

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Drago VIDIC

**VPLIV TEHNOLOŠKIH PARAMETROV STRUŽENJA
NA TEMPERATURO REZILA**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2005

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Drago VIDIC

**VPLIV TEHNOLOŠKIH PARAMETROV STRUŽENJA NA
TEMPERATURO REZILA**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**EFFECT OF TURNING TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON TOOL
TEMPERATURE**

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana, 2005

Kdor upa, vztraja,
Kdor vztraja, zmaguje;
pogum je sreča.

(T. Svetina)

Vidic D. Vpliv tehnoloških parametrov struženja na temperaturo rezila.

Dipl. delo. Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za lesarstvo, 2005

Diplomsko delo je zaključek Visokošolskega strokovnega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za mehanske obdelovalne tehnologije Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Študijska komisija Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenovala doc. dr. Bojana Bučarja, za recenzenta pa doc. dr. Marjana Mediča.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Član:

doc. dr. Bojan BUČAR

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Član:

doc. dr. Marjan MEDIČ

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Drago Vidic

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Vs
DK	UDK 621.941: 630*823.5
KG	temperatura rezila/struženje/intermitenčno odrezovanje
AV	VIDIC, Drago
SA	BUČAR, Bojan (mentor)/MEDIČ, Marjan (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2005
IN	VPLIV TEHNOLOŠKIH PARAMETROV STRUŽENJA NA TEMPERATURO REZILA
TD	Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
OP	XIII, 55 str., 21 pregl., 52 sl., 8 pril., 11 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Toplotne razmere v postopkih odrezovanja so za boljše razumevanje dogajanja v deformacijskem območju rezil bistvenega pomena. Izvora toplotnih tokov sta 2 in sicer notranje trenje v deformirajočem se materialu ter trenje, ki nastaja med odrezkom, obdelovancem in rezilom. Kadar imamo opraviti z organskimi materiali, je delež notranjega trenja v deformirajočem se materialu praktično zanemarljiv, kar pomeni, da je vsa toplota, ki se v deformacijskem območju rezila razvije, posledica tornih razmer med odrezkom, obdelovancem in rezilom. V postopku struženja smo opazovali vpliv tehnoloških in materialnih parametrov na temperaturo rezila. Temperaturo orodja smo merili s termočlenom, vstavljenim pod rezilno ploščico. Meritve smo opravili pri različnih podajalnih hitrostih, odvzemih in vlažnostih lesa, pri neprekinjenem in intermitenčnem struženju. Rezultati opravljenih analiz kažejo, da naraščajoča podajalna hitrost in globina odrezovanja povzročata povečanje toplotnih tokov oziroma dvig temperature orodja. Vlažnost obdelovancev ima v vseh primerih na temperaturo negativen vpliv. Pri intermitenčnem odrezovanju smo zasledili nižje temperature stružnega orodja. Toplotni tok je v neposredni povezavi z velikostjo rezalne sile.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN	Vs
DC	UDC 621.941: 630*823.5
CX	tool temperature/turning/intermittent cutting
AU	VIDIC, Drago
AA	BUČAR, Bojan (supervisor)/MEDIČ, Marjan (co-advisor)
PP	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB	University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY	2005
TI	EFFECT OF TURNING TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON TOOL TEMPERATURE
DT	Graduation Thesis (Higher professional studies)
NO	XIII, 55 p., 21 tab., 52 fig., 8 ann., 11 ref.
LA	sl
AL	sl/en
AB	Conditions regarding heat generation in the process of cutting are of vital importance for better understanding of the activity going on in the deformation area of a tool. There are 2 sources of heat in this deformation area, namely internal friction arising from a deformational process of a material, and the friction emerging between a chip, workpiece and tool. During the machining of organic materials, the portion of internal friction is practically negligible. That means that entire heat emerging in the deformation area of the tool represents a result of the friction between a chip, workpiece and tool. The influence of technological and material parameters on heat generation in a process of turning was surveyed. The temperature of the tool was measured by a thermocouple set under the cutting insert. The measurements were carried out at different feed rates, depths of cut and moisture contents. The research was carried out at continuous and intermittent turning. The results of the analyses show that the increase in feed rate and depth of cut cause increase in heat generation and temperature. Under all circumstances, humidity of the workpiece negatively influences heat generation. In the case of intermittent turning, lower tool temperature was noticed, as a result of decrease in heat generation. The results show that heat is in a direct correlation with the magnitude of the cutting force.

KAZALO VSEBINE

	Str.
Ključna dokumentacijska informacija	III
Key words documentation	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo slik	VIII
Kazalo preglednic	X
Kazalo prilog	XI
Okrajšave in simboli	XII
1 UVOD	1
2 PREGLED OBJAV	2
2.1 IZBIRA TEHNIKE MERJENJA IN ODREZOVANJE	2
2.2 MERJENJE TEMPERATURE S TERMOČLENOM	8
3 MATERIAL IN METODE	10
3.1 NAPRAVA	10
3.1.1 Suport	10
3.1.2 Nosilno telo noža	11
3.1.3 Nož	13
3.1.4 Odsesovalno ustje	13
3.1.5 Merilnik pozicije	13
3.1.6 Merilnik obratov	15
3.1.7 Hladilni sistem olja	16
3.1.8 Postavitev termočlena	17
3.1.9 Rezalni parametri	18
3.2 INTERMITENČNO STRUŽENJE	18
3.2.1 Načrt in slika šablone	21
3.3 PREIZKUŠANCI	22
3.3.1 Meritve vlažnosti obdelovancev	23
3.4 NAČRT MERITVE	24
4 REZULTATI MERITEV	25
4.1 TEMPERATURA PRI ODREZOVANJU MASIVNE BUKOVINE Z VLAŽNOSTJO 11,67%	25
4.1.1 Podajalna hitrost orodja 0,6m/min odvzem 2mm	25
4.1.2 Podajalna hitrost orodja 0,6m/min odvzem 3mm	26
4.1.3 Podajalna hitrost orodja 1,2m/min odvzem 2mm	27
4.1.4 Podajalna hitrost orodja 1,2m/min odvzem 3mm	28
4.2 TEMPERATURA PRI ODREZOVANJU MASIVE Z VLAŽNOSTJO 30,72%	29
4.2.1 Podajalna hitrost orodja 0,6m/min odvzem 2mm	29

4.2.2	Podajalna hitrost orodja 0,6m/min odvzem 3mm	30
4.2.3	Podajalna hitrost orodja 1,2m/min odvzem 2mm	31
4.2.4	Podajalna hitrost orodja 1,2m/min odvzem 3mm	32
4.3	TEMPERATURA PRI ODREZOVANJU MDF PREIZKUŠANCA	33
4.3.1	Podajalna hitrost orodja 0,6m/min odvzem 2mm	33
4.3.2	Podajalna hitrost orodja 0,6m/min odvzem 3mm	34
4.3.3	Podajalna hitrost orodja 1,2m/min odvzem 2mm	35
4.3.4	Podajalna hitrost orodja 1,2m/min odvzem 3mm	36
4.4	TEMPERATURA PRI INTERMITENČNEM DISKONTINUIRANEM ODREZOVANJU MDF PREIZKUŠANCA	37
4.4.1	Podajalna hitrost orodja 0,6m/min odvzem 2mm	37
4.4.2	Podajalna hitrost orodja 0,6m/min odvzem 3mm	38
5	PRIMERJAVA REZULTATOV MERITEV	39
5.1	PRIMERJAVA TEMPERATUR ODREZOVANJA PRI ENAKI PODAJALNI HITROSTI	39
5.1.1	Podajalna hitrost orodja 0,6m/min	39
5.1.2	Podajalna hitrost orodja 1,2m/min	41
5.2	PRIMERJAVA TEMPERATUR PRI ODREZOVANJU OBDELOVANCEV ENAKE VLAŽNOSTI	42
5.2.1	Vlažnost obdelovanca u =11,67%	42
5.2.2	Vlažnost obdelovanca u=30,72%	43
5.3	PRIMERJAVA TEMPERATUR ODREZOVANJA PRI ENAKEM ODVZEMU	45
5.3.1	Odvzem a_z =2mm	45
5.3.2	Odvzem a_z =3mm	46
5.4	PRIMERJAVA TEMPERATUR ODREZOVANJA MDF PRI ENAKEM ODVZEMU	47
5.4.1	Odvzem a_z=2mm	47
5.4.2	Odvzem a_z=3mm	48
6	RAZPRAVA IN SKLEPI	49
6.1	VPLIV PODAJALNE HITROSTI ORODJA	49
6.2	VPLIV ODVZEMA MATERIALA	50
6.3	VPLIV VLAŽNOSTI	50
6.4	VPLIV GOSTOTE	50
6.5	VPLIV INTERMITENČNEGA DISKONTINUIRANEGA ODREZOVANJA	51
7	POVZETEK	52
8	VIRI	54
	ZAHVALA	

PRILOGE

KAZALO SLIK

	Str.
Slika 2-1. Mesto nastanka in porazdelitev toplove med odrezovanjem	4
Slika 2-2. Odvisnost porušitvene trdnosti od smeri rasti glede na obremenitev pri različnih vlažnostih lesa	7
Slika 2-3. Vpliv vlažnosti na trdote borovine po Brinelu	7
Slika 2-4. Seebekov potencial	8
Slika 2-5. Merjenje temperature z referenčnim spojem	8
Slika 2-6. Referenčni spoj	9
Slika 3-1. Suport stroja	10
Slika 3-2. Načrt novega suporta	11
Slika 3-3. Nosilno telo noža	12
Slika 3-4. Pogled na merilno skalo in držaj vpet v suport	12
Slika 3-5. Spodnje in zgornje odsesovalno ustje	13
Slika 3-6. Pritrditev merilnika pozicije	14
Slika 3-7. Podajalna hitrost po času	14
Slika 3-8. Izhodna napetost in vrtilna hitrost	15
Slika 3-9. DC motor	15
Slika 3-10. Pritrditev merilnika vrtilne hitrosti	16
Slika 3-11. Hladilni sistem olja	17
Slika 3-12. Izvedba hlajenja olja	17
Slika 3-13. Mesto spoja termočlena	17
Slika 3-14. Rezalni koti odrezovanja	18
Slika 3-15. Intermitenčno struženje	19
Slika 3-16. Preizkušanec za intermitenčno struženje	21
Slika 3-17. Načrt delitve obdelovanca	21
Slika 3-18. Izdelava preizkušanca za intermitenčno odrezovanje	22
Slika 3-19. Masivni preizkušanec normalne vlažnosti in MDF preizkušanec	22
Slika 4-1. Meritve temperature pri obdelavi bukovine; $a_z=2\text{mm}$, $u=11,67\%$	25
Slika 4-2. Meritve temperature pri obdelavi bukovine; $v_p=0,6\text{m/min}$, $a_z=3\text{mm}$, $u=11,67\%$	26
Slika 4-3. Meritve temperature pri obdelavi bukovine; $v_p=1,2\text{m/min}$, $a_z=2\text{mm}$, $u=11,67\%$	27
Slika 4-4. Meritve temperature pri obdelavi bukovine; $v_p=1,2\text{m/min}$, $a_z=3\text{mm}$, $u=11,67\%$	28
Slika 4-5. Meritve temperature pri obdelavi bukovine; $v_p=0,6\text{m/min}$, $a_z=2\text{mm}$, $u=30,72\%$	29
Slika 4-6. Meritve temperature pri obdelavi bukovine; $v_p=0,6\text{m/min}$, $a_z=3\text{mm}$, $u=30,72\%$	30

Slika 4-7.	Meritve temperature pri obdelavi bukovine; $v_p=1,2\text{m/min}$, $a_z=2\text{mm}$, $u=30,72\%$	31
Slika 4-8.	Meritve temperature pri obdelavi bukovine; $v_p=1,2\text{m/min}$, $a_z=3\text{mm}$, $u=30,72\%$	32
Slika 4-9.	Meritve temperature pri obdelavi MDF; $v_p=0,6\text{m/min}$, $a_z=2\text{mm}$	33
Slika 4-10.	Meritve temperature pri obdelavi MDF; $v_p=0,6\text{m/min}$, $a_z=3\text{mm}$	34
Slika 4-11.	Meritve temperature pri obdelavi MDF; $v_p=1,2\text{m/min}$, $a_z=2\text{mm}$	35
Slika 4-12.	Meritve temperature pri obdelavi MDF; $v_p=1,2\text{m/min}$, $a_z=3\text{mm}$	36
Slika 4-13.	Meritve temperature pri intermitenčnem odrezovanju; $v_p=0,6\text{m/min}$, $a_z=2\text{mm}$	37
Slika 4-14.	Meritve temperature pri intermitenčnem odrezovanju; $v_p=0,6\text{m/min}$, $a_z=3\text{mm}$	38
Slika 5-1.	Primerjava temperatur pri obdelavi z enako podajalno hitrostjo $v_p=0,6\text{m/min}$	39
Slika 5-2.	Primerjava maksimalnih temperatur pri obdelavi z enako podajalno hitrostjo $v_p=0,6\text{m/min}$	40
Slika 5-3.	Primerjava temperatur pri obdelavi z enako podajalno hitrostjo $v_p=1,2\text{m/min}$	41
Slika 5-4.	Primerjava maksimalnih temperatur pri obdelavi z enako podajalno hitrostjo $v_p=1,2\text{m/min}$	41
Slika 5-5.	Primerjava temperatur pri obdelavi obdelovancev enake vlažnosti $u=11,67\%$	42
Slika 5-6.	Primerjava maksimalnih temperatur pri obdelavi obdelovancev enake vlažnosti $u=11,67\%$	42
Slika 5-7.	Primerjava temperatur pri obdelavi obdelovancev enake vlažnosti $u=30,72\%$	43
Slika 5-8.	Primerjava maksimalnih temperatur pri obdelavi obdelovancev enake vlažnosti $u=30,72\%$	44
Slika 5-9.	Primerjava temperatur obdelave pri enakem odvzemu $a_z=2\text{mm}$	45
Slika 5-10.	Primerjava maksimalnih temperatur obdelave pri enakem odvzemu $a_z=2\text{mm}$	45
Slika 5-11.	Primerjava temperatur obdelave pri enakem odvzemu $a_z=3\text{mm}$	46
Slika 5-12.	Primerjava maksimalnih temperatur obdelave pri enakem odvzemu $a_z=3\text{mm}$	46
Slika 5-13.	Primerjava temperatur obdelave MDF pri enakem odvzemu $a_z=2\text{mm}$	47
Slika 5-14.	Primerjava temperatur obdelave MDF pri enakem odvzemu $a_z=3\text{mm}$	48

KAZALO PREGLEDNIC

	Str.
Preglednica 3-1. Tehnični podatki DC motorja	16
Preglednica 3-2. Vlažnost masivnih obdelovancev	23
Preglednica 4-1. Rezultati merjenja temperature; $v_p=0,6\text{m/min}$, $a_z=2\text{mm}$, $u=11,67\%$	25
Preglednica 4-2. Rezultati merjenja temperature; $v_p=0,6\text{m/min}$, $a_z=3\text{mm}$, $u=11,67\%$	26
Preglednica 4-3. Rezultati merjenja temperature; $v_p=1,2\text{m/min}$, $a_z=2\text{mm}$, $u=11,67\%$	27
Preglednica 4-4. Rezultati merjenja temperature; $v_p=1,2\text{m/min}$, $a_z=3\text{mm}$, $u=11,67\%$	28
Preglednica 4-5. Rezultati merjenja temperature; $v_p=0,6\text{m/min}$, $a_z=2\text{mm}$, $u=30,72\%$	29
Preglednica 4-6. Rezultati merjenja temperature; $v_p=0,6\text{m/min}$, $a_z=2\text{mm}$, $u=30,72\%$	30
Preglednica 4-7. Rezultati merjenja temperature; $v_p=1,2\text{m/min}$, $a_z=2\text{mm}$, $u=30,72\%$	31
Preglednica 4-8. Rezultati merjenja temperature; $v_p=1,2\text{m/min}$, $a_z=3\text{mm}$, $u=30,72\%$	32
Preglednica 4-9. Rezultati merjenja temperature; $v_p=0,6\text{m/min}$, $a_z=2\text{mm}$	33
Preglednica 4-10. Rezultati merjenja temperature; $v_p=0,6\text{m/min}$, $a_z=3\text{mm}$	35
Preglednica 4-11. Rezultati merjenja temperature; $v_p=1,2\text{m/min}$, $a_z=2\text{mm}$	36
Preglednica 4-12. Rezultati merjenja temperature; $v_p=1,2\text{m/min}$, $a_z=3\text{mm}$	36
Preglednica 4-13. Rezultati merjenja temperature; $v_p=0,6\text{m/min}$, $a_z=2\text{mm}$	38
Preglednica 4-14. Rezultati merjenja temperature; $v_p=0,6\text{m/min}$, $a_z=3\text{mm}$	39
Preglednica 5-1. Primerjava meritev temperatur pri obdelavi z enako podajalno hitrostjo $v_p=0,6\text{m/min}$	40
Preglednica 5-2. Primerjava meritev temperatur pri obdelavi z enako podajalno hitrostjo $v_p=1,2\text{m/min}$	41
Preglednica 5-3. Primerjava meritev temperatur pri obdelavi obdelovancev enake vlažnosti $u=11,67\%$	43
Preglednica 5-4. Primerjava meritev temperatur pri obdelavi obdelovancev enake vlažnosti $u=30,72\%$	44
Preglednica 5-5. Primerjava meritev temperatur obdelave pri enakem odvzemu $a_z=2\text{mm}$	45
Preglednica 5-6. Primerjava meritev temperatur obdelave pri enakem odvzemu $a_z=3\text{mm}$	47

KAZALO PRILOG

PRILOGA A – Meritve temperature pri odrezovanju bukovine $u=11,67\%$, $v_p=0,6\text{m/min}$

PRILOGA B – Meritve temperature pri odrezovanju bukovine $u=30,72\%$, $v_p=0,6\text{m/min}$

PRILOGA C – Meritve temperature pri odrezovanju bukovine $u=11,67\%$, $v_p=1,2\text{m/min}$

PRILOGA D – Meritve temperature pri odrezovanju bukovine $u=30,72\%$, $v_p=1,2\text{m/min}$

PRILOGA E – Meritve temperature pri odrezovanju MDF $v_p=1,2\text{m/min}$

PRILOGA F – Meritve temperature pri odrezovanju MDF $v_p=0,6\text{m/min}$

PRILOGA G – Meritve temperature pri intermitenčnem struženju MDF $v_p=0,6\text{m/min}$

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

A	- delo [J]
ā	- aritmetična sredina
a_f	- globina odvzema materiala [mm]
a_f orodja	- globina odvzema orodja [mm]
D	- premer orodja [m]
D_{ID}	- premer kolesa dajalnika pozicije [m]
d	- premer obdelovanca [m]
Ef_{orodja}	- efektivnost orodja
Ef_{struženja}	- efektivnost struženja
e_{AB}	- Seebekov potencial[V/K]
F_n	- normalna komponenta rezalne sile [N]
F_r	- rezalna sila [N]
F_t	- tangencialna komponenta rezalne sile [N]
h	- debelina odrezka [mm]
k_t	- koeficient trenja
n	- vrtilna hitrost orodja [min ⁻¹]
n_s	- vrtilna hitrost obdelovanca [min ⁻¹]
r	- radij zaobljenosti rezila [mm]
s	- pot [m]
T	- temperatura [°C]
t_{Ef}	- čas efektivnega odrezovanja orodja [s]
t_{vrtljaja obdelovanca}	- čas enega vrtljaja obdelovanca [s]
t_{vrtljaja orodja}	- čas enega vrtljaja orodja [s]
U	- napetost [A]
u	- vlažnost obdelovanca [%]
v_p	- podajalna hitrost [m/min]
v_r	- hitrost rezanja [m/s]
z	- število zob orodja
Q	- oddana toplota
α_{odrezovanja}	- kot odrezovanja [°]
α_p	- koeficient proporcionalnosti termočlena
α, β, γ	- koti rezanja [°]
α	- prosti kot [°]
β	- rezilni kot [°]

- γ - prsní kot [°]
 ρ - gostota obdelovanca [kg/m³]
 φ - dolžina loka odrezka [°]

1 UVOD

Temperatura orodja ima v lesarstvu večinoma negativen prizvok. Povišanje temperature orodja je običajno posledica nabiranja nečistoč na orodju ali obrabe orodja. Visoka temperatura občutno poveča otopitev orodij s HSS rezili. Lahko je posledica povečanega bočnega trenja kot posledica napačne priprave orodja ali stroja.

Pri odrezovanju je orodje obremenjeno s silami pri nastajanju odrezka, med orodjem in obdelovancem pa nastaja trenje. Razvije se toplota, ki segreje orodje in obdelovani material, ki ga obdelujemo. Na stičnih površinah nastajajo zapleteni, fizikalno-kemični procesi. Zaradi navedenih obremenitev, orodje postopoma izgublja ostrino, se obrabi(otopi).

Obraba orodja vpliva na več pojavov, povezanih z odrezovanjem:

- povečanje sile odrezovanja ter s tem povezane porabe pogonske energije;
- povečanje trenja in segrevanje orodja;
- spremjanje notranjih napetosti orodja;
- povečanjem hrapavosti obdelovalne površine;
- zmanjšanje natančnosti obdelave.

