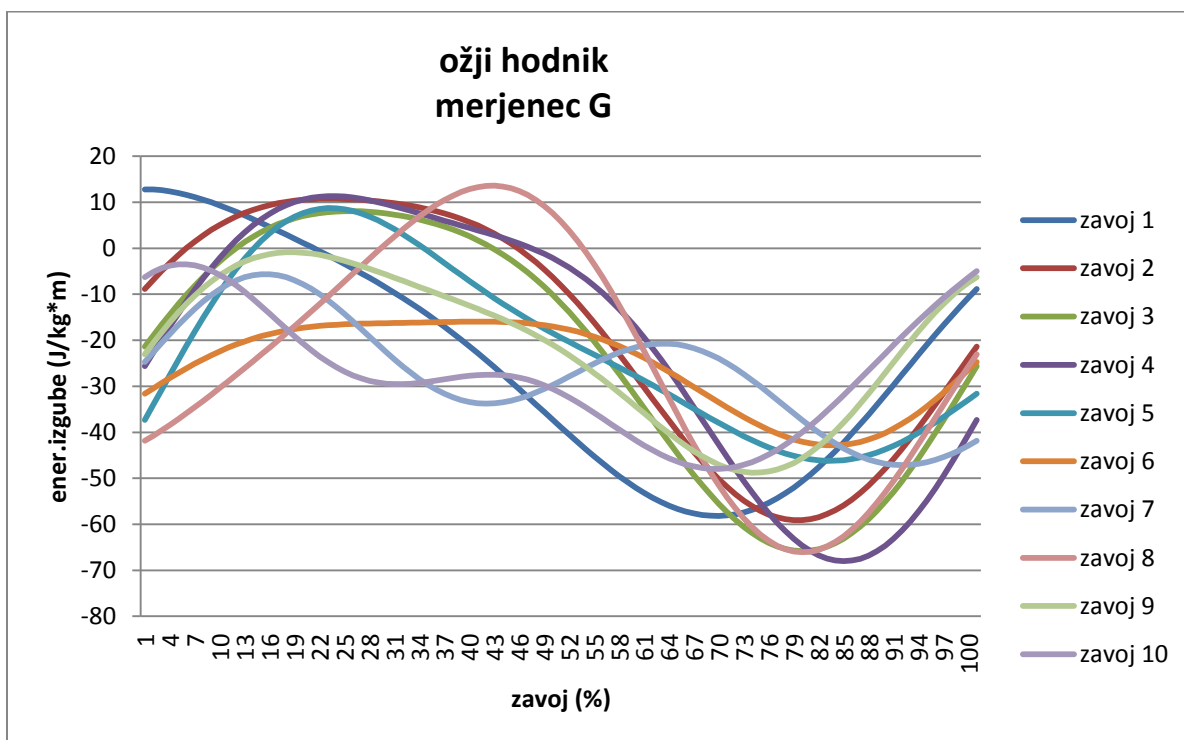


Diagram 254: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi ožji hodnik – merjenec G

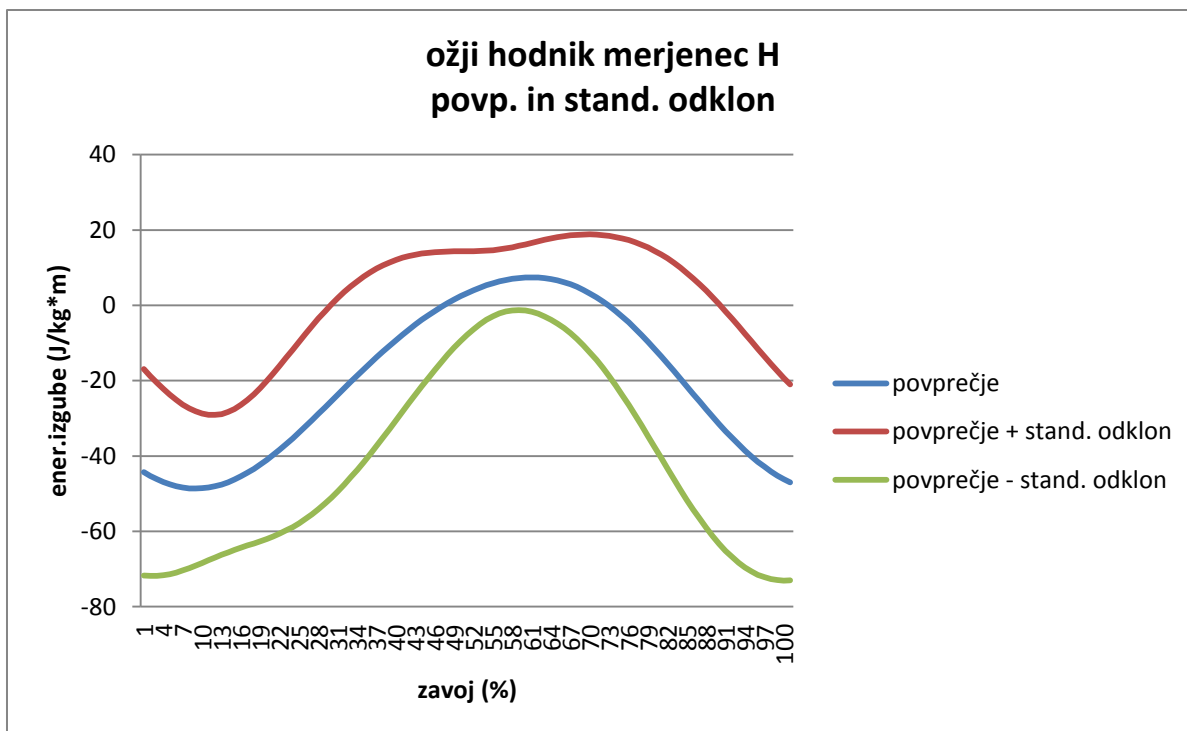


Diagram 255: Povprečje energijskih izgub pri storitvi ožji hodnik – merjenec H

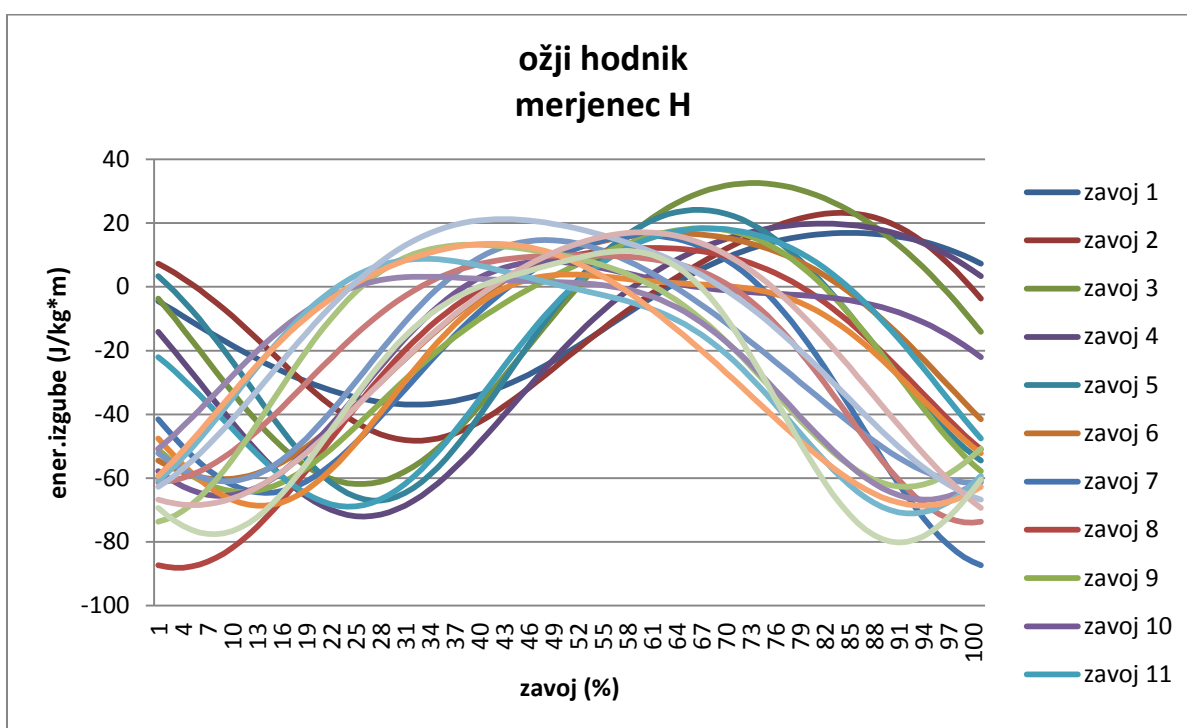


Diagram 256: Energijske izgube posameznih zavojev pri storitvi ožji hodnik – merjenec H