Povišanje temperature orodja je ena izmed posledic odrezovanja, ki vodi k zmanjšanju mikro geometrijske obstojnosti in sprememb notranjih napetosti orodja. Obraba orodja oziroma povečevanje radija rezilnega roba, vodi k povečevanju torne površine, povečevanju rezalne sile in posledično povečanju toplotnega toka skozi orodje. Poleg povišane temperature, se večata tudi poraba energije in nenatančnost obdelave.

V diplomske nalogi sem ugotavljal vpliv sprememb tehnoloških parametrov struženja na temperaturo rezila. Struženje v lesarstvu ni najbolj reprezentativen način obdelovanja materialov, zato smo s spremjanjem geometrije obdelovanca simulirali razmere pri diskontinuiranem intermitenčnem odrezovanju, k čemur štejemo delovne operacije žaganja, skobljanja in rezkanja, kar so v lesnopredelovalni industriji najpogostejše obdelave.

Na velikost toplotnega toka vpliva več dejavnikov, ki jih lahko delimo na tehnološke dejavnike, lastnosti obdelovanega materiala in mikro geometrijske značilnosti orodja:

- parametri mehanske obdelave;
 - odvzem materiala a_f ;
 - podajalna hitrost v_p ;
 - hitrost rezanja v_r ;
- fizikalne lastnosti obdelovanega materiala;
 - gostota obdelovanca ρ ;

- vlažnost obdelovanca u;
- vrsta orodja
 - vrsta odrezovanja;
 - debelina odrezka h;
 - rezilni koti α, β, γ ;
 - radij zaobljenosti rezila r ;
 - kvaliteta brušenja orodja.

Povečanje parametrov mehanske obdelave vpliva na povečanje temperature rezila. Odrezovanje materiala z višjo gostoto sorazmerno poveča velikost toplotnega toka skozi rezilo orodja. Odvisnost med vlažnostjo obdelovanca in temperaturo rezila je negativna, kar pomeni, da se temperatura rezila z povišanjem vlažnosti manjša. Nepravilno in nenatančno, nestrokovno brušenje povečuje segrevanje orodja. Stacionarna temperatura pri intermitenčnem diskontinuiranem odrezovanju je bistveno nižja.

V nalogi smo merili temperaturo pri obdelavi masivnega lesa in srednje goste vlaknene plošče (MDF). Obdelovanci MDF so bili sestavljeni tako, da so omogočali pregled nad spremenjanjem gostotnega profila plošče. Zanimali so nas vplivi povišane podajalne hitrosti, odvzema in vlažnosti. Simulirali smo temperaturo pri intermitenčnem struženju, kjer smo opazovali spremembe temperature pri povečanem odvzemu in povišani podajalni hitrosti. Vodilo zanimanja je predvsem temperatura, ki je pri odrezovanju običajno prisotna in ni posledica obrabe orodja ali drugih dejavnikov.

2 PREGLED OBJAV

2.1 IZBIRA TEHNIKE MERJENJA IN ODREZOVANJE

Definicijo procesa obdelave materiala z rezanjem podajajo različni avtorji. Chiou in sod.(2003) uvrščajo mehansko obdelavo med pomembnejše obdelovalne operacije v industriji. Njen namen je ustvariti površino določene oblike in kvalitete, obenem pa preprečiti obrabo in termične poškodbe orodja, ki vplivajo na geometrijsko nenatančnost izdelka.

V procesu ortogonalnega odrezovanja je rezilo prisiljeno zarezati v obdelovanec. Posledica tega je formiranje odrezka v strižni coni. Odrezek se pomika ob prsnih ploskvih orodja, se ukrivi in odlomi. V procesu se energija odrezovanja porablja v dveh smereh: za preoblikovanje materiala in za premagovanje sile trenja na prsnih in hrbitnih površinah. Oboje, deformacija in trenje generirata toplotni tok (Abukhshim,2004).

M'Saoubi in sod. (2001) menijo, da poznavanje triboloških fenomenov pri odrezovanju lesa, kar omogoča optimiranje parametrov odrezovanja, zahteva poglobljeno poznavanje fizikalnih, termičnih in mehanskih lastnosti obdelovanca in orodja. Avtorji navajajo, da je toplotni vidik temeljni del problema odrezovanja. Generiranje toplotne med odrezovanjem je pomemben faktor, ki vpliva na lastnosti rezila in življenjsko dobo rezila. Toplotni tok v

coni rezanja, povzročen s plastično deformacijo odrezka, trenje med rezilom, odrezkom in obdelovancem, (lahko) lokalno oslabijo trdnost orodja. Segrevanje orodja (lahko) sproži metalurško transformacijo, ki vodi v pojavu fazne premene (nove faze) materiala orodja v tlačno strižni coni. Pri obdelavi kovin lahko premena nastopi na površini obdelovanca.

Visoka temperatura, po mnenju Stewarta (1987), močno načenja kobalt, ki veže karbidno trdino. Čisti kobalt, ki se uporablja za vezavo karbidne trdine je mehek in dovzet en za oksidacijo pri visokih temperaturah (Birk N. in Meier G.H., 1983, cit po Stewart, 1987). Zato je Stewart na rezilo iz karbidne trdine difuzivno nanesel bor in tako na orodju formiral odpornejši sloj. Z difuzijo se kobalt na površini transformira v borid kovine. Pomembna prednost boridov je predvsem v visoka trdota, nizek koeficient trenja, dobra električna konduktivnost in odpornost na korozijo v določenih kemičnih okoljih. Po Stewartovem mnenju bi te lastnosti smelo vplivale na odpornost rezila na vročo korozijo in posledično povečanje življenjske dobe orodja. Slabost metode je nizka temperatura utekočinjenja boridov (~250°C). Utekočinjanje nastane na rezilnem robu rezila po brušenju hrbitne ploskve orodja.

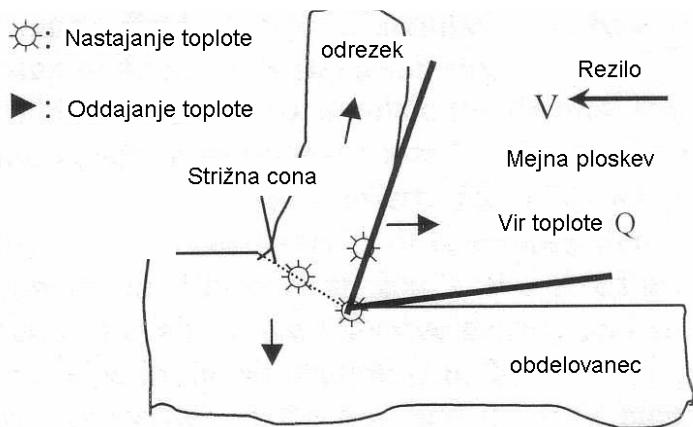
Ugotavljanje toplotnega polja v okolini rezilnega roba prinaša pomembne informacije analizo toplotnega toka skozi rezilo, odrezek in obdelovanec. Herchang in Wen-jei(1997) razčlenjujeta proces segrevanja orodja v tri stopnje:

- začetna stopnja;
- prehodna stopnja;
- pozna stopnja;

V začetni stopnji se toplotni tok absorbira, kar vpliva na hiter, začasen vzpon temperature orodja. V prehodni stopnji se toplota delno absorbira, poviša se entalpija, ki in je nato delno razpršena v okolico. Rezultat pojave je skokovito, eksponentno večanje temperature, ki po koncu obdelave, v pozni fazi, asimptotično pada do ravnovesne temperature okolja.

Nekateri avtorji (Balaji in sod., 1999; Kalpakjian, 2001, cit. po Chiou in sod., 2003) navajajo, da se najmanj 99% energije vložene v proces odrezovanja kovine, pretvori v toploto med plastičnim deformiranjem odrezka in trenjem orodja ob odrezek in obdelovanec.

Mejna ploskev, po kateri obdelovanec mimo rezila prehaja v odrezek, je najtoplejša točka odrezovanja (Chiou in sod.,2003).



Slika 2-1. Mesto nastanka in porazdelitev toplote med odrezovanjem (Chiou in sod.,2003)

Med interakcijo orodja in odrezka, ki ima za posledico visok tlak na rezilu in povišano temperaturo, orodje vedno otopi (Chiou in sod.,2003). Herchang in Wen-jei (1998) za obdelavo kovine navajata, da povišanje temperature direktno rezultira na velikost obrabe, natančnost obdelave, kot posledici termične ekspanzije, in kvaliteto obdelave.

Na temperaturo rezila pri odrezovanju po mnenju avtorjev (Chao in sod.,1958; Usui in sod., 1978; Stephenson in sod., 1992; Chu in sod., 1998, cit. po Chiou in sod.,2003) vpliva več dejavnikov: material obdelovanca, podajalna hitrost, rezalna hitrost, globina odvzema, geometrija orodja, hladilno sredstvo (pri obdelavi kovin), itd.

Kishawy (2002) je z eksperimentom preverjal vpliv rezalne hitrosti, podajalne hitrosti, obrabe orodja in različnih priprav rezila polikristaliničnega kubičnega borovega nitrida (PCBN) orodja pri obdelovanju kovine. Tako je meritev opravil z ostrim rezilom, honanim rezilom in rezili z različnimi radiji zaobljenosti. Njegove ugotovitve so, da z naraščanjem podajalne hitrosti in rezalne hitrosti temperatura narašča. Na temperaturo orodja ima vrtilna hitrost jasnejši vpliv. Med obdelavo ima ostro orodje manjšo stično površino z obdelovancem kot topo orodje. Iz česar sledi, da zmanjšanje toplotnega območja odrezovanja povzroči povišanje temperature v okolici rezalnega roba. Honano orodje pri različnih vrtilnih hitrostih doseže višjo temperaturo kot ostro orodje. Povečanje radija zaobljenosti rezila vpliva na povečanje temperature odrezovanja.

M'Saoubi je proučeval vpliv trdote materiala obdelovanca in rezalnih parametrov na rezilo iz orodnega jekla. S povečevanjem vrtilne hitrosti je temperatura orodja naraščala. Točka maksimalne temperature je locirana na prsni površini rezila. Morfologija termalne mape se z višanjem temperature ni spremnjala. Avtor opaža neposredno povezavo med povišanjem temperature in mikrostrukturno spremembo materiala. Visoka temperatura pri odrezovanju sproži fazno transformacijo materiala. Povečevanje podajalne hitrosti povzroči rahel dvig temperature in premik točke maksimalne temperature stran od

rezilnega roba. Z večanjem trdote obdelovanca se je večala tangencialna komponenta sile rezanja, medtem ko se temperatura rezila ni bistveno spremenila, v okolici rezila se je temperatura celo zmanjšala. Kot razlog avtor navaja metalurško fazno spremembo materiala odrezka. Če upoštevamo, da fazna sprememba materiala odrezka absorbira toplotni tok, je jasno da je posledično toplotni tok skozi rezilo manjši. Pri tem je treba poudariti da je eksperiment potekal na obdelavi kovine. Pri obdelavi lesa tak pojav ni možen.

Stewart (1985) je meril obrabo in velikost rezalne sile pri različnih geometrijah orodja, pri obdelavi srednje goste vlaknene plošče (MDF). Opaža večanje normalne komponente rezalne sile s povečevanjem obrabe. Normalna komponenta je do določene meje večja za orodje z manjšim prsnim kotom ($\alpha = 10^\circ$). Pri enakem orodju prej preseže vrednost tangencialne sile. Po določeni dolžini obdelave, velikost rezalne sile pada, nato počasi narašča. Hitreje narašča rezalna sila za orodje z večjim prsnim kotom ($\alpha = 25^\circ$). Padec rezalne sile, je po mnenju avtorja, posledica povečanega pritiska obdelovanca na rezilo zaradi večjega radija rezilnega roba. Rezultat povišanega tlaka je brušenje (self-sharpening), ki zmanjša in spremeni vedenje rezalne sile. Do pojava pride v enakem območju za obe rezili, kar nakaže, nastanek efekta pri določenem radiju zaobljenosti. Avtor v eni od nadalnjih raziskav (Stewart, 1987) proučuje vpliv kemično-fizikalne priprave rezila na obrabo in velikost rezalne sile pri obdelovanju MDF. Ugotovitve raziskave so, da odrezovanje z boriranim orodjem poteka pri nižji rezalni sili. Po hrbtnem brušenju rezila orodje se rezalna sila poveča, vendar ostaja bistveno nižja od rezalne sile pri rezanju z netretiranim (nebororanim) rezilom. Temperatura pri ostrenju povzroča utekočinjanje materiala (boron oksid) na rezальнem robu. Obraba orodja se z uporabo boriranega orodja zmanjša. Po ponovnem brušenju se obraba poveča, a je še vedno manjša kot pri netretiranem orodju.

Pri merjenju temperature so se avtorji posluževali različnih tehnik:

- Termočlen obdelovanec - orodje, ki se uporablja za merjenje temperature pri obdelavi kovin (Liu in sod., 2002). Termočlen sestavljata orodje in obdelovanec, mesto stika termočlena je mesto obdelave. V kovinarstvu je to enostavna metoda, njena pomanjkljivost pa je omejenost pregleda temperature na rezalni rob oz. na mesto stika orodja in obdelovanca (O'Sullivan in Cotterell ,2001). Ta način merjenja temperature je v lesarstvu neuporaben, ker je elektro-prevodnost odvisna od vlažnosti lesa.
- Tehnike vstavljenega termočlena (Abreo in sod., 1995, cit. po Kishawy, 2002), če so termočleni vstavljeni v različnih delih rezila, nam omogočajo pregled nad temperaturnim gradientom rezila (M'Saoubi in sod., 2002). Slabosti metode sta zmanjšanje trdnosti orodja zaradi izvrtin v neposredni bližini rezальнega roba in

nenatančnost pri pozicioniranju termočlena (M'Saoubi in sod.,2002). Zato so nekateri avtorji pri pozicioniranju termočlena uporabili optični mikroskop (Kirshawy,2002). Termočlen je lahko vstavljen med rezilno ploščico in držalo noža (O'Sullivan in Cotterell, 2001), v izdolbino na hrbtni strani ploščice na spodnji strani ploščice, ali pa med lomilec odrezka in rezalno ploščico na zgornji strani rezila (Kirshawy,2002). Mohammed (1994,cit. po Kishawy, 2002) in El-Wardany(1996, cit. po Kishawy, 2002) sta mnenja, da obe metodi posredujeta enake rezultate. Ob tem pa Kishawy (2002) preferira namestitev termočlena nad ploščico, ker bi izvrtina spremenila temperaturno distribucijo prek hrbtnega dela rezila, namestitev pa je enostavnejša. Glavna prednost termočlenov je njihova relativno enostavna uporaba, cenenost, in sposobnost merjenja v zelo širokem temperaturnem območju (O'Sullivan in Cotterell, 2001).

- Opazovanje temperature z infrardečo kamero. Merimo infrardečo sevanje orodja in odrezka (obdelovanca) pri čemer določamo temperaturno polje na zunanjih površinah (Schwerd, 1937, cit. po Herchang in Wen-jei, 1997). Metoda nam ne nudi informacij o delovanju in porazdelitvi temperature v notranjosti materiala in orodja, posreduje pa vpogled na porazdelitev temperaturnega fluksa (Herchang in Wen-jei, 1997). Glavna prednost opazovanja je brezkontaktno merjenje temperature, kar ne povzroča motenj v temperaturni coni (O'Sullivan in Cotterell, 2001). Omejitev metode je zahtevana suha atmosfera merjenja, kar onemogoča merjenje temperature pri mokrem odrezovanju (M'Sauobi, 2002). Odrezovanje v lesarstvu je običajno suho, zato ta pomanjkljivost nima posebnega vpliva na meritve.

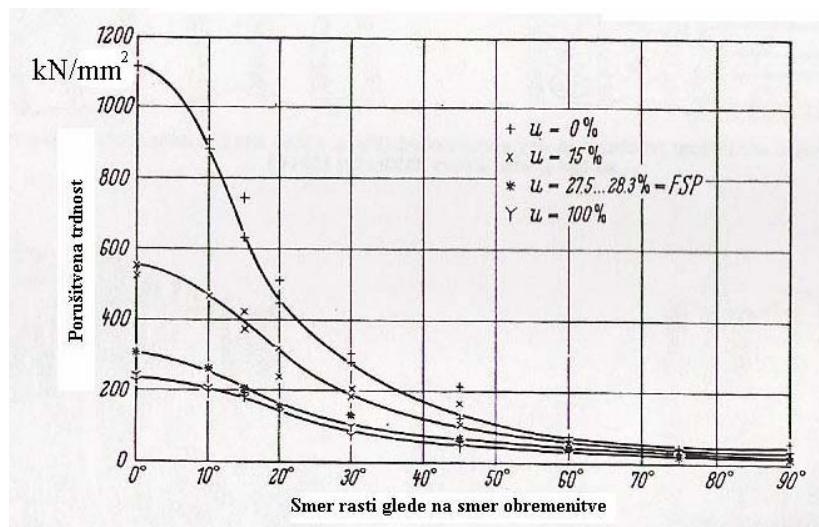
Poznane so še druge metode merjenja temperature rezila, ki niso širše uporabljene in se redkeje pojavljajo. Metalurške metode opazovanja temperature temeljijo na uporabi praškov (Casto in sod., cit. po M'Saoubi, 2002) in fizikalno naparjenih termo občutljivih filmov na rezilo (Kato in Fuji, 2000, cit. po M'Saoubi, 2002). Metoda dovoljuje določanje izoterm na površini orodja z analizo pod mikroskopom, za natančnost pa zahteva veliko število ponovljenih meritev. Nekateri avtorji (Wright, 1978, Trent in Smart, 1981, cit. po M'Saoubi) so distribucijo temperature na rezalnem orodju določali skozi korelacijo med merjenjem mikro trdote orodja in maksimalno doseženo temperaturo med odrezovanjem.

Pri eksperimentalnem delu se, zaradi zmanjševanja vpliva različnih slabosti tehnik merjenja, avtorji poslužujejo kombiniranih metod merjenja. M'Sauobi in sod.(2002) so za analizo temperaturnih razmer na orodju uporabili kombinacijo IR kamere, termočlena v orodju in pirometra. Kirshawy (2002) v eksperimentu uporabi termočlen vstavljen med rezilo in lomilec odrezka, za spremljanje temperaturnega gradiента pa še dva termočlena z določeno oddaljenostjo od rezila.

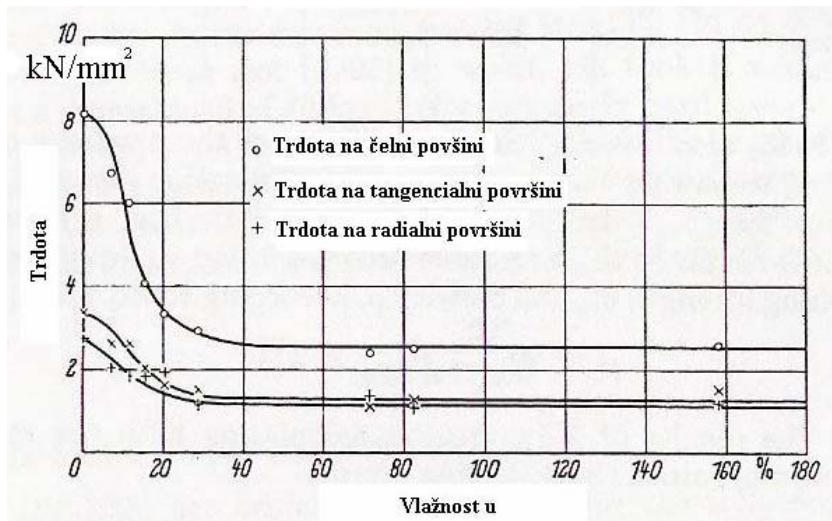
Posebnost mehanske obdelave lesa je v obdelovanem materialu. Les je variabilen, higroskopen, heterogen, ortotropno anizotropen material.

Mehanske lastnosti so v neposredni povezavi z smerjo vlaken in vsebnostjo vlage v lesu.

Kollman in Côté (1984) sta proučevala porušitveno trdnost v odvisnosti od vlage lesa in smeri rasti vlaken. Rezultate raziskav lahko vidimo na sliki 2-2



Slika 2-2. Odvisnost porušitvene trdnosti od smeri rasti glede na obremenitev pri različnih vlažnostih lesa (Kollmann 1951, cit po Kollmann in Côté, 1984)

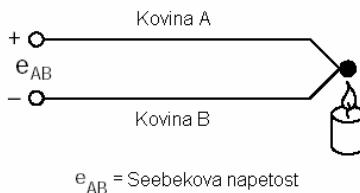


Slika 2-3. Vpliv vlažnosti na trdoto borovine po Brinelu (Kollmann 1951, cit. po Kollmann in Côté, 1984)

Opazimo, da se trdnost lesa s sušenjem iz točke nasičenosti celičnih sten do 15% vlažnosti, poveča za enkrat. Tudi trdota lesa je odvisna od vsebnosti vlage. Korelacijo med vlažnostjo in trdoto po Brinellu vidimo na sliki 2-3.

2.2 MERJENJE TEMPERATURE S TERMOČLENOM (HP, Application Note 290)

Termočlen dobimo, ko dve žici različnih materialov spnemo. Če na stiku sprememimo temperaturo lahko na prostih koncih opazujemo spremembo napetosti. Pojav imenujemo Seebekov efekt. Seebekova napetost je funkcija temperature spoja in spojenih materialov. (slika 3).



Slika 2-4. Seebekov potencial

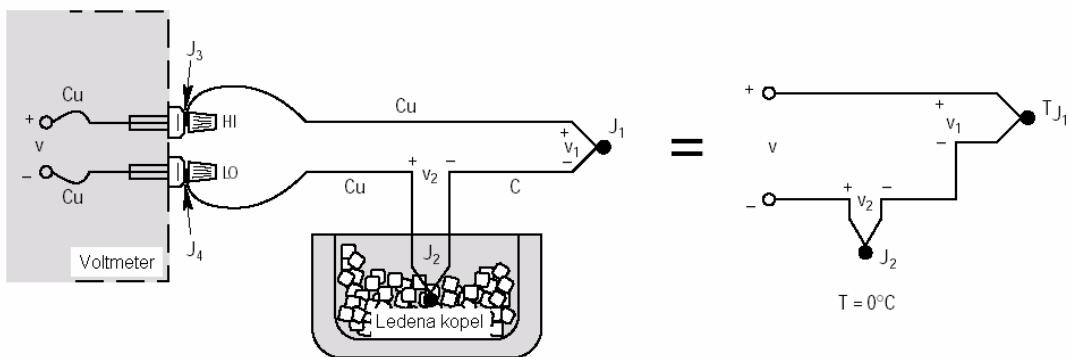
Za majhne spremembe v temperaturi je ta napetost proporcionalna temperaturi:

$$e_{AB} = \alpha_p \times T \quad \dots(1)$$

Kjer je α_p koeficient proporcionalnosti, ki v praksi ni konstanten, ampak se spreminja s temperaturo.

Napetosti ne moremo meriti neposredno, saj moramo z vodniki povezati voltmeter in termočlen, s čimer sestavimo nov termočlen ali dva, odvisno od tipa termočlena.

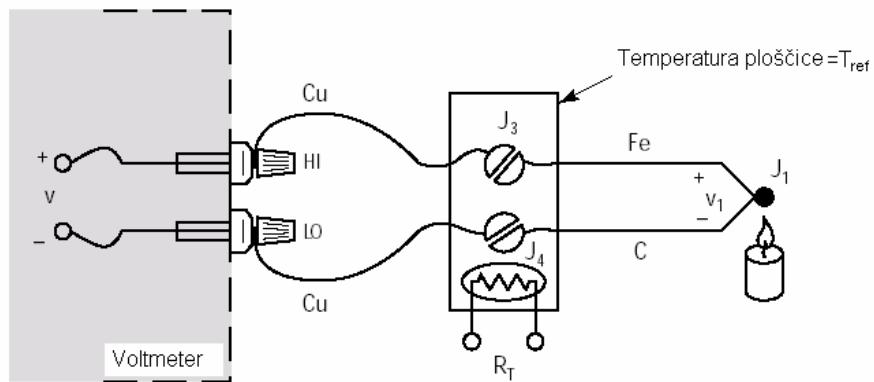
Če hočemo določiti temperaturo spoja, si lahko pomagamo z referenčnimi temperaturami. V ta namen postavimo spoj v ledeno kopel., s čimer dosežemo temperaturo spoja 0°C .



Slika 2-5. Merjenje temperature z referenčnim spojem

Prej opisana vezava termočlena nam daje zelo natančne meritve. Zaradi priročnosti ledeno kopel zamenjamo z izotermalno ploščico.

Sprememba nam omogoča direktno merjenje temperature na izotermalni ploščici in uporabi te informacije za izračun temperature na spoju J₁.



Slika 2-6. Referenčni spoj

Za merjenje temperature referenčnega spoja uporabimo termistor. Njegova upornost R_T je funkcija temperature, ki omogoča merjenje absolutne temperature izotermalne ploščice. Glede na konstrukcijo ploščice sklepamo da imata spoja J_3 in J_4 enako temperaturo.

Meritve temperature T_{J1} izvedemo po naslednjih korakih:

- izmerimo upornost termistorja R_T , da dobimo referenčno temperaturo T_{REF} , to pa pretvorimo v ekvivalentno napetost referenčnega spoja V_{REF} .
- izmerimo napetost U , ki ji dodamo V_{REF} . Rezultat meritve je napetost V_1 , ki jo pretvorimo v temperaturo T_{J1} .

Takšen postopek merjenja je znan kot »softverska kompenzacija«. Zanaša se na merilni inštrument ali računalnik, ki kompenzira vpliv referenčnega spoja. Temperaturo izotermalne ploščice lahko merimo s katerokoli napravo, ki ima proporcionalno karakteristiko absolutne temperature.

3 MATERIAL IN METODE

Temperaturo orodja smo merili s termočlenom vstavljenim pod izmenljivo ploščico nosilnega telesa noža. Merilno verigo smo podprli z programsko opremo LabWiev. Sočasno s temperaturo smo spremljali podajalno hitrost suporta. V ta namen smo uporabili inkrementalni dajalnik pozicije. Odrezovanje je potekalo pri enaki obodni hitrosti, kar smo zagotovili z uporabo frekvenčnega pretvornika. Ker je zasnova pomika suporta hidravlična, pretok olja pa je v veliki meri odvisen od viskoznosti (ta pa od temperature), je bila med eksperimentom temperatura olja podvržena regulaciji.

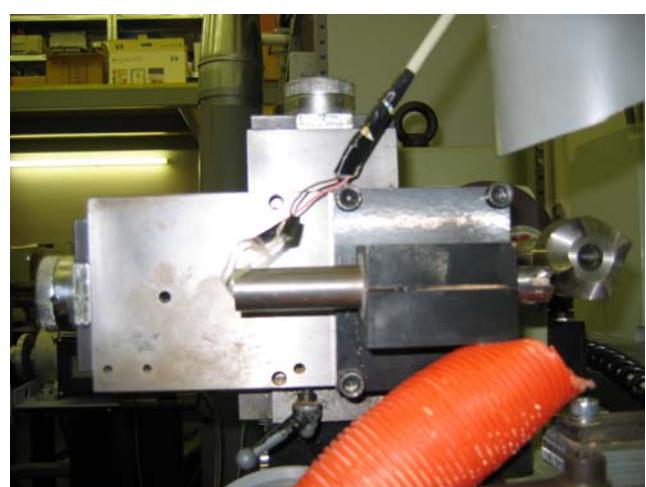
3.1 NAPRAVA

Za merjenje temperature rezila smo uporabili klasično kopirno stružnico za obdelavo lesa, ki smo jo za potrebe eksperimenta predelali. Na sani smo namestili novo zasnovan suport noža z inkrementalnim dajalnikom pozicije. Elektromotor nameščen na gnano jermenico, nam je služil za posredno merjenje vrtljajev in nam pomagal pri regulaciji s frekvenčnim pretvornikom. Hidravlika je skrbela za pomik sani, hladilni sistem olja pa je zagotavljal konstantno temperaturo olja. Električno shemo stroja smo priredili za priklop frekvenčnega pretvornika.

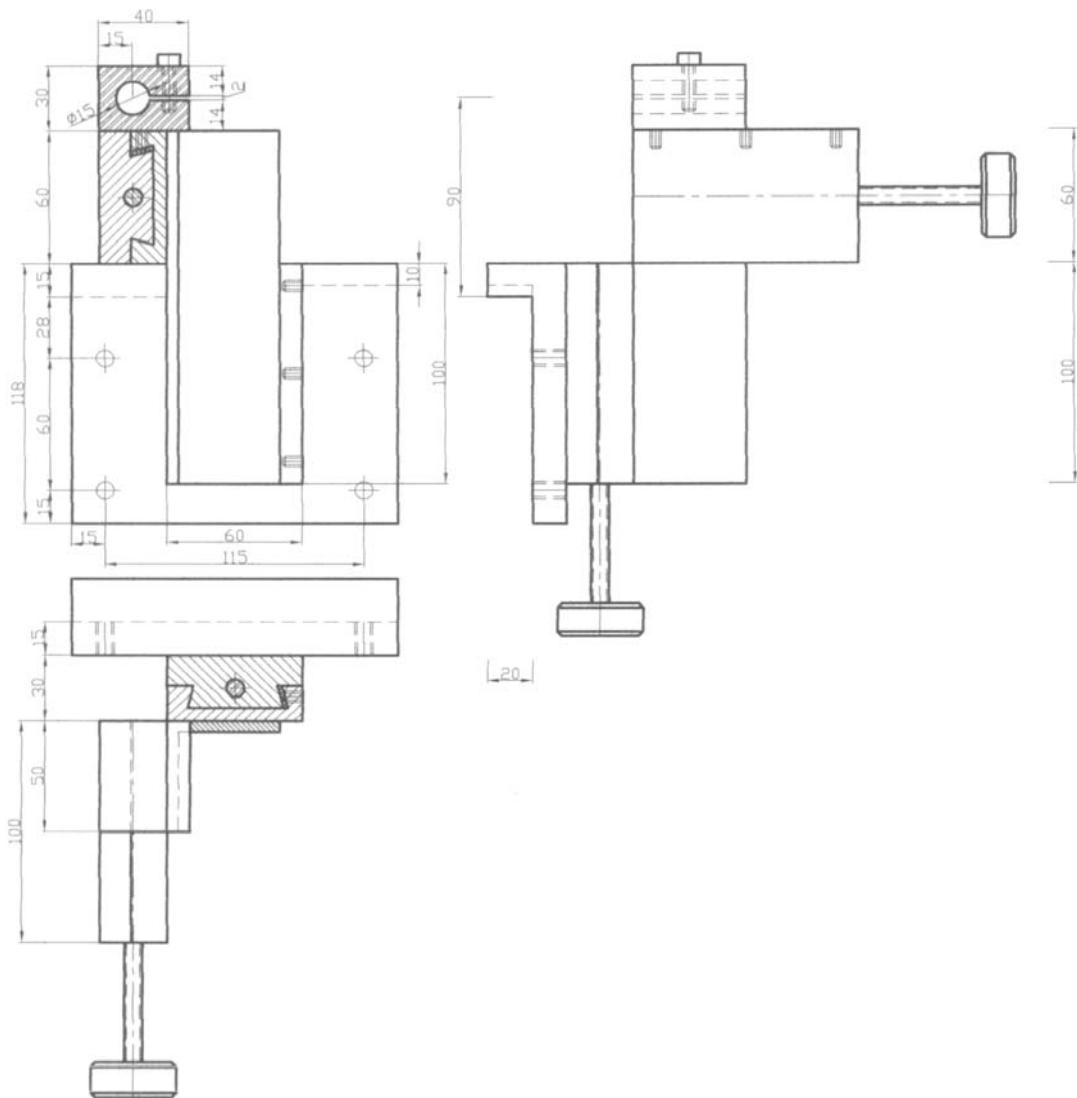
3.1.1 Suport

Osnovni suport stroja ni bil primeren za izvedbo eksperimenta, zato smo se odločili za izdelavo novega. Ker bi bila izdelava novega suporta zelo draga, smo se odločili za predelavo obstoječega strojnega dela. V ta namen je bilo predelano 2D vpenjalo za pozicioniranje na vrtalnem stroju. Predelava se je izkazala za učinkovito in poceni rešitev, čeprav je postavitev noža rezultirala na obliki obdelovanca.

Na sliki 13 vidimo načrt osnovnega elementa, suporta, ki smo ga predelali. Predelani suport lahko vidimo na naslednji sliki.



Slika 3-1. Suport stroja



Slika 3-2. Načrt novega suporta

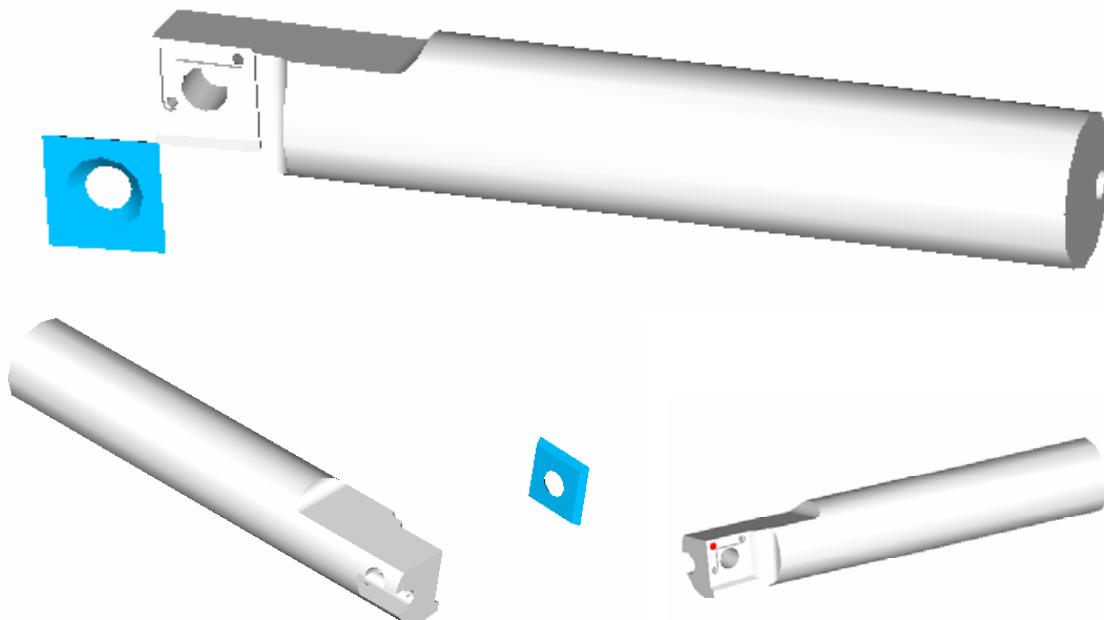
3.1.2 Nosilno telo noža

Nosilno telo noža je bilo valjaste oblike izdelano iz jekla. Del noža smo porezkali, da smo dobili površino za vpenjanje noža (prosta površina) in površino za odvajanje odrezkov (prsna površina).

Ležišče noža je bilo enake oblike kot rezalna ploščica, ki je bila privijačena na nosilno telo. Stranski prosti kot smo dobili tako, da smo ležišče zavrteli za 3° .

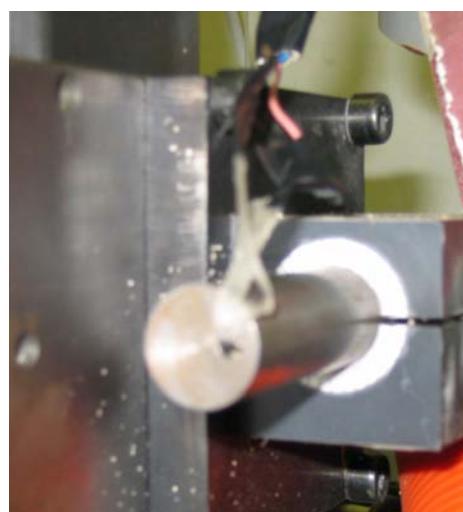
Konstrukcija držaja noža je močno vplivala na potek merjenja. Najprej smo termočlen vstavili med držaj in nož. Med preliminarnimi meritvami smo ugotovili, da položaj ni primeren, ker se del toka odrezkov med potovanjem po prsnih ploskvih rezila vriva med rezilo in držaj. Tako se je točka merjenja temperature premikala. Zato smo v ležišču

zarezkali kanal in ga povezali z izvrtinama iz nasprotne strani noža. Po pripravljenih vodih smo nato speljali vodnike termočlena in neposredno spojili držaj noža z rezilom.



Slika 3-3. Nosilno telo noža

Prosti kot noža smo dobili tako da smo držaj zavrteli za 10° . Za nastavitev je služila merilna skala, nameščena na suport in zareza na valju držaja. Merilna skala je imela natančnost 10° .



Slika 3-4. Pogled na merilno skalo in držaj vpet v suport

Držalo noža je ves čas eksperimenta ostalo vpeto, tako da se geometrija odrezovanja ni spremenila.

3.1.3 Nož

Za rezilo smo uporabili izmenljivo ploščico iz karbidne trdine proizvajalca Leitz. Štirikotna ploščica dimenzij $14 \times 14 \times 2\text{mm}$ se običajno uporablja kot predrezilo pri orodjih za obdelavo tvoriv.

3.1.4 Odsesovalno ustje

Zaradi dela v laboratoriju smo morali odrezke učinkovito odsesovati. Zato smo na suport in na sani namestili odsesovalni ustji.



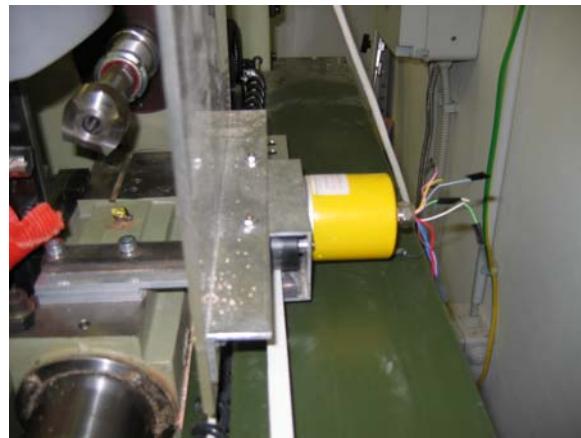
Slika 3-5. Spodnje in zgornje odsesovalno ustje

Odsesavanje je bilo zaradi konstrukcije ustja najbolj učinkovito pri začetnem premeru, s zmanjševanjem premera pa se je večal prostor med obdelovancem in ustjem, tako da je efektivnost odsesovanja padala.

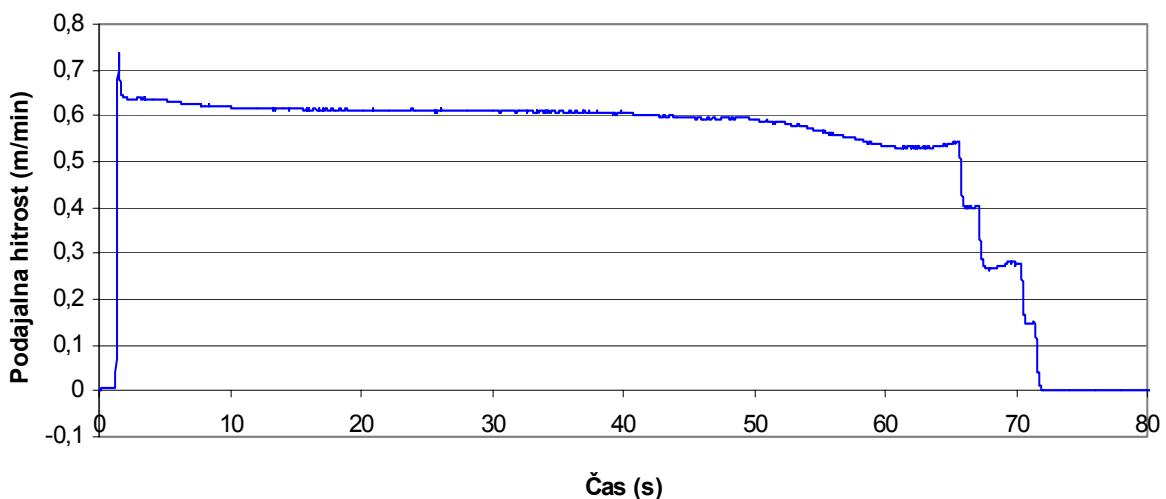
3.1.5 Merilnik pozicije

Za natančno meritev je pomembno natančno poznavanje podajalne hitrosti. V ta namen smo na sani namestili inkrementalni dajalnik pozicije, zobati jermen, po katerem je teklo kolo dajalnika, pa na ohišje stroja.

Med preliminarnimi meritvami smo opazili, da je podajalna hitrost sani neenakomerna. Spremembo podajalno hitrosti s časom glede na položaj suporta prikazuje slika 3-7.



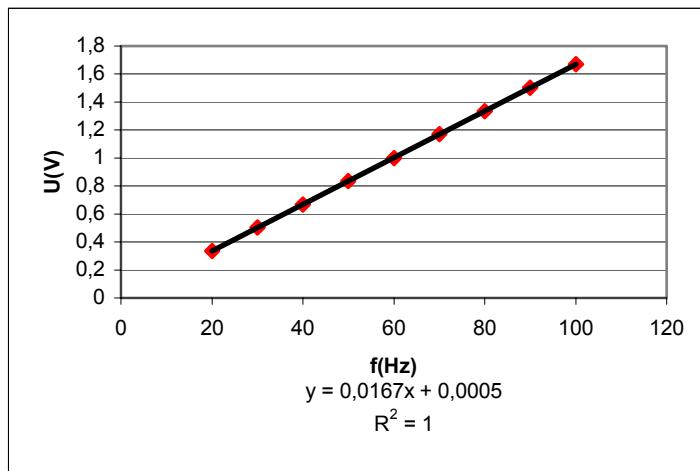
Slika 3-6. Pritrditev merilnika pozicije



Slika 3-7. Podajalna hitrost po času

Skokovitemu porastu na začetku sledi hitro zmanjševanje podajalne hitrosti. V osrednjem delu hoda suporta, podajalna hitrost enakomerno pada. Zmanjšanje v zadnjem delu pa je posledica napak pri izdelavi hidravličnega cilindra.

Podatke o podajalni hitrosti smo zajemali prek računalniške aplikacije programu LabWiev. Impulze inkrementalnega dajalnika smo pretvorili v vrtilno hitrost v [Hz].