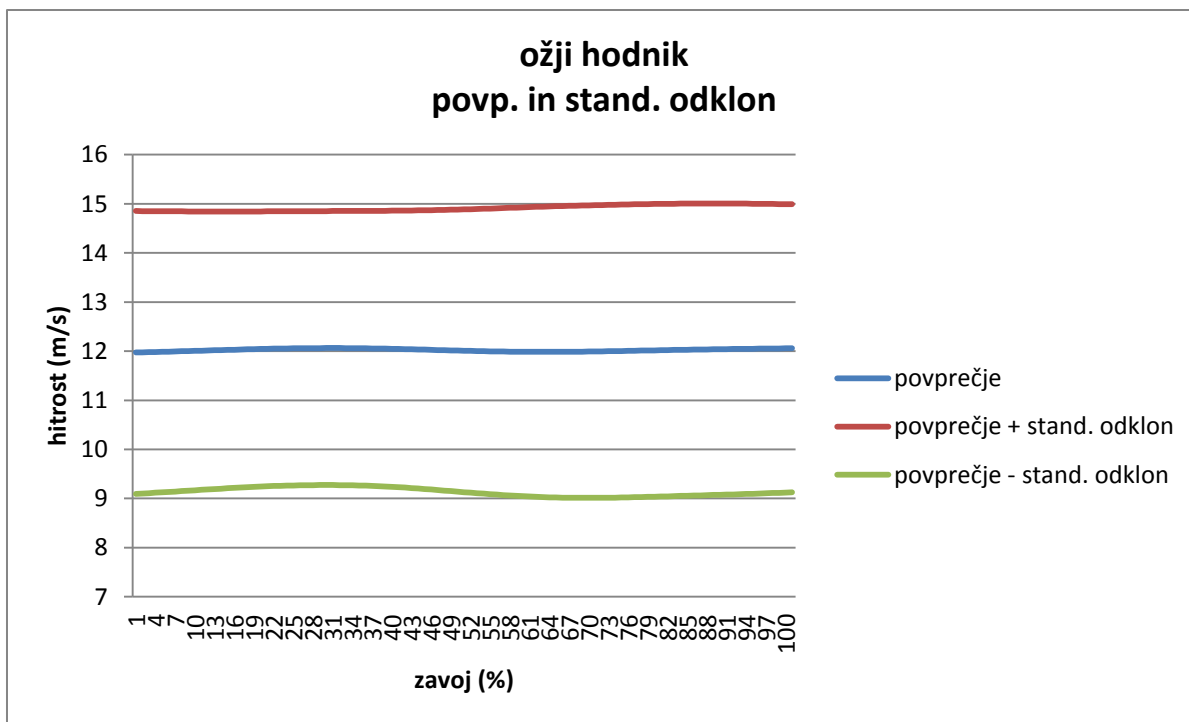


Diagram 257: Skupno povprečje hitrosti pri storitvi ožji hodnik

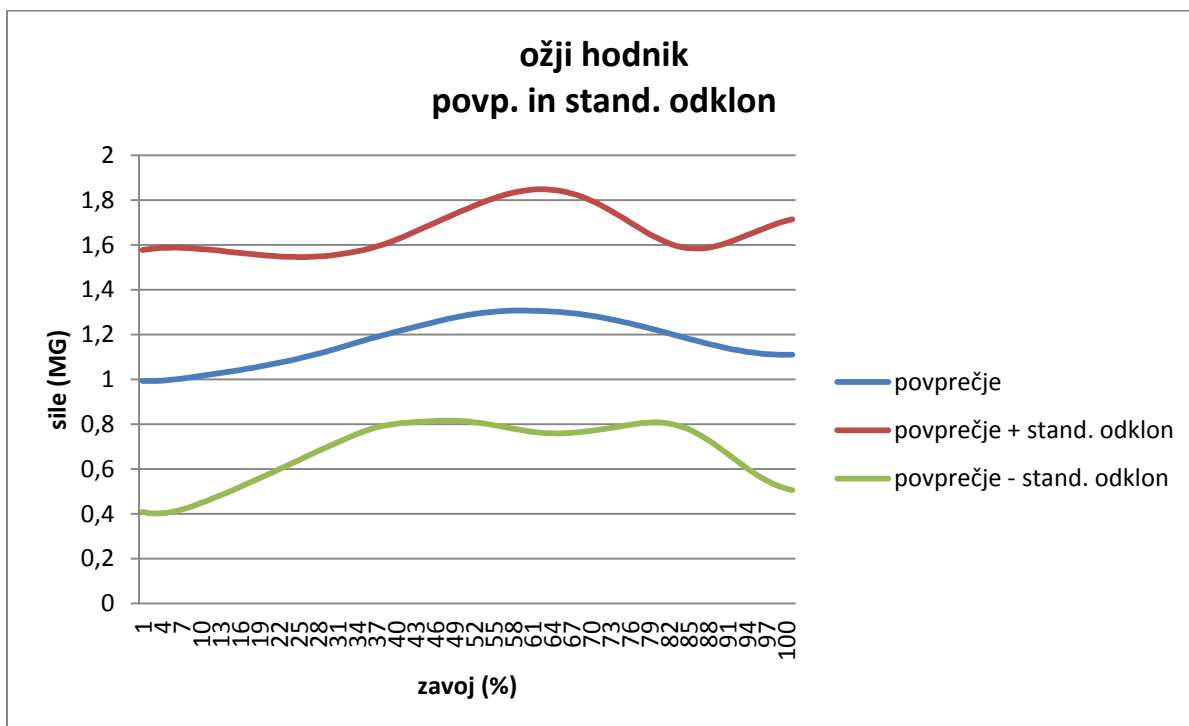