Slika 3-8. Izhodna napetost in vrtilna hitrost

Podajalno hitrost smo izpeljali iz geometrije merilnika in stroja.

Značilni podatki:

- premer kolesa dajalnika pozicije – $D_{ID} = 100\text{mm}$,
 - resolucija meritne skale- 500 dpi

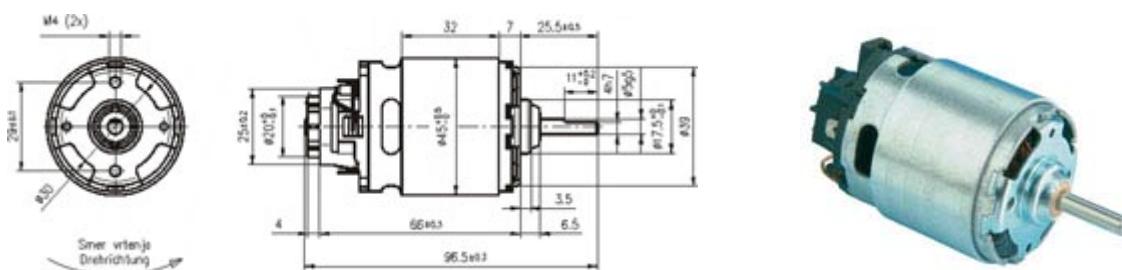
V obratu dajalnika dobimo na izhodu 500 impulzov in doprinos 5Hz. Enačba pretvorbe je tako:

$$V_p = \frac{6x(\text{Hz})}{500} = \left\lceil \frac{m}{\text{min}} \right\rceil \quad \dots(3)$$

3.1.6 Merilnik vrtljajev

Za regulacijo vrtilne hitrosti je nujno poznavanje vrtljajev gnane gredi. Zato smo na gnano jermenico namestili merilnik vrtljajev. Vrtljaje smo merili posredno prek izhodne napetosti elektromotorja.

Uporabili smo DC motor proizvajalca Domel Železniki d.d. DC motorji so namenjeni vgradnji v različne gospodinjske aparate kot so kavni mlinčki, mešalniki, aparati za gnetenje...



Slika 3-9. DC motor (Domel Železniki)

Konstrukcija motorja ustreza standardu EN 60335-1.

Preglednica 3-1. Tehnični podatki DC motorja (Domel Železniki)

Tehnična dokumentacija:	
Koda:	482.3.501
Napetost / Frekvenca:	24 V DC
Nazivna vhodna moč:	55 W
Nazivna vrtilna hitrost:	9300 min-1
Nazivna izhodna moč:	41 W
Nazivni moment:	4,2 Ncm
Smer vrtenja:	CCW
Ventilacija:	brez
Masa:	0,31 kg



Slika 3-10. Pritrditev merilnika vrtilne hitrosti

3.1.7 Hladilni sistem olja

Pomik sani je bil hidravličen. Hitrost pomika smo uravnavali z regulacijskim ventilom. Iz preliminarnih meritev smo ugotovili, da s segrevanjem olja podajalna hitrost pada. Edina rešitev tega problema je bila izdelava hladilnega sistema s čimer smo zagotovili konstantne pogoje meritve. V rezervoar olja smo napeljali kovinske cevi in skoznje speljali vodo. Regulacijo temperature je zagotovil elektromagnetni ventil, krmiljen preko uporovnega merilnika temperature.



Slika 3-11. Hladilni sistem olja

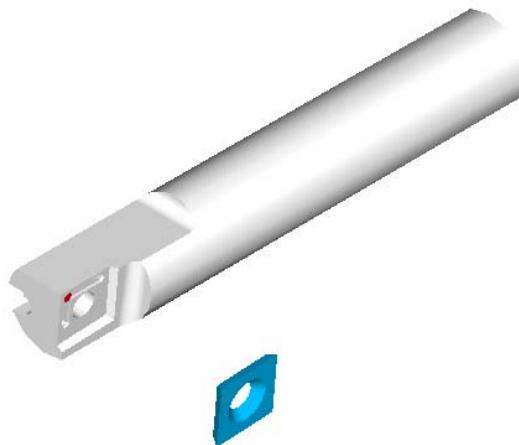


Slika 3-12. Izvedba hlajenja olja

Temperaturo olja smo merili preko spremembe upornosti uporovnega tipala in enačbe:

$$T_{olja} = \frac{R_T - R_O}{R_O \cdot \alpha} \quad \dots(4)$$

3.1.8 Postavitev termočlena

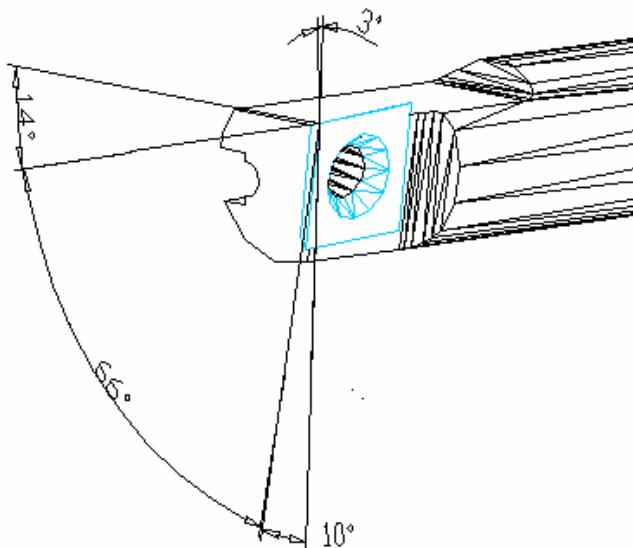


Slika 3-13. Mesto spoja termočlena

Termočlen smo namestili pod izmenljivo rezalno ploščico nosilnega telesa noža. Vodniki so bili speljani po kanalu na ležišču zoba in skozi izvrtino na drugo stran držaja noža. Točka merjenja je bila oddaljena po višini 2,6 mm in širini 2,7 mm od rezilnega roba noža (glej sliko 3-13).

3.1.9 Rezalni parametri

Rezalni koti odrezovanja so med eksperimentom ostali nespremenjeni. Kot klina je bil določen z kotom rezilne ploščice. Minimalni prosti kot smo določili z zasukom držaja orodja za 10° . Stranski prosti kot je 3° . Kote ostrine prikazuje slika 24.



Slika 3-14. Rezilni koti odrezovanja

Meritve temperature rezila smo izvajali z različnimi parametri struženja. Obodna hitrost obdelovanca je bila konstantna pri vseh meritvah.

Z eksperimentom smo tako opazovali sprememjanje velikosti toplotnega toka pri sprememjanju podajalne hitrosti in globine odvzema.

Meritve so bile izvedene pri dveh podajalnih hitrostih in sicer 0,6 in 1,2 m/min. Osnovna globina odvzema 2mm pa povečana za 50% na 3mm. Vpliv materiala na temperaturo orodja se je izkazal pri obdelavi obdelovancev iz bukovine in srednje goste vlaknene plošče (MDF). Fizikalne lastnosti obdelovanca smo opazovali pri masivnih obdelovancih različnih vlažnosti. Obdelovanci z normalne vlažnosti so imeli ravnovesno vlažnost 11,76%, obdelovanci s povisano vlažnostjo pa 30,72%.

3.2 INTERMITENČNO STRUŽENJE

Les največkrat obdelujemo z uporabo rezkalnih orodij. Mednje štejemo vsa orodja, pri katerih se srečujemo z intermitenčnim diskontinuiranim odrezovanjem za katerega je značilno, da sta rezilo in obdelovanec v kontaktu le del hoda rezila. Pri struženju pa je

odrezovanje kontinuirano. Temperatura orodja zato ni primerljiva in nam ne poda dejanskega rezultata.

Operacije, v katerih nastopa diskontinuirano intermitenčno odrezovanje so žaganje, skobljanje in rezkanje. Kot omenjeno se pri odrezovanju menjavata dve faz. Faza odrezovanja, med katero se orodje segreva, in faza prostega hoda, ko orodje ni v stiku z obdelovancem. Med drugo fazo orodje prejeto toplovo oddaja okoliškemu zraku in se tako ohlaja. Temperatura rezila je zato bistveno nižja.



Slika 3-15. Intermitenčno struženje

Za izvedbo eksperimenta smo potrebovali obdelovance oblike, ustrezne pogojem intermitenčnega diskontinuiranega odrezovanja. Zato smo v MDF obdelovance vzdolžno zarezali utore. Z njimi smo simulirali prazen prostor, ki ga rezilo pri intermitiranem odrezovanju prepotuje po fazi odrezovanja, saj se rezilo v našem primeru ni odmikalo.

Pred izdelavo obdelovanca smo izračunali čas, v katerem je orodje v kontaktu z obdelovancem. Izračun je osnovan na naslednjih podatkih:

$$D = 150\text{mm} = 0,15\text{m}$$

$$n = 9000 \text{min}^{-1} = 150\text{s}^{-1}$$

$$a_{f_orodja} = 30\text{mm} = 0,03\text{m}$$

$$z = 2$$

Dolžina loka odrezka

$$\cos \varphi = \frac{r - a}{r} = \frac{\frac{D}{2} - a_{f_orodja}}{\frac{D}{2}} = \frac{0,075\text{m} - 0,03\text{m}}{0,075\text{m}} = 0,6 \quad \dots(5)$$

$$\varphi = \underline{\underline{53,1^\circ}}$$

Delež efektivnega časa odrezovanja orodja

$$Ef_{orodja} = \frac{z \times \varphi}{360} = \frac{2 \times 53,1^\circ}{360} = \underline{\underline{0,295}} \quad \dots(6)$$

Čas enega vrtljaja orodja

$$t_{vrtljaja_orodja} = \frac{1}{n} = \frac{1}{150\text{s}^{-1}} = \underline{\underline{0,0066s}} \quad \dots(7)$$

Čas efektivnega odrezovanja orodja

$$t_{Ef} = t_{vrtljaja_orodja} \times Ef_{orodja} = 0,0066s \times 0,0295 = \underline{\underline{0,001947s}} \quad \dots(8)$$

Parametri obdelovanca in stružnice so :

- premer obdelovanca – d = 115mm = 0,0115m
- vrtilna hitrost – n_s = 900min⁻¹=15s⁻¹

Čas enega vrtljaja obdelovanca

$$t_{vrtljaja_obdelovanca} = \frac{1}{n} = \frac{1}{15\text{s}^{-1}} = \underline{\underline{0,066s}} \quad \dots(9)$$

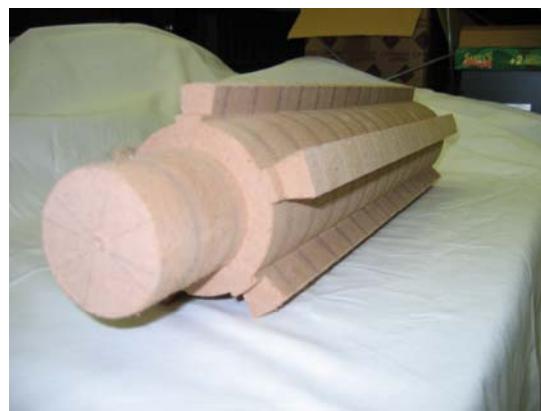
Efektivnost odrezovanja pri struženju

$$Ef_{struženja} = \frac{t_{Ef}}{t_{vrtljaja_obdelovanca}} = \frac{0,001947}{0,066} = \underline{\underline{0,0295}} \quad \dots(10)$$

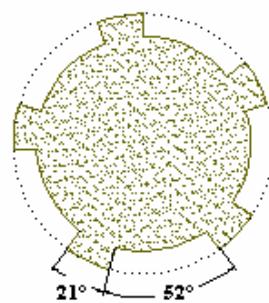
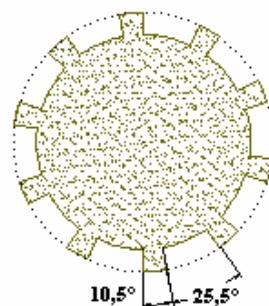
Kot odrezovanja°

$$\alpha_{odrezovanja} = \frac{Ef_{struženja}}{360^\circ} = \frac{0,0295}{360^\circ} = \underline{\underline{10,5^\circ}} \quad \dots(11)$$

Glede na izračun smo izdelali obdelovanec oblike, kot jo lahko vidimo na sliki 3-16. Zaradi natančnosti izdelave in trdnosti odsekov rezanja smo podvojili kot odrezovanja. S časom odrezovanja se podvoji tudi čas hlajenja, tako da lahko govorimo o identični obliki.



Slika 3-16. Preizkušanec za intermitenčno struženje



Slika 3-17. Načrt delitve obdelovanca

3.2.1 Načrt in slika šablone

Utere smo izdelali na krožnem žagальнem stroju. Obdelovanec smo vpeli v šablonu, ki omogoča centrično vpetje in vrtenje obdelovanca.



Slika 3-18. Izdelava preizkušanca za intermitenčno odrezovanje

3.3 PREIZKUŠANCI

Surovci so bili valji premera 11,5mm. Masivni obdelovanci so imeli dolžino 1m, MDF obdelovanci pa 0,5m. Materiala preizkušancev sta bila bukovina in srednje gosta vlaknena plošča. Suhi obdelovanci iz bukovine so bili slojno lepljeni iz 30mm debelih sortimentov, lepljenih z lepilom Rakoll GLX 3.



Slika 3-19. Masivni preizkušanec normalne vlažnosti in MDF preizkušanec

Preizkušanci iz MDF plošče so bili debelinsko lepljeni iz plošč $14 \times 14 \times 2,8$ cm.

Preizkušanci s povišano stopnjo vlažnosti so bili izdelani iz enega kosa. Pred sušenjem na prostem smo čela zaščitili s Stipol pasto. Po skobljanju in struženju smo jih shranili v PE vreči in tako preprečili izsuševanje.

Na izhodni končni strani smo vse preizkušance stopničasto stružili, da rezilo po končani meritvi ni ostalo v stiku z obdelovancem.

3.3.1 Meritve vlažnosti obdelovancev

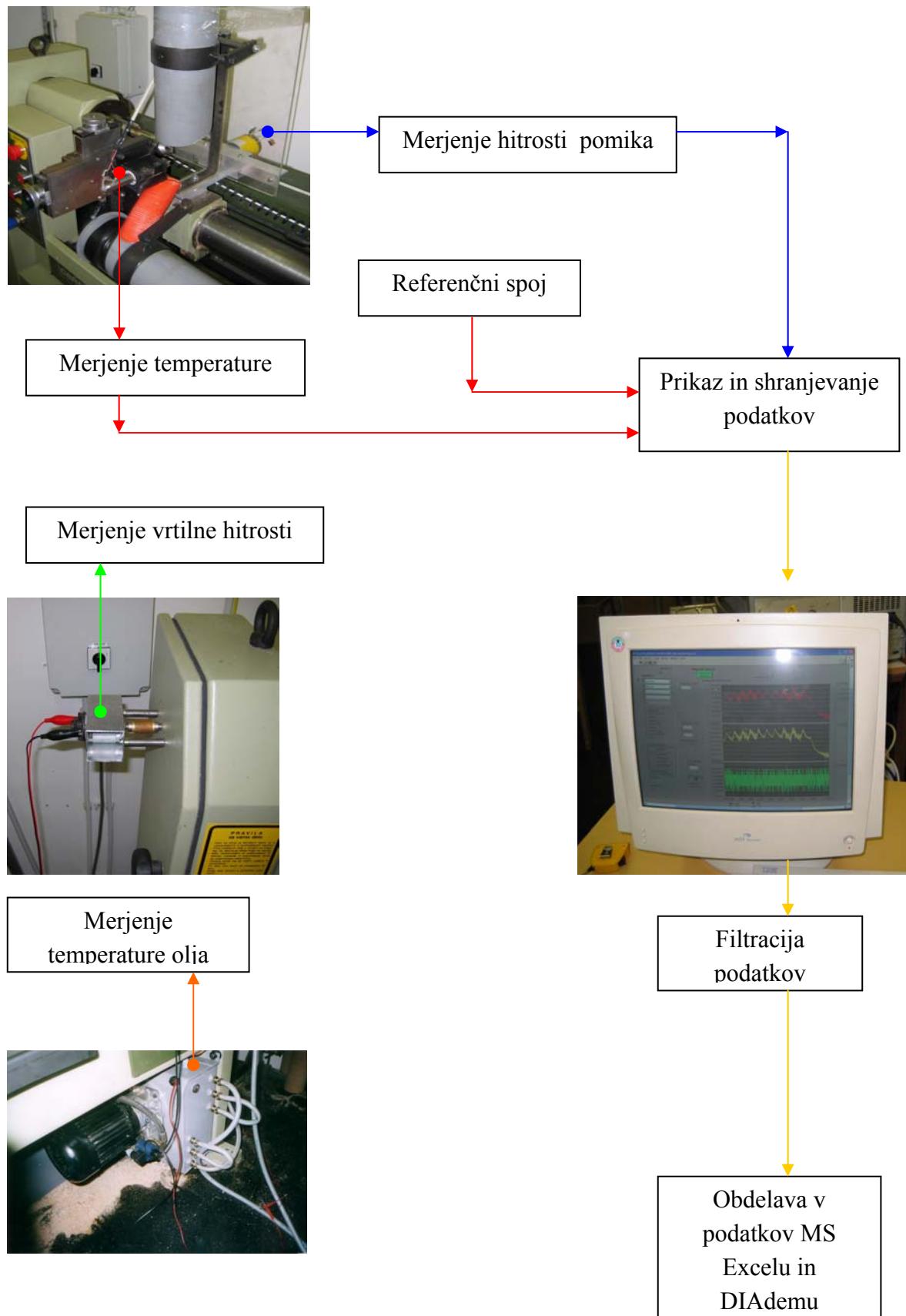
Po končanih meritvah smo iz sredine obdelovancev izrezali vzorce. Vzorec je bil kolut končnega premera, debeline 2cm. Vlažnost smo ugotavljali gravimetrično. Meritve so predstavljene v naslednji tabeli.

Zanimiv rezultat smo dobili z merjenjem vlažnosti odrezkov dobljenih pri odrezovanju obdelovanca s povišano stopnjo vlažnosti.

Preglednica 3-2. Vlažnost masivnih obdelovancev in odrezkov

	<i>Mv (g)</i>	<i>Mo (g)</i>	vlažnost (%)
masa obdelovanca (normalna vlažnost)	49,67	44,48	11,67
masa obdelovanca (povišana vlažnost)	56,63	43,32	30,72
masa odrezkov (povišana vlažnost)	90,58	87,28	21,17

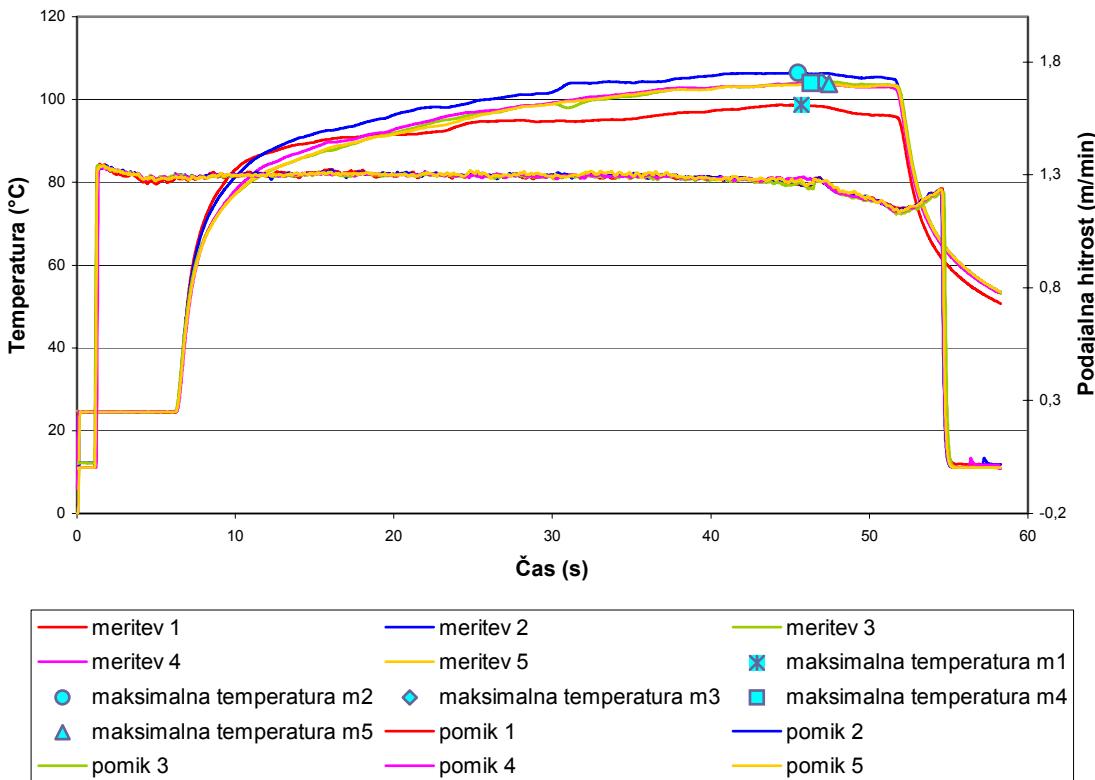
3.4 NAČRT MERITVE



4 REZULTATI MERITEV

4.1 TEMPERATURA PRI ODREZOVANJU MASIVNE BUKOVINE Z VLAŽNOSTJO 11,67%

4.1.1 Podajalna hitrost orodja 0,6m/min odvzem 2mm



Slika 4-1. Meritve temperature pri obdelavi bukovine; $a_z=2\text{mm}$, $u=11,67\%$

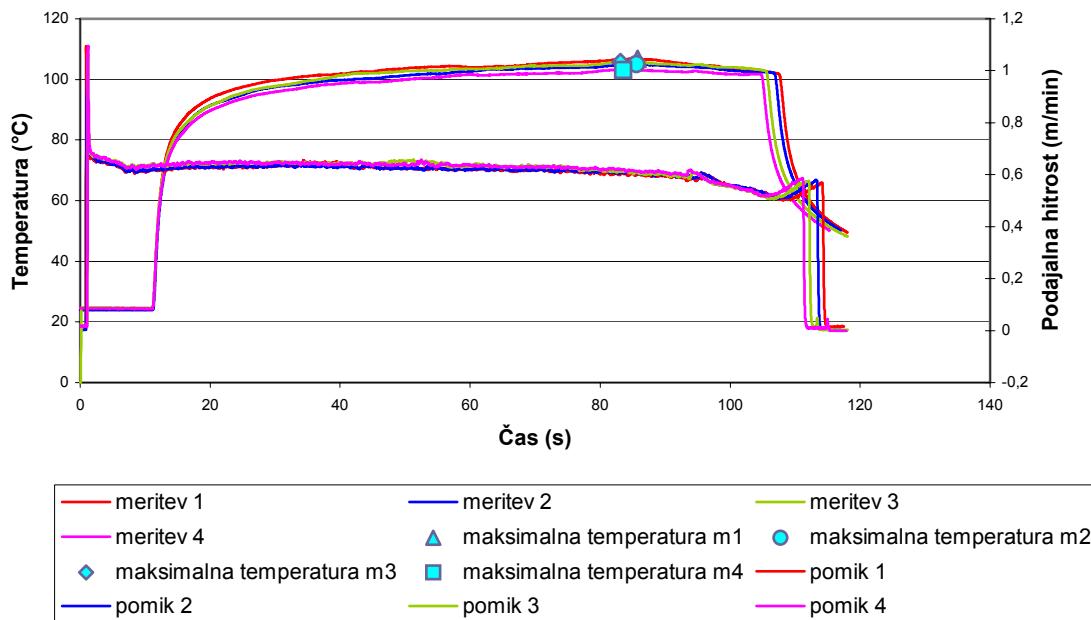
Preglednica 4-1. Rezultati merjenja temperature; $v_p=0,6\text{m/min}$, $a_z=2\text{mm}$, $u=11,67\%$

meritev	temperatura	pomik	odvzem	T olja premer	obdelovanca	dejanski odvzem
	(°C)	(m/min)	(mm)	(°C)	(mm)	(mm)
1	80,27	0,616	2	28,66	112,7	2
2	90,06	0,639		29,68	109	1,85
3	90,02	0,628		32,50	105,1	1,95
4	88,57	0,622		32,57	101,2	1,95
5	88,73	0,616		33,78	97,2	2
\bar{a}	87,53	0,624		31,44		1,95

Izvedenih je bilo 5 meritov. Opazna je skupna oblika krivulje in dokaj enaka maksimalna temperatura. Nižje dosežena temperatura prve meritve je verjetno posledica manjšega odvzema zaradi eliptičnosti obdelovanca, in nižje podajalne hitrosti zaradi nižje temperature hidravličnega olja. Opazenega padca temperatur pri naslednjih meritovah ni

bilo zaznati zaradi povečevanja podajalne hitrosti (kot posledice segrevanja hidravličnega olja) in napake pri odvzemu, kot posledice odmika noža. Temperatura je v stacionarnem območju padala enakomerno, opazen je večji padec pri zadnjih meritvah. Padca pomika in temperature sta sorazmerna.

4.1.2 Podajalna hitrost orodja 0,6m/min odvzem 3mm



Slika 4-2. Meritve temperature pri obdelavi bukovine; $v_p=0,6\text{m/min}$, $a_z=3\text{mm}$, $u=11,67\%$

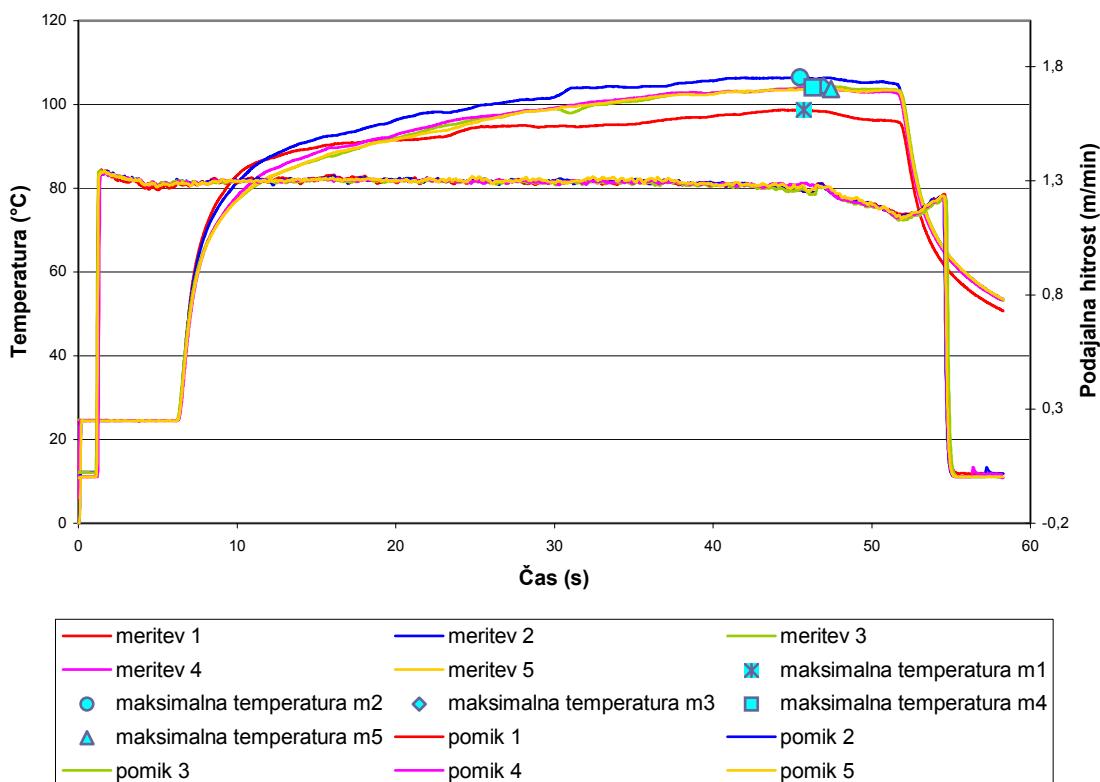
Preglednica 4-2. Rezultati merjenja temperature; $v_p=0,6\text{m/min}$, $a_z=3\text{mm}$, $u=11,67\%$

meritev	temperatura (°C)	pomik (m/min)	odvzem (mm)	T olja premer obdelovanca (°C)	Tolja premer obdelovanca (mm)	dejanski odvzem (mm)
1	106,84	0,603	3	32,24	91,5	2,85
2	105,02	0,607		32,65	85,6	2,95
3	105,67	0,612		33,78	79,8	2,7
4	103,19	0,620		34,19	73,8	3
5						
\bar{a}	105,18	0,611		33,21		2,95

Izvedene so bile štiri meritve. Peta meritev ni bila izvedena zaradi možne preobremenitve elektromotorja pri spremembi frekvence delovanja nad 80 Hz.

Oblika krivulj meritev je podobna, maksimalne temperature meritev malo odstopajo od povprečja. Odstopanje je majhno, navkljub manjši nenatančnosti odvzema. Temperatura olja se spreminja v tolerančnem območju 2°C.

4.1.3 Podajalna hitrost orodja 1,2m/min odvzem 2mm



Slika 4-3. Meritve temperature pri obdelavi bukovine; $v_p=1,2\text{m/min}$, $a_z=2\text{mm}$, $u=11,67\%$

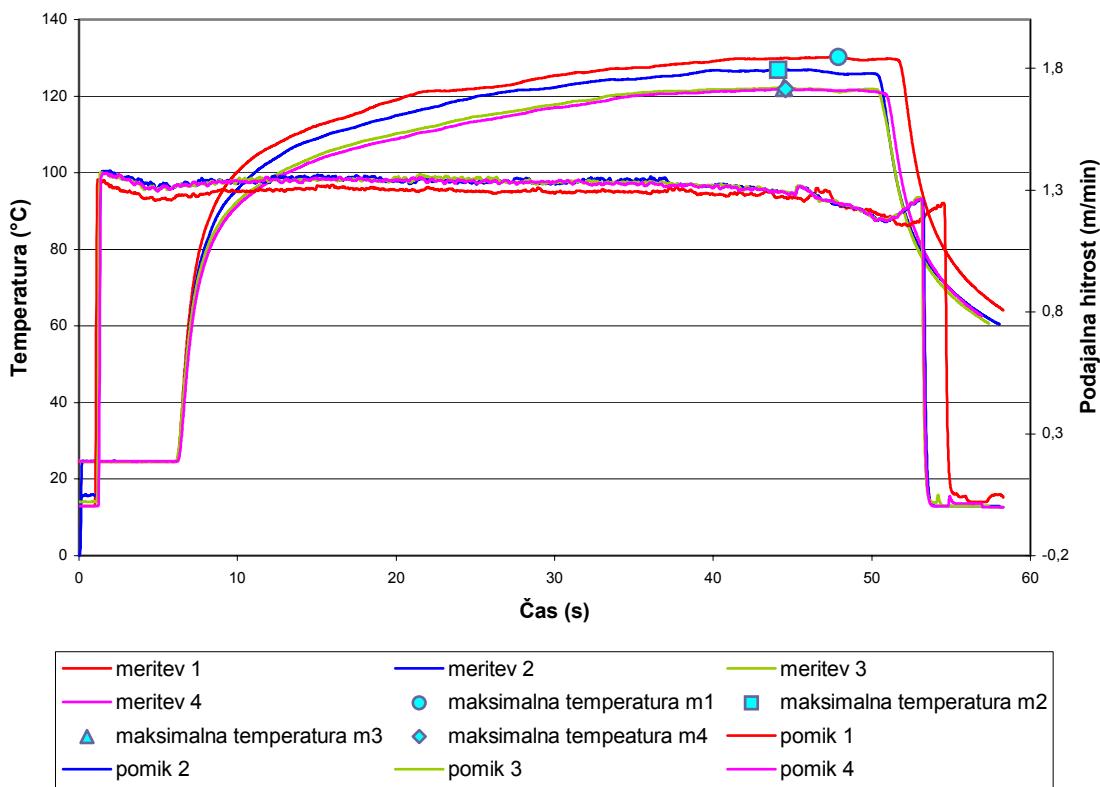
Preglednica 4-3. Rezultati merjenja temperature; $v_p=1,2\text{m/min}$, $a_z=2\text{mm}$, $u=11,67\%$

meritev	temperatura (°C)	pomik (m/min)	odvzem (mm)	T olja (°C)	premer obdelovanca (mm)	dejanski odvzem (mm)
1	98,77	1,252	2	31,12	107,6	2
2	106,51	1,27		31,35	104	1,8
3	104,34	1,27		32,37	100,4	1,8
4	104,04	1,281		31,76	96,5	1,95
5	103,73	1,265		32,45	92,9	1,8
\bar{a}	103,48	1,268		31,81		1,85

Krivulje meritev imajo podobno obliko. Odstopanje od povprečja je največje pri prvi meritvi, najverjetneje zaradi nižje podajalne hitrosti in možne eliptičnosti obdelovanca.

Padec temperature v stacionarnem območju je večji pri prvi meritvi, pri peti meritvi pa zelo majhen.

4.1.4 Podajalna hitrost orodja 1,2m/min odvzem 3mm



Slika 4-4. Meritve temperature pri obdelavi bukovine; $v_p=1,2\text{m/min}$, $a_z=3\text{mm}$, $u=11,67\%$

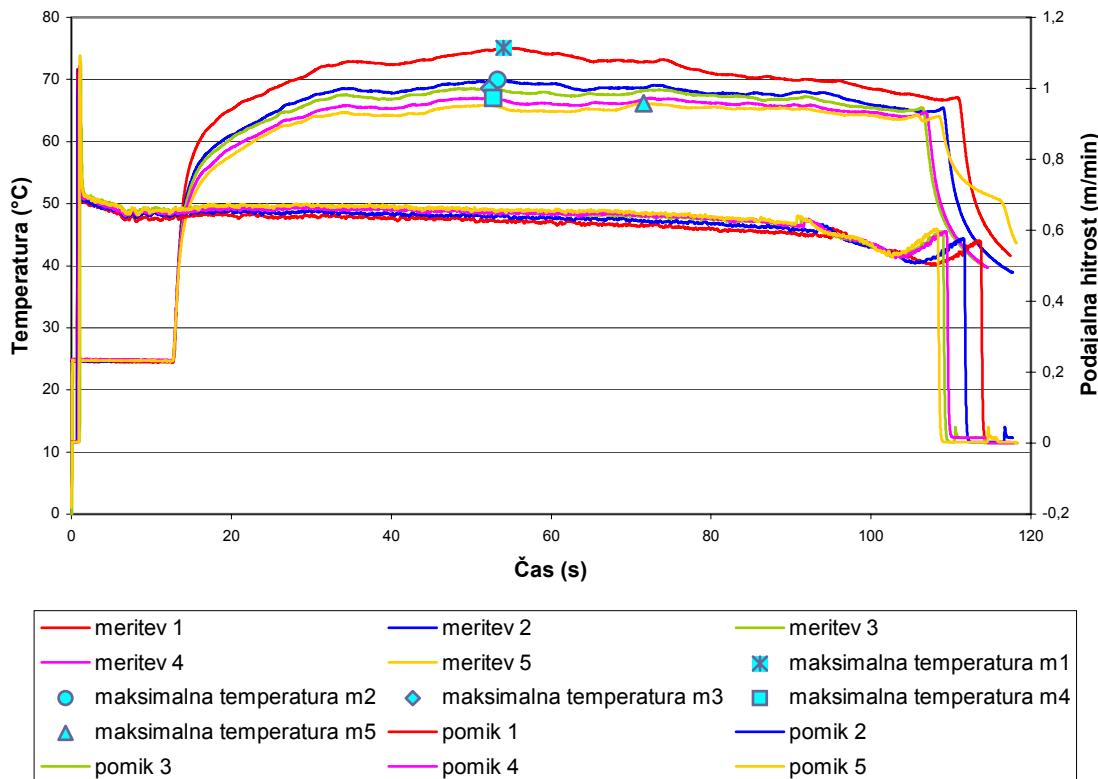
Preglednica 4-4. Rezultati merjenja temperature; $v_p=1,2\text{m/min}$, $a_z=3\text{mm}$, $u=11,67\%$

meritev	temperatura (°C)	pomik (m/min)	odvzem (mm)	T olja (°C)	premer obdelovanca (mm)	dejanski odvzem (mm)
1	130,30	1,245	3	33,39	87	2,95
2	126,93	1,294		32,55	81,4	2,8
3	122,17	1,294		32,57	75,9	2,75
4	121,91	1,289		33,52	71	2,95
5						
\bar{a}	125,33	1,281		33,01		2,86

Oblika krivulj meritev je podobna. Prva meritev najbolj odstopa od povprečja, čeprav je dosežena z nižjo podajalno hitrostjo. Opazno je odstopanje pri nastavljanju globine odvzema. V stacionarnem območju opažamo nižji smerni koeficient k premice linearne interpolacije pomika prve meritve.

4.2 TEMPERATURA PRI ODREZOVANJU MASIVE Z VLAŽNOSTJO 30,72%

4.2.1 Podajalna hitrost orodja 0,6m/min odvzem 2mm



Slika 4-5. Meritve temperature pri obdelavi bukovine; $v_p=0,6\text{m/min}$, $a_z=2\text{mm}$, $u=30,72\%$

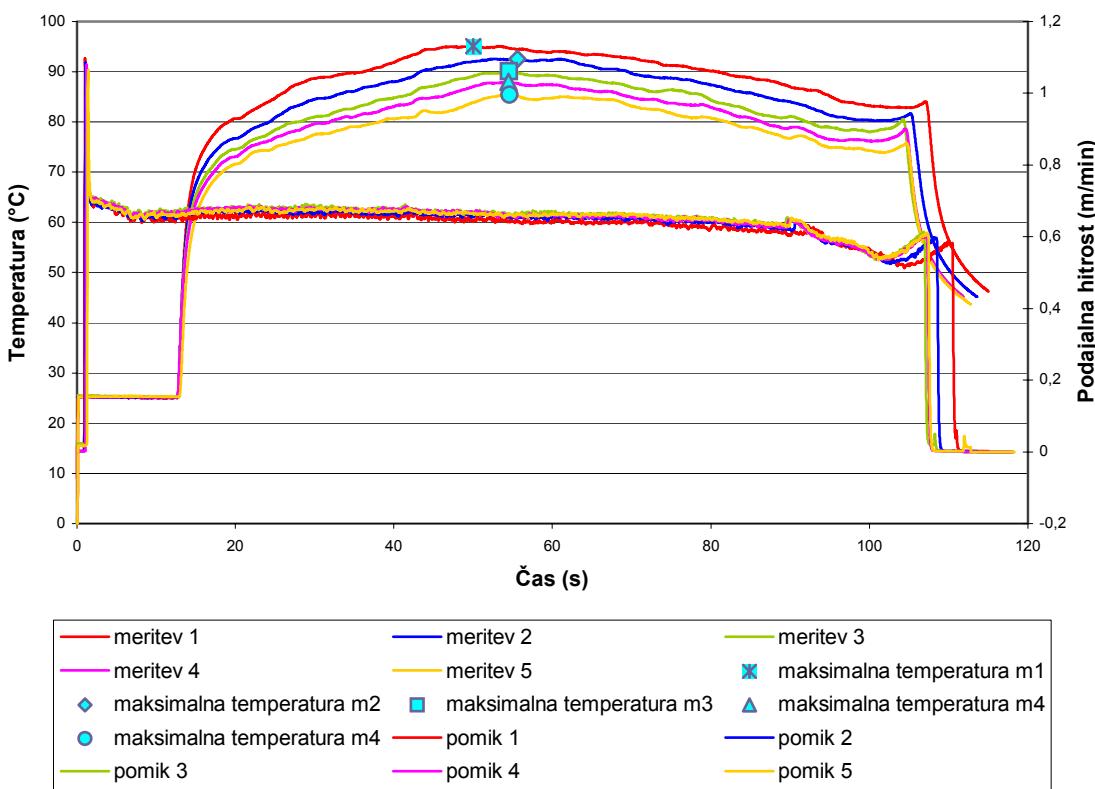
Preglednica 4-5. Rezultati merjenja temperature; $v_p=0,6\text{m/min}$, $a_z=2\text{mm}$, $u=30,72\%$

	temperatura (°C)	pomik (m/min)	odvzem (mm)	T olja premer obdelovanca (°C)	dejanski odvzem (mm)
meritev					
1	75,11	0,626	2	31,78	71,4
2	69,91	0,642		34,03	82,4
3	68,56	0,653		35,01	78,3
4	67,04	0,65		34,24	74,4
5	66,21	0,65		34,29	66,3
\bar{a}	69,37	0,643		33,87	2

Pri pregledu meritev opazimo, znatno znižanje temperature zaradi povečane vlažnosti. Oblika krivulj je enaka. Najvišja temperatura je dosežena ob nižji podajalni hitrosti kot posledici nižje temperature olja. Zaznamo lahko padec naslednjih meritev, kjer je največja razlika je med prvo in drugo meritvijo, med naslednjimi meritvami pa se razlika giblje okoli 1°C. Maksimalne temperature so dosežene v enakem območju, razen pri zadnji

meritvi, kjer je ta dosežena pozneje. Kljub temu se smerni koeficient premice linearne regresije bistveno ne razlikuje od drugih.