Diagram 258: Skupno povprečje sil pri storitvi ožji hodnik

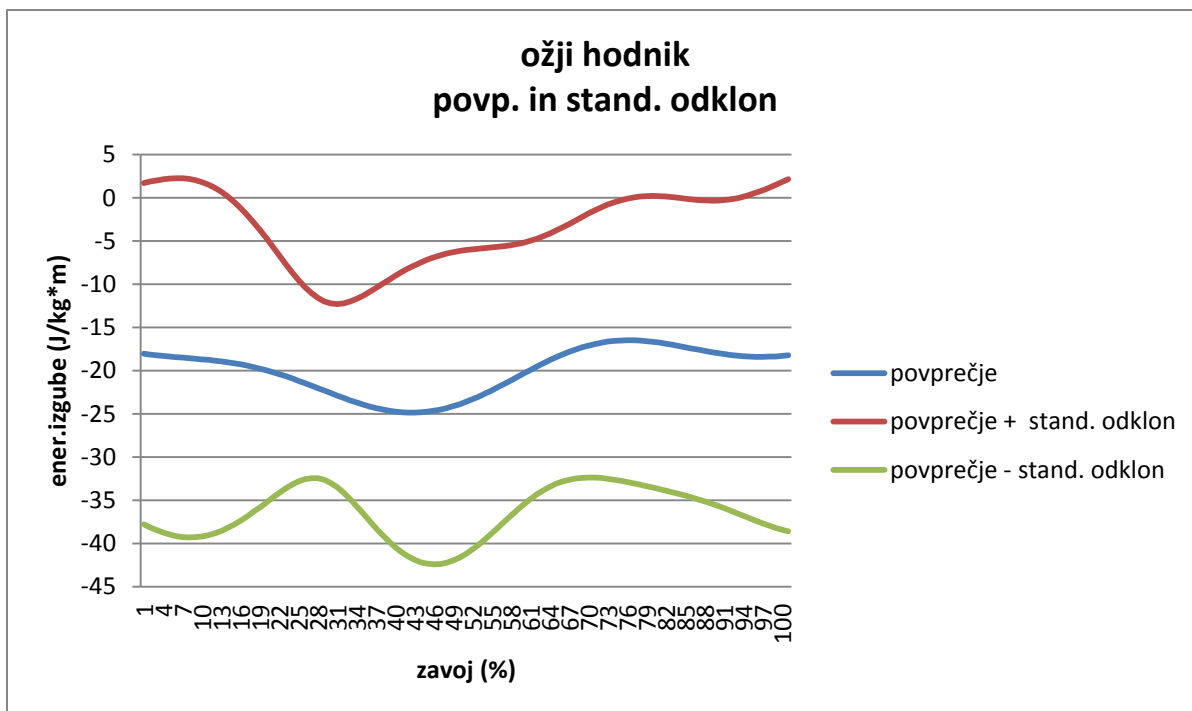


Diagram 259: Skupno povprečje energijskih izgub pri storitvi ožji hodnik