4.2.2 Podajalna hitrost orodja 0,6m/min odvzem 3mm



Slika 4-6. Meritev temperature pri obdelavi bukovine; $v_p=0,6\text{m/min}$, $a_z=3\text{mm}$, $u=30,72\%$

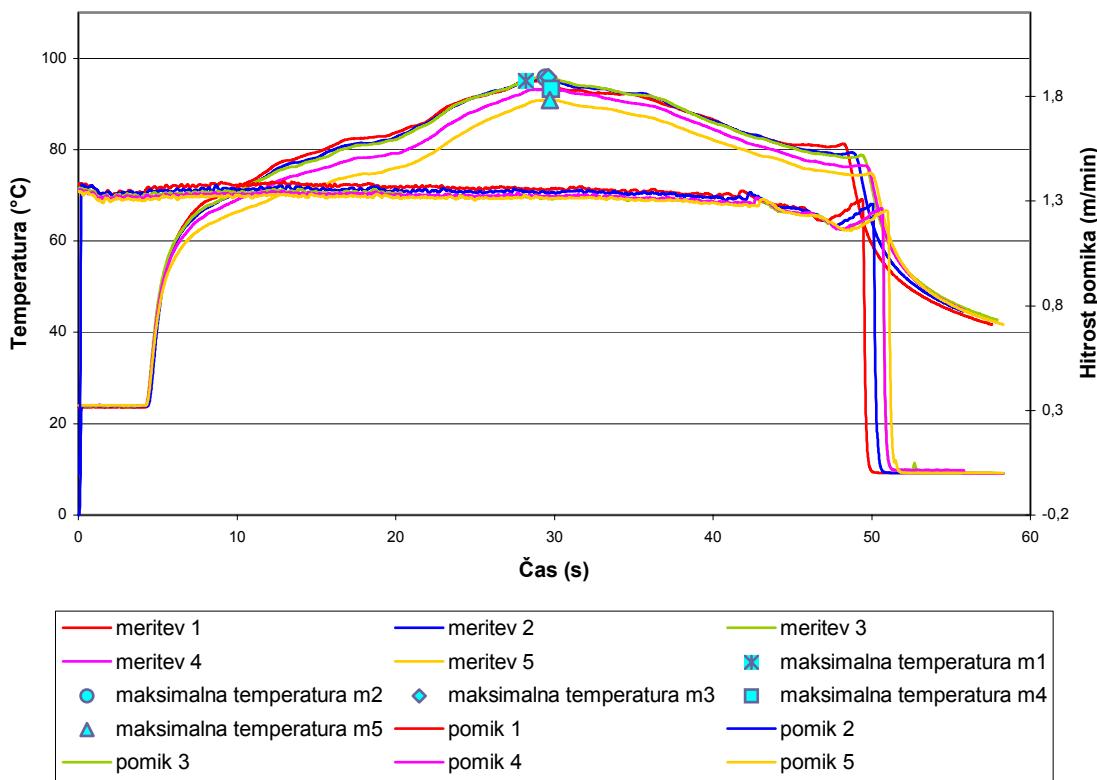
Preglednica 4-6. Rezultati merjenja temperature; $v_p=0,6\text{m/min}$, $a_z=2\text{mm}$, $u=30,72\%$

meritev	temperatura (°C)	pomik (m/min)	odvzem T olja premer obdelovanca (mm)	dejanski odvzem (mm)
1	95,10	0,642	3	34,88
2	92,61	0,652		35,21
3	90,12	0,66		36,59
4	87,98	0,66		36,59
5	85,45	0,663		36,80
ā	90,25	0,656		36,01
				3

Oblika krivulj je enaka. Opazimo enakomerno padanje temperature meritev ne glede na odstopanje pri nastavitevi odvzema. Maksimalna temperatura je dosežena v enakem območju. Pomik orodja se zaradi povečevanja temperature hidravličnega olja viša proti

zadnji meritvi. Sprememb pomika in temperature v stacionarnem območju nista sorazmerni.

4.2.3 Podajalna hitrost orodja 1,2m/min odvzem 2mm



Slika 4-7. Meritve temperature pri obdelavi bukovine; $v_p=1,2\text{m/min}$, $a_z=2\text{mm}$, $u=30,72\%$

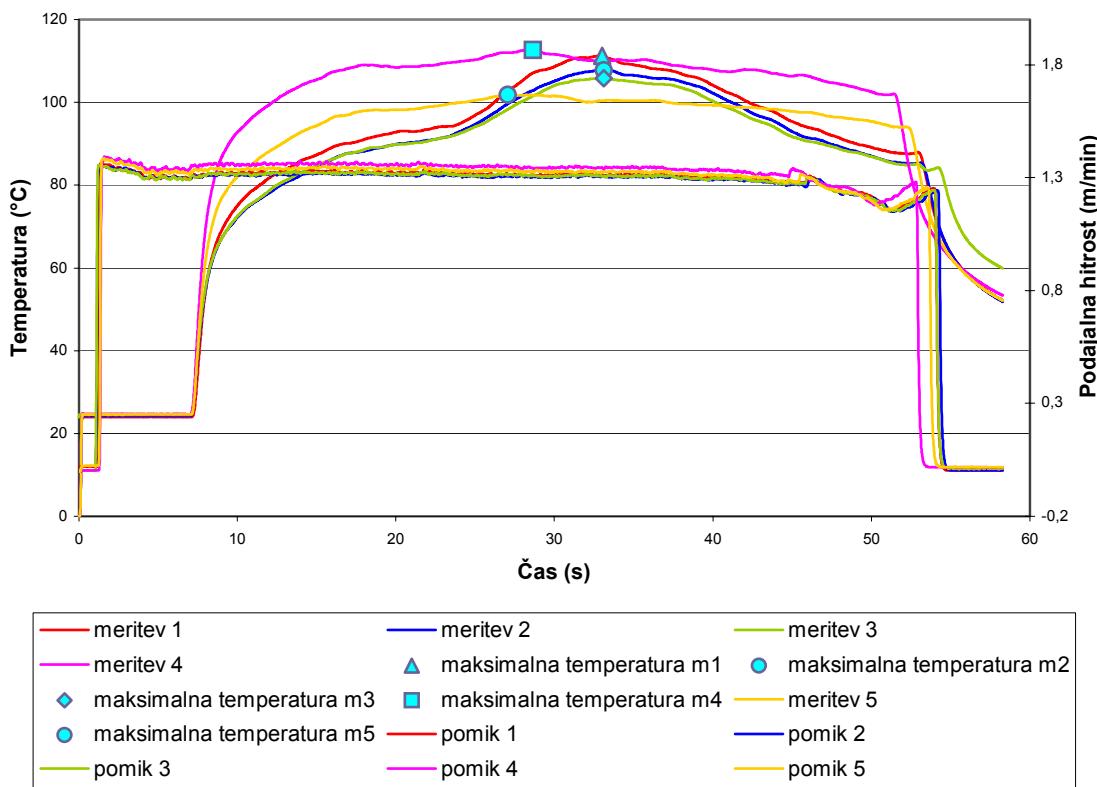
Preglednica 4-7. Rezultati merjenja temperature; $v_p=1,2\text{m/min}$, $a_z=2\text{mm}$, $u=30,72\%$

meritev	temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	pomik (m/min)	odvzem (mm)	T olja premer obdelovanca ($^{\circ}\text{C}$)	dejanski odvzem (mm)
1	95,03	1,379	2	33,93	2
2	95,77	1,34		32,5	1,65
3	95,86	1,315		32,68	2,15
4	93,35	1,322		31,99	1,65
5	90,87	1,311		32,01	1,75
\bar{a}	94,18	1,334		32,62	1,84

Pri opravljenih meritvah opazimo podobno obliko krivulj z majhnim odstopanjem maksimalne temperature. Odstopanje zadnjih dveh meritv je hipotetično posledica odstopanja pri nastavitevi odvzema. Padec temperature v stacionarnem območju je

sorazmeren z padcem pomika. Maksimalna temperatura je z izjemo pete meritve dosežena v enakem območju.

4.2.4 Podajalna hitrost orodja 1,2m/min odvzem 3mm



Slika 4-8. Meritve temperature pri obdelavi bukovine; $v_p=1,2\text{m/min}$, $a_z=3\text{mm}$, $u=30,72\%$

Preglednica 4-8. Rezultati merjenja temperature; $v_p=1,2\text{m/min}$, $a_z=3\text{mm}$, $u=30,72\%$

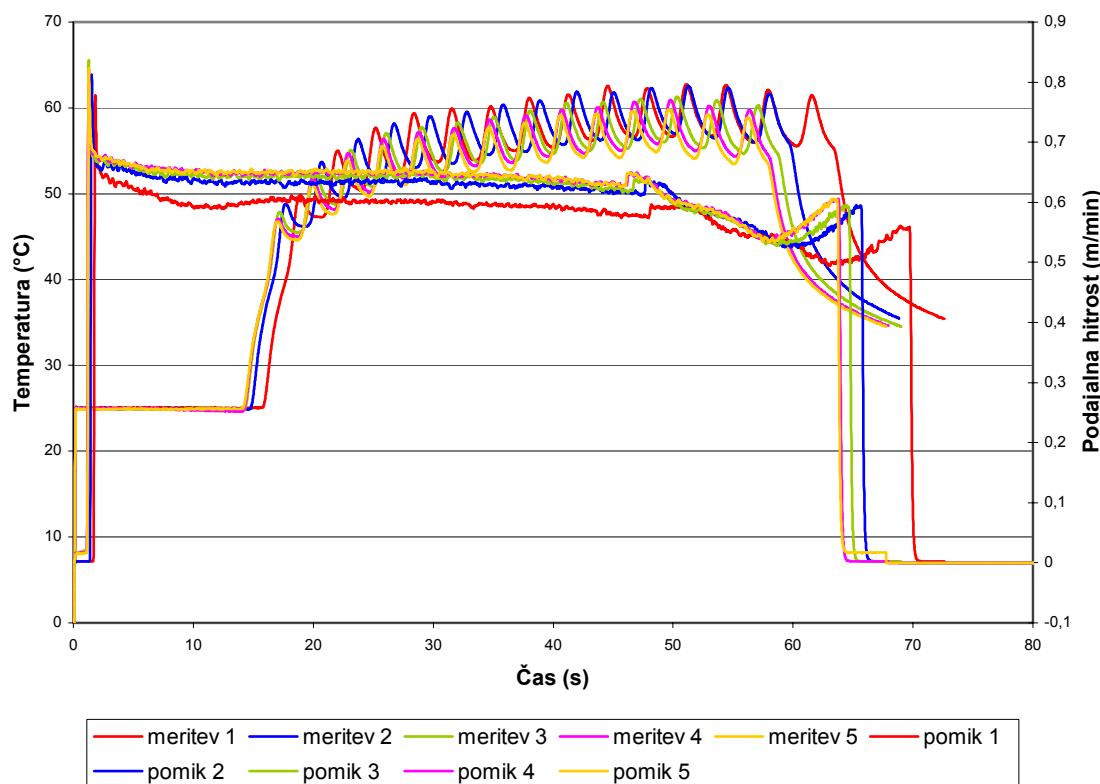
meritev	temperatura (°C)	pomik (m/min)	odvzem (mm)	T olja premer (°C)	premer obdelovanca (mm)	dejanski odvzem (mm)
1	111,23	1,314	3	32,24	78	2,9
2	107,75	1,306		32,04	72	3
3	105,8	1,307		32,14	66	3
4	112,7	1,342		32,27	92,15	3
5	101,86	1,330		31,83	87,05	2,55
\bar{a}	107,87	1,320		32,10		2,89

Graf meritve kaže občutno razliko oblike krivulje. V tem primeru gre za menjavo preizkušanca, tako da so bile prve tri meritve opravljene na istem preizkušancu kot meritve z odvzemom 2 mm, zadnji dve meritvi pa na drugem preizkušancu enake dolžine in vlažnosti. Kljub temu maksimalni temperaturi četrte meritve bistveno ne odstopata od

prve. Maksimalni temperaturi četrte in pete meritve se pojavita prej, zaradi drugačne gostote obdelovanca. Nižja maksimalna temperatura pete meritve je posledica odstopanja pri nastavitevi odvzema. Padca temperature in pomika v stacionarnem območju nista sorazmerna.

4.3 TEMPERATURA PRI ODREZOVANJU MDF PREIZKUŠANCA

4.3.1 Podajalna hitrost orodja 0,6m/min odvzem 2mm



Slika 4-9. Meritve temperature pri obdelavi MDF; $v_p=0,6\text{m/min}$, $a_z=2\text{mm}$

Preglednica 4-9. Rezultati merjenja temperature; $v_p=0,6\text{m/min}$, $a_z=2\text{mm}$

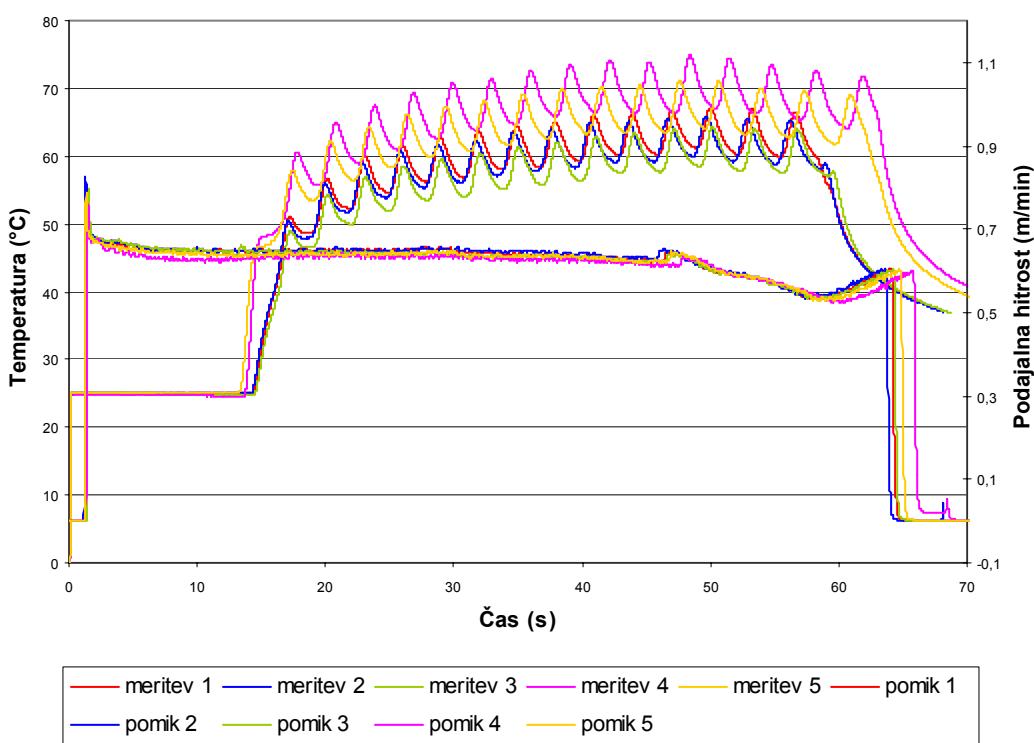
meritev	zunanji sloj		srednji sloj		premer obdelovanca	dejanski odvzem
	temperatura (°C)	pomik (m/min)	temperatura (°C)	pomik (m/min)		
1	62,74	0,587	55,94	0,546	2	34,11
2	62,53	0,592	56,99	0,609		33,96
3	61,31	0,595	56,00	0,609		33,80
4	60,94	0,605	55,79	0,624		34,62
5	59,83	0,610	54,86	0,620		34,70
\bar{a}	61,47	0,598	55,92	0,602	34,24	2

Pri obdelavi MDF preizkušanca smo naleteli na kontrolirano gostoto. Zato ločeno obravnavamo temperature dosežene pri odrezovanju srednjega in zunanjega sloja.

Krivulje meritve dokaj natančno sledijo gostotnemu profilu plošče. Maksimalne temperature srednjega in zunanjega sloja zelo malo odstopajo od povprečja, najverjetneje zaradi povečevanja podajalne hitrosti, kot posledice segrevanja hidravličnega olja. V stacionarnem območju lahko opazimo višji smerni koeficient T_s temperature (temperature srednjega sloja). Najvišji koeficient katerega T_s ima premica linearne regresije stacionarnega območja temperature, ki narašča proti zadnji meritvi.

Povprečna maksimalna temperatura srednjega sloja je $5,55^{\circ}\text{C}$ nižja od povprečne maksimalne temperature zunanjega sloja.

4.3.2 Podajalna hitrost orodja 0,6m/min odvzem 3mm



Slika 4-10. Meritve temperature pri obdelavi MDF; $v_p=0,6\text{m/min}$, $a_z=3\text{mm}$

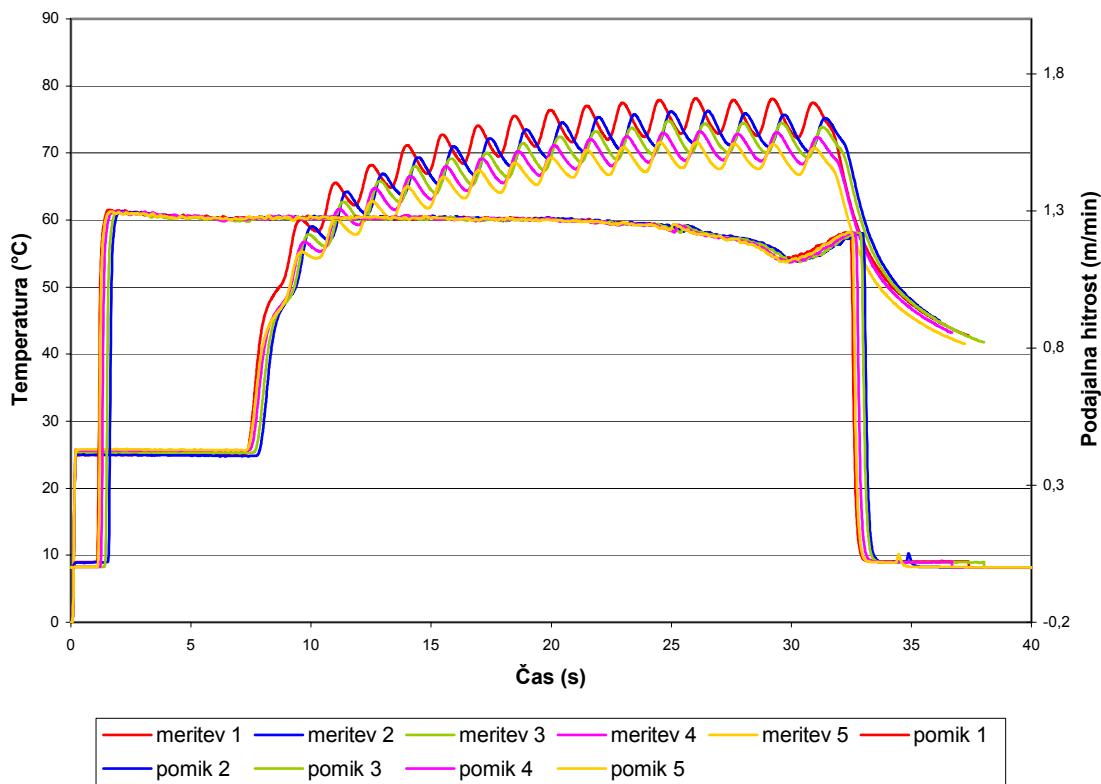
Pri opravljenih meritvah opazimo podobno obliko krivulj z očitnim odstopanjem maksimalne temperature srednjega kot zunanjega sloja. Temperatura četrte in pete meritve sta višji zaradi zamenjave obdelovanca.

Podajalna hitrost bistveno ne odstopa od povprečja. Povprečna maksimalna temperatura srednjega sloja za $6,49^{\circ}\text{C}$ nižja od povprečne maksimalne temperature zunanjega sloja.

Preglednica 4-10. Rezultati merjenja temperature; $v_p=0,6\text{m/min}$, $a_z=3\text{mm}$

meritev	zunanji sloj		srednji sloj		odvzem	T olja	(mm)	dejanski odvzem
	temperatura (°C)	pomik (m/min)	temperatura (°C)	pomik (m/min)				
1	67,16	0,602	61,19	0,614	3	34,80	85,8	2,95
2	65,95	0,607	59,92	0,624		34,80	79,8	3
3	64,31	0,600	58,47	0,617		34,06	73,7	3,05
4	74,52	0,592	67,04	0,605		32,63	106,35	3,225
5	71,08	0,599	63,99	0,617		32,68	100,35	3
\bar{a}	68,61	0,601	62,12	0,615		33,79		3,045

4.3.3 Podajalna hitrost orodja 1,2m/min odvzem 2mm

**Slika 4-11. Meritve temperature pri obdelavi MDF; $v_p=1,2\text{m/min}$, $a_z=2\text{mm}$**

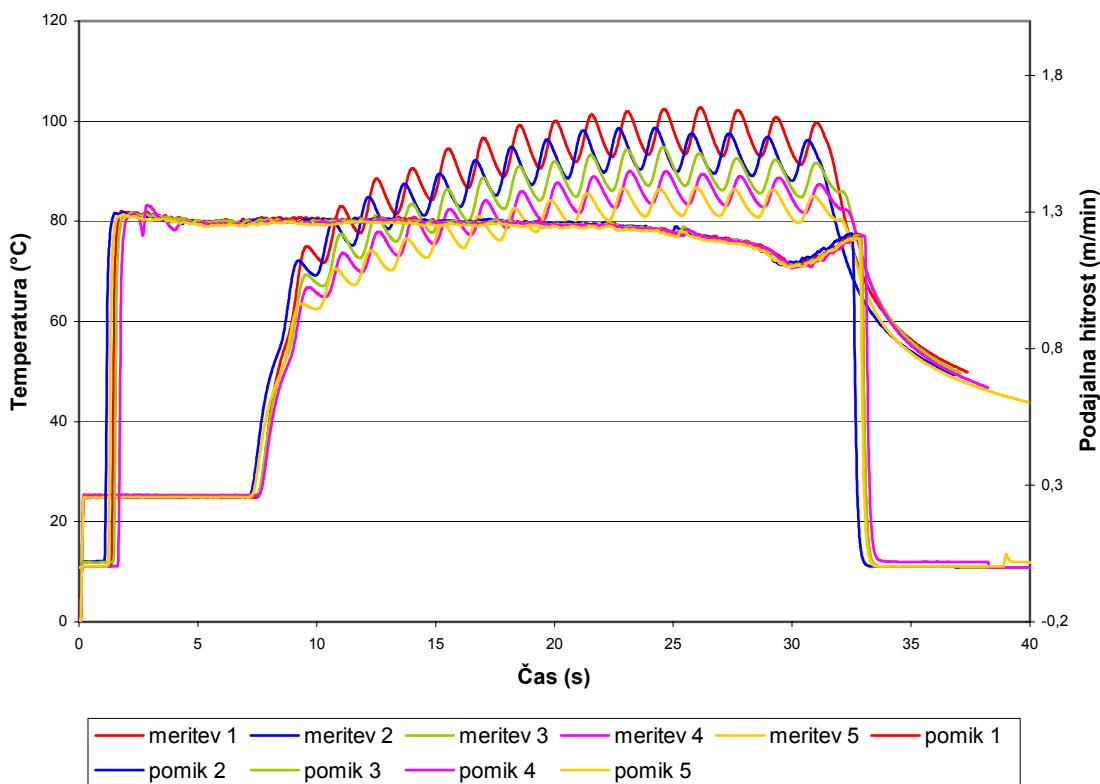
Maksimalne temperature odstopajo od povprečja in padajo. Pomik orodja je pri vseh meritvah enak odstopek pri nastavitevi odvzema pa majhen.

Padec temperature in pomika v stacionarnem območju nista sorazmerna. Povprečna maksimalna temperatura srednjega sloja je $4,57^\circ\text{C}$ nižja od povprečne maksimalne temperature zunanjega sloja.

Preglednica 4-11. Rezultati merjenja temperature; $v_p=1,2\text{m/min}$, $a_z=2\text{mm}$

meritev	zunanji sloj		srednji sloj		odvzem	T olja	(mm)	dejanski odvzem
	temperatura (°C)	pomik (m/min)	temperatura (°C)	pomik (m/min)				
1	78,13	1,215	72,88	1,215	2	32,91	96,7	2
2	76,29	1,215	71,47	1,215		32,57	92,6	2,05
3	74,81	1,215	70,08	1,215		32,86	88,6	2
4	73,19	1,215	68,94	1,215		32,52	84,4	2,1
5	71,59	1,215	67,78	1,215		32,86	80,5	1,95
\bar{a}	74,80	1,215	70,23	1,215		32,74		2,03

4.3.4 Podajalna hitrost orodja 1,2m/min odvzem 3mm

**Slika 4-12. Meritve temperature pri obdelavi MDF; $v_p=1,2\text{m/min}$, $a_z=3\text{mm}$**

Meritve temperature so zelo razpršene in močno odstopajo od povprečja. Padec temperature in pomika v stacionarnem območju ni sorazmeren. Povprečna maksimalna temperatura srednjega sloja je $7,61^\circ\text{C}$ nižja od povprečne maksimalne temperature zunanjega sloja.

Vidic D. Vpliv tehnoloških parametrov struženja na temperaturo rezila.

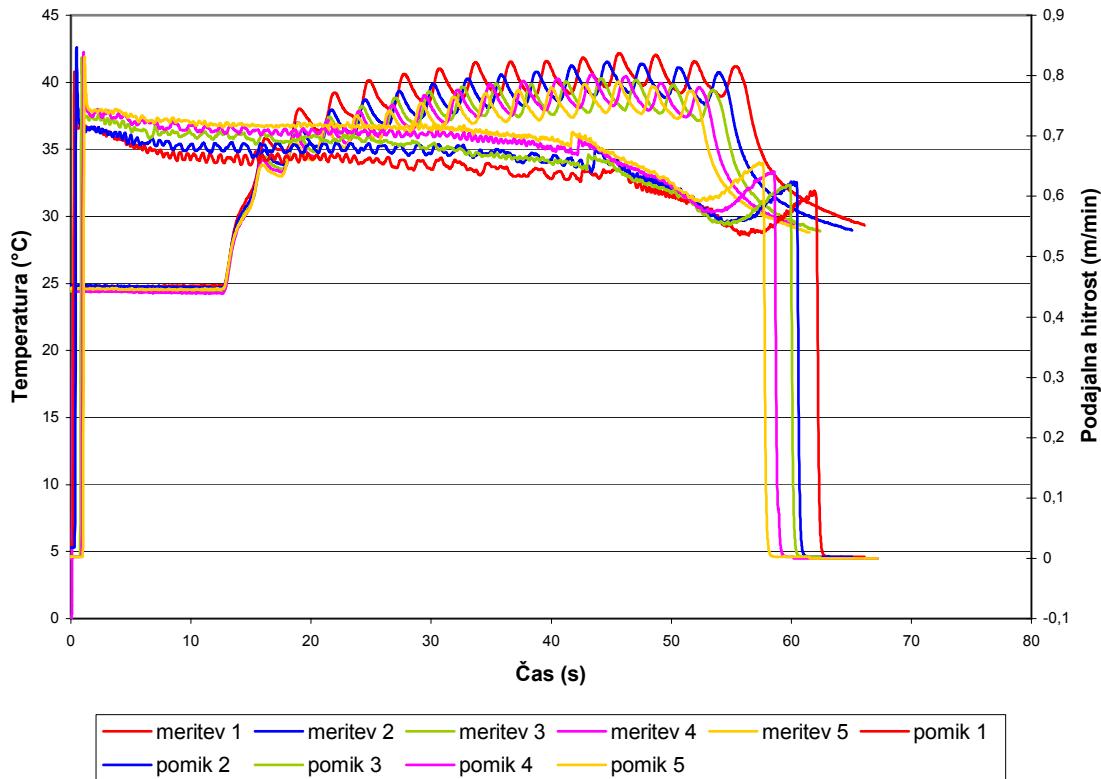
Dipl. delo. Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za lesarstvo, 2005

Preglednica 4-12. Rezultati merjenja temperature; $v_p=1,2\text{m/min}$, $a_z=3\text{mm}$

meritev	zunanji sloj		srednji sloj		odvzem	T olja	(mm)	dejanski odvzem (mm)
	temperatura (°C)	pomik (m/min)	temperatura (°C)	pomik (m/min)				
1	102,73	1,233	92,95	1,248	3	30,30	107,2	3
2	98,71	1,248	90,34	1,248		30,53	100,8	3,2
3	94,87	1,3	87,11	1,3		31,24	95,1	2,85
4	90,02	1,3	83,53	1,3		31,22	89,2	2,95
5	86,78	1,3	81,13	1,3		30,76	83,1	3,05
\bar{a}	94,62	1,234	87,01	1,237		30,81		3,01

4.4 TEMPERATURA PRI INTERMITENČNEM DISKONTINUIRANEM ODREZOVANJU MDF PREIZKUŠANCA

4.4.1 Podajalna hitrost orodja 0,6m/min odvzem 2mm



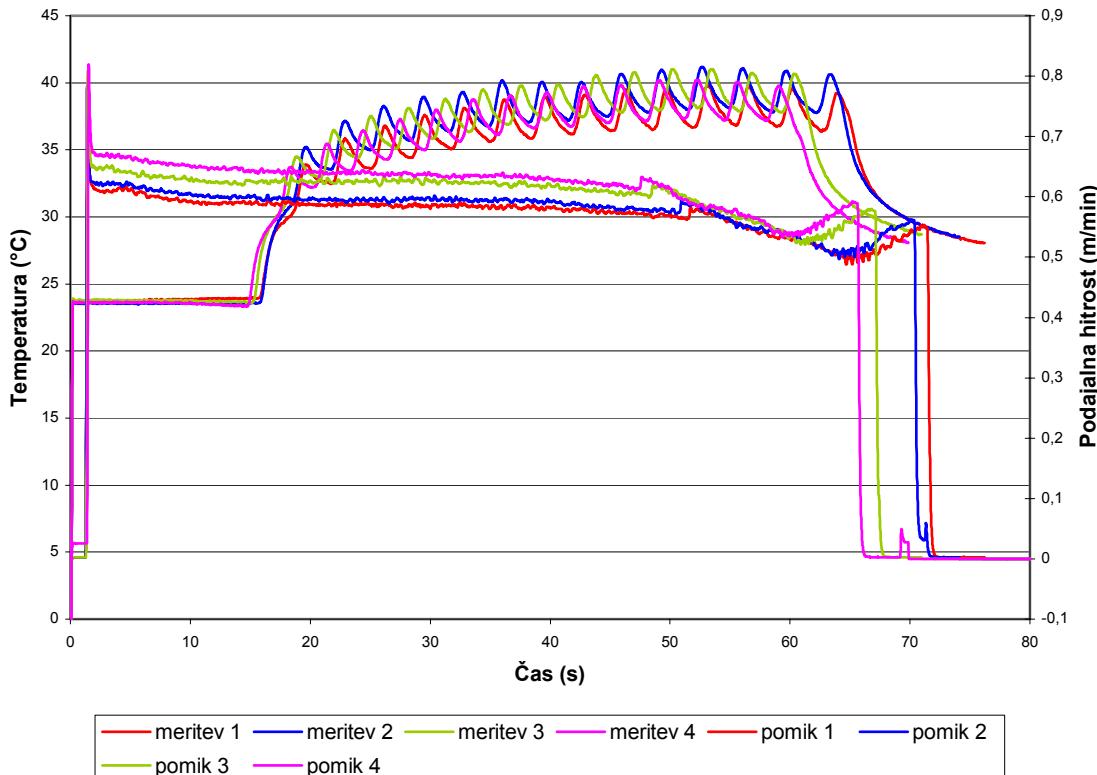
Slika 4-13. Meritve temperature pri intermitenčnem odrezovanju; $v_p=0,6\text{m/min}$, $a_z=2\text{mm}$

Preglednica 4-13. Rezultati merjenja temperature; $v_p=0,6\text{m/min}$, $a_z=2\text{mm}$

meritev	zunanji sloj		srednji sloj		odvzem	T olja	(mm)	dejanski odvzem
	temperatura (°C)	pomik (m/min)	temperatura (°C)	pomik (m/min)				
1	42,16	0,644	39,77	0,61	2	33,47	111,2	2
2	41,53	0,657	39,22	0,64		35,75	107,2	2
3	40,3	0,658	37,93	0,635		35,11	103,2	2
4	40,62	0,686	38,23	0,66		34,93	99,2	2
5	40,05	0,664	37,7	0,674		35,13	95,2	2
\bar{a}	40,93	0,662	38,57	0,645		34,88		2

Z intermitenčnim odrezovanjem smo simulirali odrezovanje skobeljne ali rezkalne glave. Nižja dosežena temperatura je posledica ohlajanja orodja. Maksimalne temperature meritev zaradi segrevanja hidravličnega olja navkljub povečevanju pomika padajo. Razlika med maksimalno temperaturo srednjega sloja in maksimalno temperaturo zunanjega sloja je majhna, $2,36^\circ\text{C}$.

4.4.2 Podajalna hitrost orodja $0,6\text{m/min}$ odvzem 3mm

**Slika 4-14. Meritve temperature pri intermitenčnem odrezovanju; $v_p=0,6\text{m/min}$, $a_z=3\text{mm}$**

Preglednica 4-14. Rezultati merjenja temperature; $v_p=0,6\text{m/min}$, $a_z=3\text{mm}$

meritev	zunanji sloj		srednji sloj		odvzem	premer obdelovanca	(mm)	dejanski odvzem (mm)
	temperatura (°C)	pomik (m/min)	temperatura (°C)	pomik (m/min)				
1	39,80	0,571	36,82	0,559	2	25,51	89,2	3
2	41,18	0,583	37,79	0,542		28,35	101	3
3	41,02	0,610	38,11	0,591		29,38	95	3
4	40,21	0,595	37,31	0,595		31,35	89	3
5								
\bar{a}	40,55	0,590	37,51	0,572		28,65		3

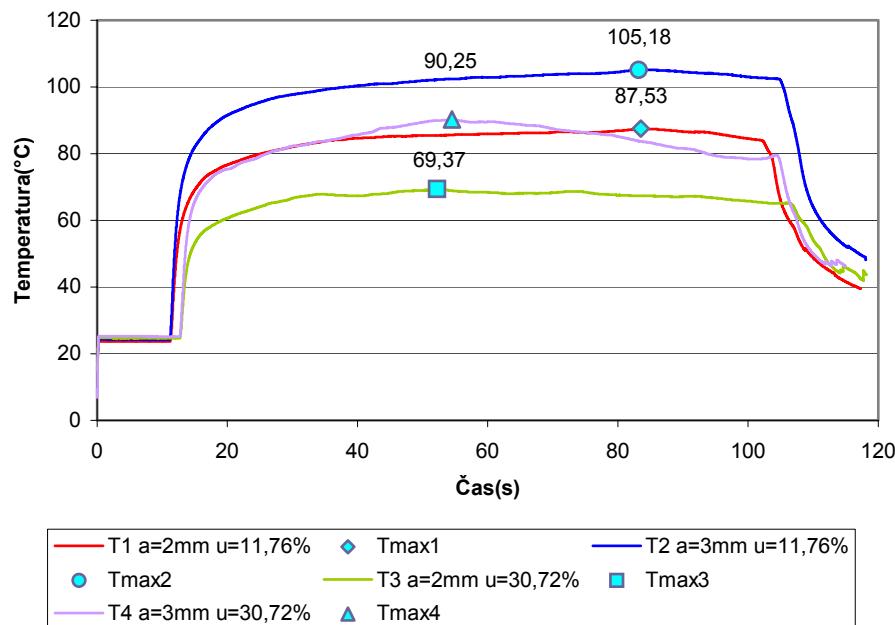
Meritev pri odvzemu 3 mm ne da pričakovanih rezultatov saj je maksimalna temperatura na nivoju odvzema pri 2mm. Razlika se pojavlja zaradi nižje podajalne hitrosti oziroma očitno nižje temperature hidravličnega olja.

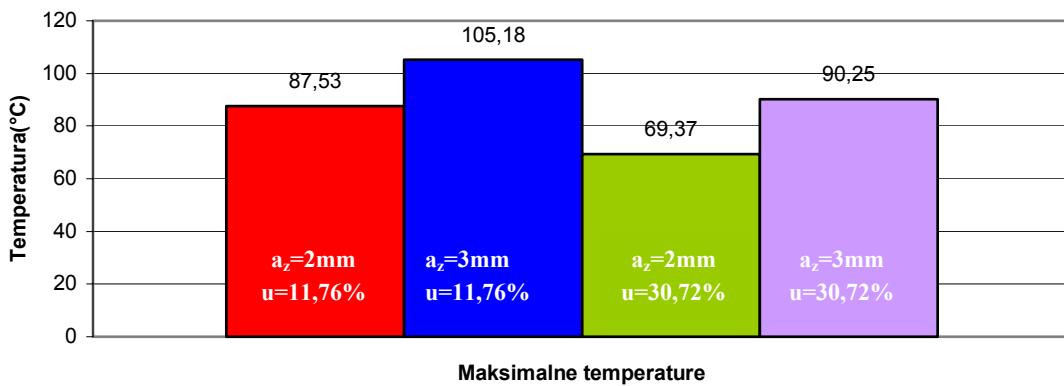
Pričakovana maksimalna temperatura bi morala biti vsaj 5°C višja. Razlika med maksimalno temperaturo srednjega sloja in maksimalno temperaturo zunanjega sloja pa je $2,43^{\circ}\text{C}$.

5 PRIMERJAVA REZULTATOV MERITEV

5.1 PRIMERJAVA TEMPERATUR ODREZOVANJA PRI ENAKI PODAJALNI HITROSTI

5.1.1 Podajalna hitrost orodja $0,6\text{m/min}$

**Slika 5-1. Primerjava temperatur pri obdelavi z enako podajalno hitrostjo – $v_p=0,6\text{m/min}$**

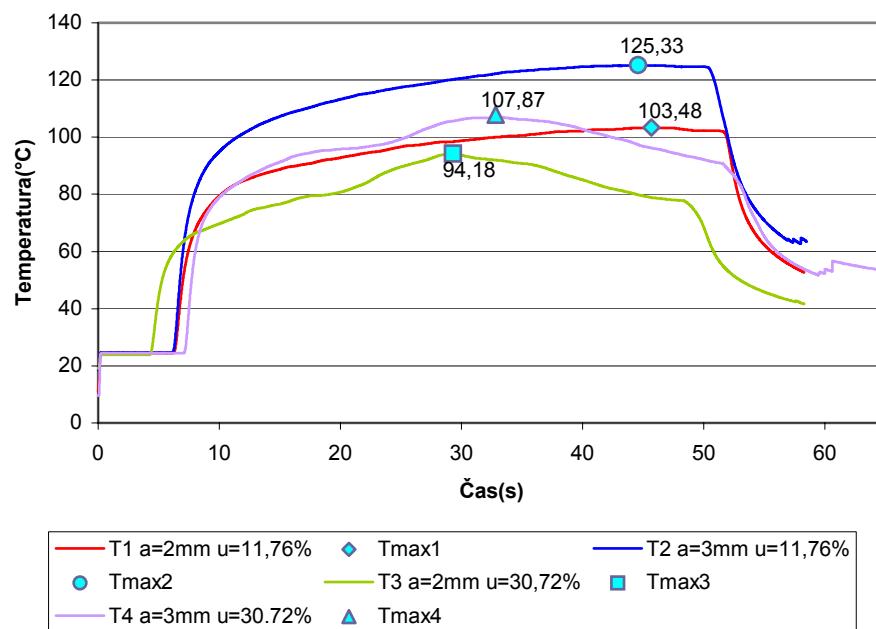
Slika 5-2. Primerjava maksimalnih temperatur pri obdelavi z enako podajalno hitrostjo $v_p=0,6\text{m/min}$ Preglednica 5-1. Primerjava meritev temperatur pri obdelavi z enako podajalno hitrostjo $v_p=0,6\text{m/min}$

	$a_z(\text{mm})$	$u(\%)$	$T(\text{°C})$	$\Delta T(\text{°C})$	$\Delta T(\%)$
Red box	$T_{a_z, u}$	2	11,76	87,53	
Blue box	$T_u (\Delta a_z)$	3	11,76	105,18	17,65
Green box	$T_{a_z} (\Delta u)$	2	30,72	69,37	-18,16
Purple box	$T(\Delta a_z, \Delta u)$	3	30,72	90,25	3,11

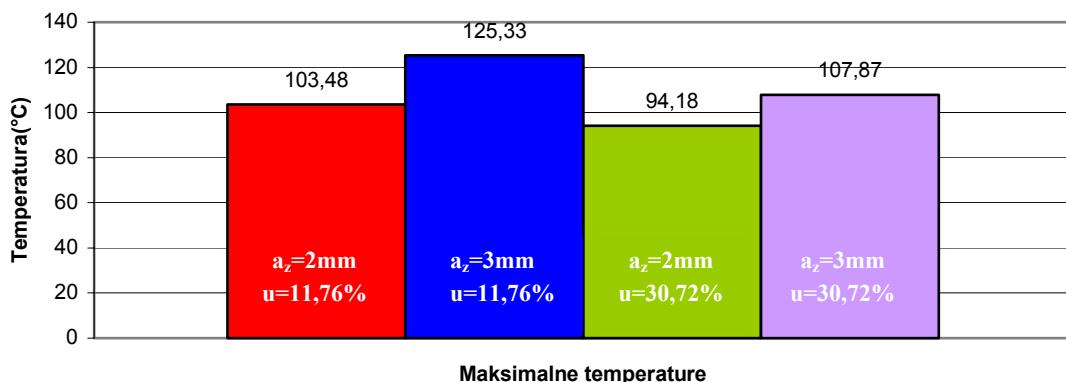
Izmerjena temperatura pri začetnem odvzemom ($a_z = 2\text{mm}$) in ravnovesni vlažnosti ($u=11,76\%$) je 87,53%. Povečanje vlažnosti za 38,28% ($\Delta u=18,76\%$) ima posledico za 20,75% nižjo temperaturo. Povečanemu odvzemom za 50% ($\Delta a_z = 1\text{mm}$) pri normalni vlažnosti sledi povečanje temperature za 20,16%. Temperatura pri povečanem odvzemom in povečani vlažnosti preizkušanca je za 3,1% višja od meritev z osnovnimi pogoji meritve. Hkrati je za 14,19% nižja od temperature dosežene pri povečanem odvzemom in normalni vlažnosti.

Meritev s povečano vlažnostjo in začetnim odvzemom da za 34% nižjo temperaturo kot meritev z povečanim odvzemom in normalno vlažnostjo.

5.1.2 Podajalna hitrost orodja 1,2m/min



Slika 5-3. Primerjava temperatur pri obdelavi z enako podajalno hitrostjo $v_p=1,2\text{m/min}$



Slika 5-4. Primerjava maksimalnih temperatur pri obdelavi z enako podajalno hitrostjo $v_p=1,2\text{m/min}$

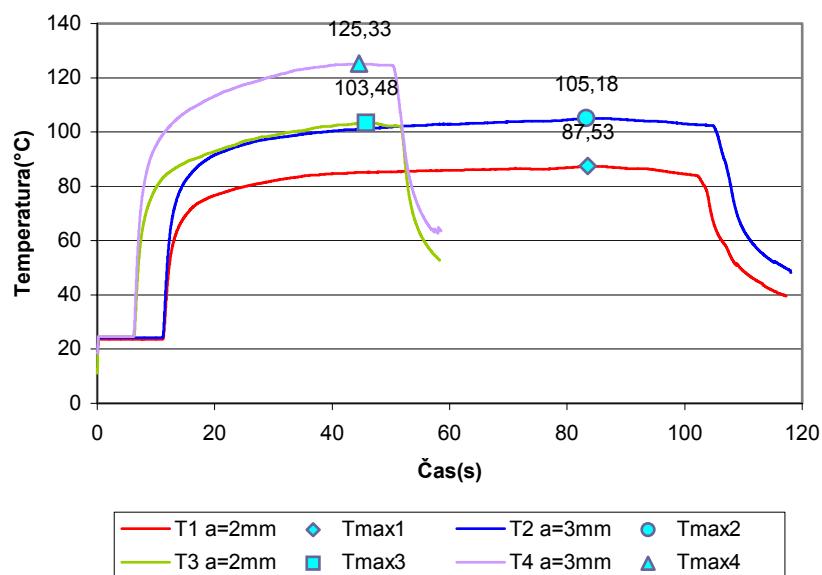
Preglednica 5-2. Primerjava meritev temperatur pri obdelavi z enako podajalno hitrostjo $v_p=1,2\text{m/min}$

	$a_z(\text{mm})$	$u(\%)$	$T(\text{°C})$	$\Delta T(\text{°C})$	$\Delta T(\%)$
□	$T_{a_z, u}$	2	11,76	103,5	
□	$T_{a_z} (\Delta u)$	3	11,76	125,3	21,85
□	$T_u (\Delta a_z)$	2	30,72	94,18	-9,3
□	$T(\Delta a_z, \Delta u)$	3	30,72	107,9	4,42

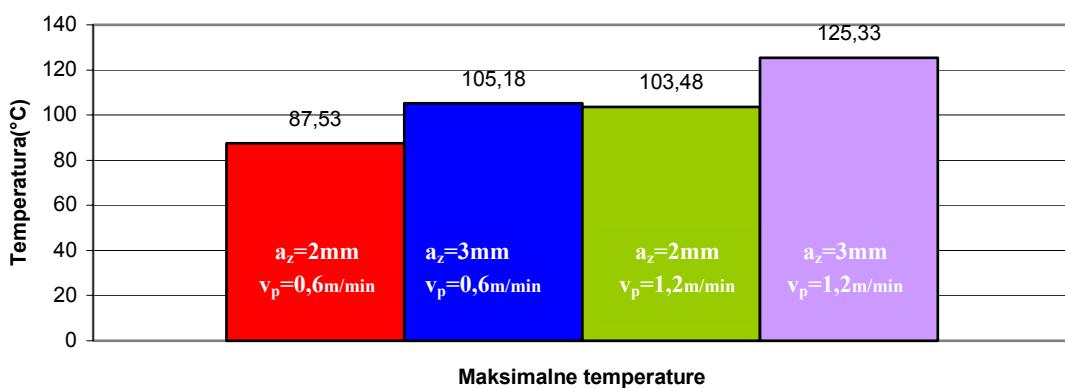
Izmerjene temperature so dosti višje zaradi povišane podajalne hitrosti. Med meritvami prihaja do precejšnjih odstopanj zaradi spremenjenih parametrov dela. Temperatura obdelave preizkušanca pri osnovnih pogojih dela je 8,99% nižja od obdelave pri povišani vlažnosti. Povečanje odvzema za 50% poveča temperaturo za 21,12%, obdelava pri povišani temperaturi in vlažnosti pa 4,27% višjo temperaturo, ki je 24,85% nižja od temperature pri povečanem pomiku. Razlika temperatur pri enaki vlažnosti je manjša za vlažni obdelovanec ($\Delta T_{u=30,72\%}=13,72^{\circ}\text{C}$), kar nakazuje vpliv zaradi povečane vlažnosti.

5.2 PRIMERJAVA TEMPERATUR PRI ODREZOVANJU OBDELOVANCEV ENAKE VLAŽNOSTI

5.2.1 Vlažnost obdelovanca $u = 11,67\%$



Slika 5-5. Primerjava temperatur pri obdelavi obdelovancev enake vlažnosti $u=11,67\%$



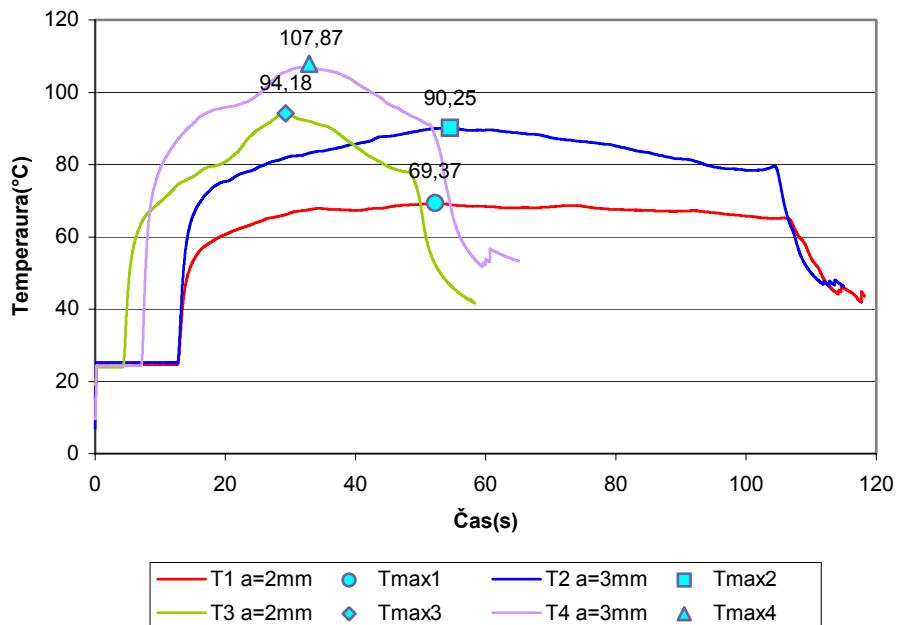
Slika 5-6. Primerjava maksimalnih temperatur pri obdelavi obdelovancev enake vlažnosti $u=11,67\%$

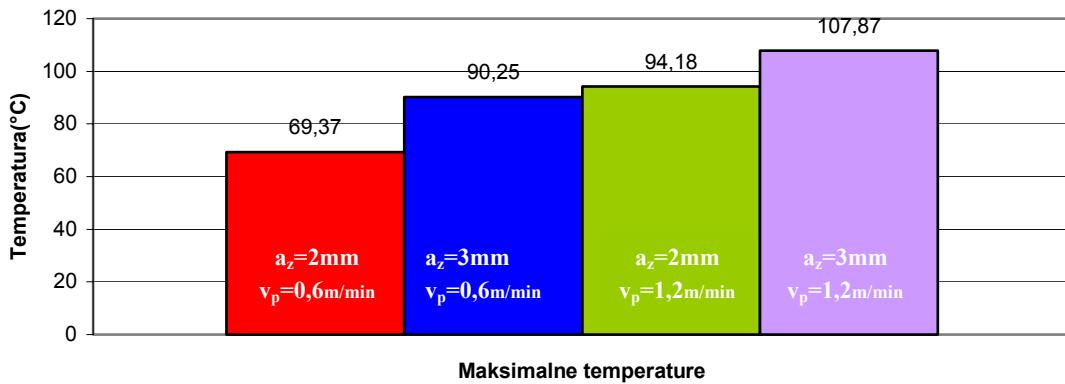
Preglednica 5-3. Primerjava meritev temperatur pri obdelavi obdelovancev enake vlažnosti u=11,67%

	a_z (mm)	v_p (m/min)	T(°C)	ΔT(°C)	ΔT(%)
□	T _{a_z, v_p}	2	0,6	87,53	
□	T _{v_p (Δa_z)}	3	0,6	105,18	17,65
□	T _{a_z (Δv_p)}	2	1,2	103,48	15,95
□	T _(Δa_z, Δv_p)	3	1,2	125,33	43,19

Razlike temperatur pri tej primerjavi enakomerne. Povečanje odvzema za 50% izrazi podoben rezultat kot povečanje pomika za 100%. Razlika med temperaturama je 1,7°C. Povečanje podajalne hitrosti in pomika doprinese 43,19% višjo temperaturo. Povečanje odvzema pri enakih podajalnih hitrostih ima za posledico večjo temperaturo pri višji podajalni hitrosti. Razlika je 21,85°C pri pomiku 1,2m/min in 17,65°C pri pomiku 0,6m/min.

5.2.2 Vlažnost obdelovanca u=30,72%

**Slika 5-7. Primerjava temperatur pri obdelavi obdelovancev enake vlažnosti u=30,72%**

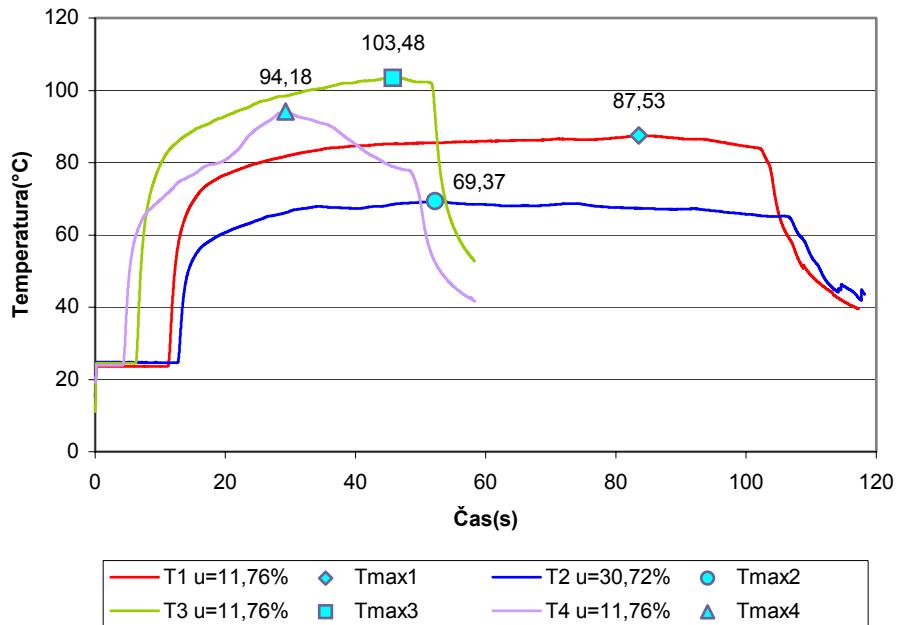
**Slika 5-8. Primerjava maksimalnih temperatur pri obdelavi obdelovancev enake vlažnosti $u=30,72\%$** **Preglednica 5-4. Primerjava meritev temperatur pri obdelavi obdelovancev enake vlažnosti $u=30,72\%$**

	a_z (mm)	v_p (m/min)	T(°C)	ΔT (°C)	ΔT (%)
□	T_{a_z, v_p}	2	0,6	69,37	
□	$T_{v_p (\Delta a_z)}$	3	0,6	90,25	20,88
□	$T_{a_z (\Delta v_p)}$	2	1,2	94,18	24,81
□	$T(\Delta a_z, \Delta v_p)$	3	1,2	107,87	38,5

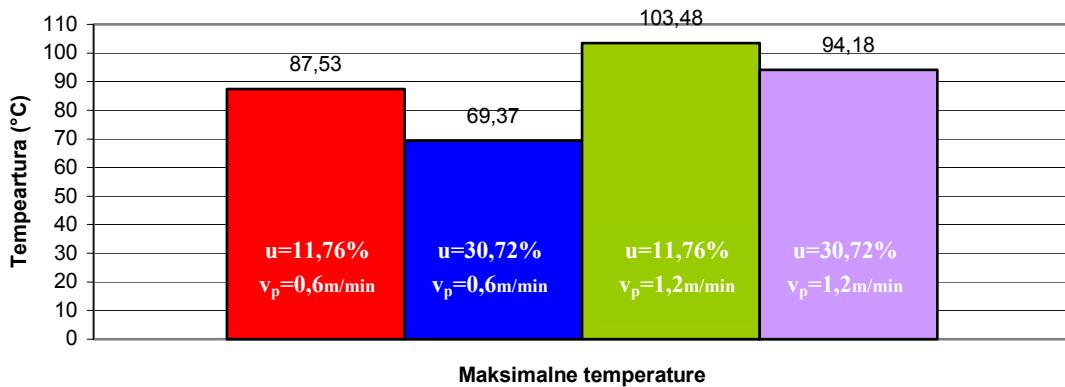
Razlike temperatur med enakimi odvzemi so višje pri normalnem pomiku. Med temperaturami je opazen velik razkorak, odstopanje med temperaturo pri osnovnih parametrih in meritvijo pri povišanih parametrih je $38,5^{\circ}\text{C}$. Povečanje pomika in podajalne hitrosti izrazi podobno temperaturo, meritev pri višji podajalni hitrosti doprinese $4,17\%$ višjo temperaturo.

5.3 PRIMERJAVA TEMPERATUR ODREZOVANJA PRI ENAKEM ODVZEMU

5.3.1 Odvzem $a_z=2\text{mm}$



Slika 5-9. Primerjava temperatur obdelave pri enakem odvzemu $a_z=2\text{mm}$



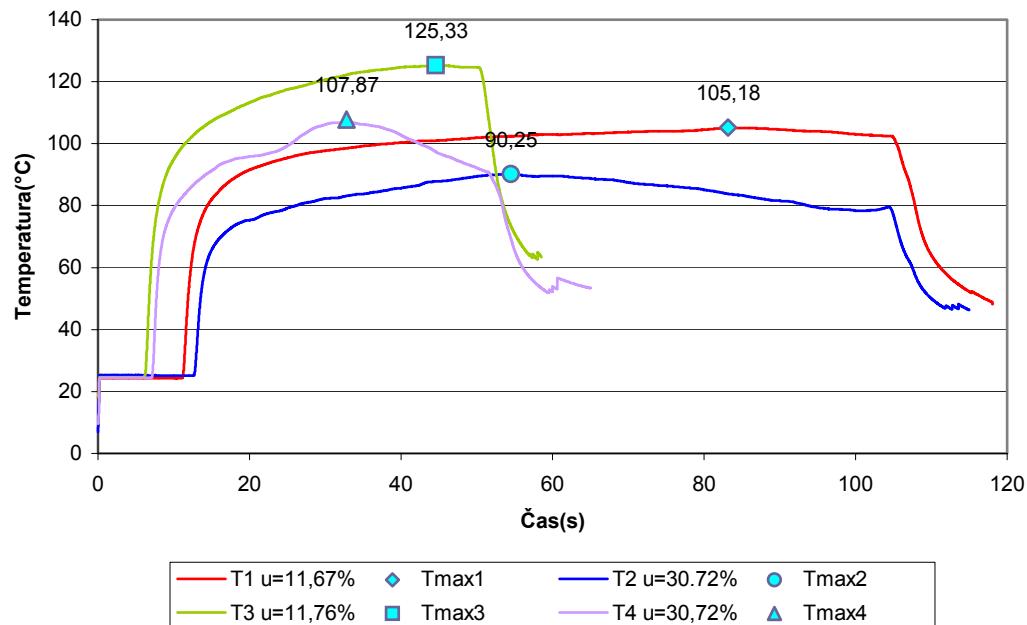
Slika 5-10. Primerjava maksimalnih temperatur obdelave pri enakem odvzemu $a_z=2\text{mm}$

Preglednica 5-5. Primerjava meritev temperatur obdelave pri enakem odvzemu $a_z=2\text{mm}$

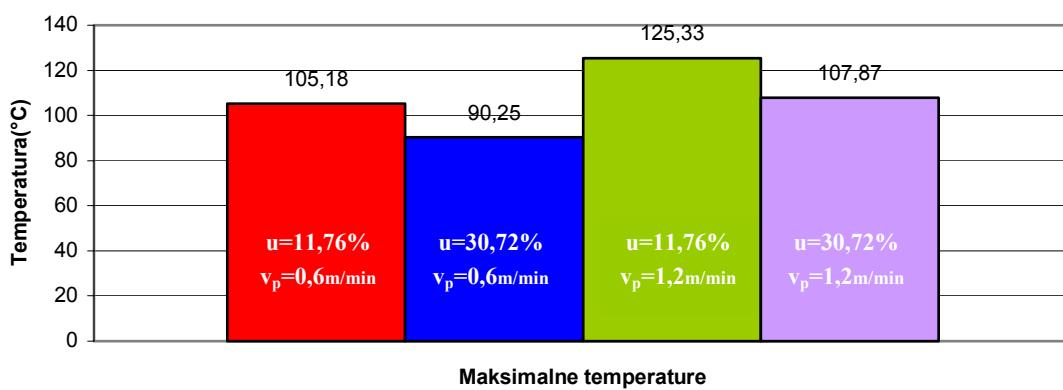
	u (%)	v_p (m/min)	T(°C)	ΔT (°C)	ΔT (%)
<input type="checkbox"/>	T_u, v_p	11,67	87,53		
<input type="checkbox"/>	$T_{v_p} (\Delta u)$	30,72	69,37	-18,16	-26,18
<input type="checkbox"/>	$T_u (\Delta v_p)$	11,67	103,48	15,95	22,99
<input type="checkbox"/>	$T(\Delta u, \Delta v_p)$	30,72	94,18	6,65	9,59

Povečanje vlažnosti za 38,28% zniža temperaturo za 26,18%, povečanje pomika za 100 % pa 22,99% višjo temperaturo. Zvišanje obeh parametrov povisiti temperaturo za 9,59%. Razlika med meritvama pri enaki podajalni hitrosti je večja pri osnovni podajalni hitrosti in sicer 18,16°C. Razlika med meritvama pri povišani podajalni hitrosti je 9,3°C, torej 48,7% manjša.

5.3.2 Odvzem $a_z = 3\text{mm}$



Slika 5-11. Primerjava temperatur obdelave pri enakem odvzemu $a_z=3\text{mm}$



Slika 5-12. Primerjava maksimalnih temperatur obdelave pri enakem odvzemu $a_z=3\text{mm}$

Preglednica 5-6. Primerjava meritev temperatur obdelave pri enakem odvzemu $a_z=3\text{mm}$

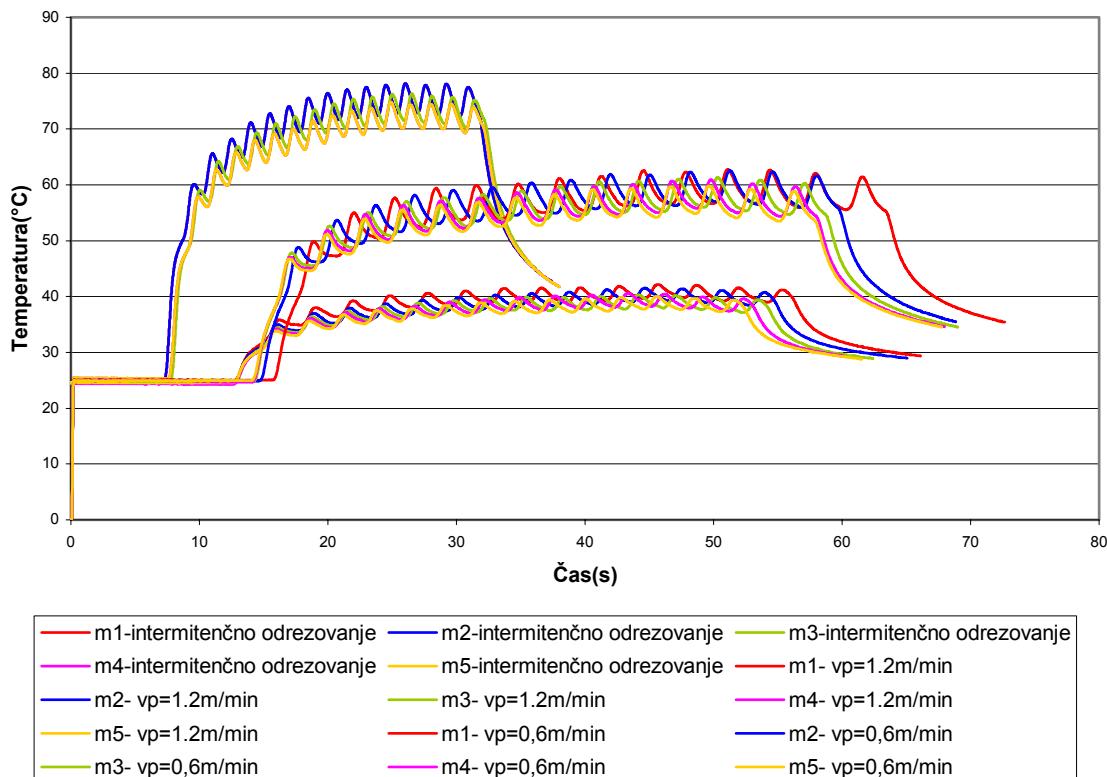
	u (%)	v_p (m/min)	T(°C)	ΔT(°C)	ΔT(%)
□ Tu, v _p	11,67	0,6	105,18		
□ T _{v_p} (Δu)	30,72	0,6	90,25	-14,93	-16,54
□ Tu (Δv _p)	11,67	1,2	125,33	20,15	22,33
□ T(Δu, Δv _p)	30,72	1,2	107,87	2,69	2,98

Povečanje vlažnosti za 38,28% doprinese za 14,93% nižjo temperaturo, povečanje pomika za 100 % pa 20,15% višjo temperaturo.

Zvišanje obeh parametrov povisja temperaturo za 2,69%. Razlika med meritvama pri enaki podajalni hitrosti je večja pri povišani podajalni hitrosti in sicer 17,46°C.

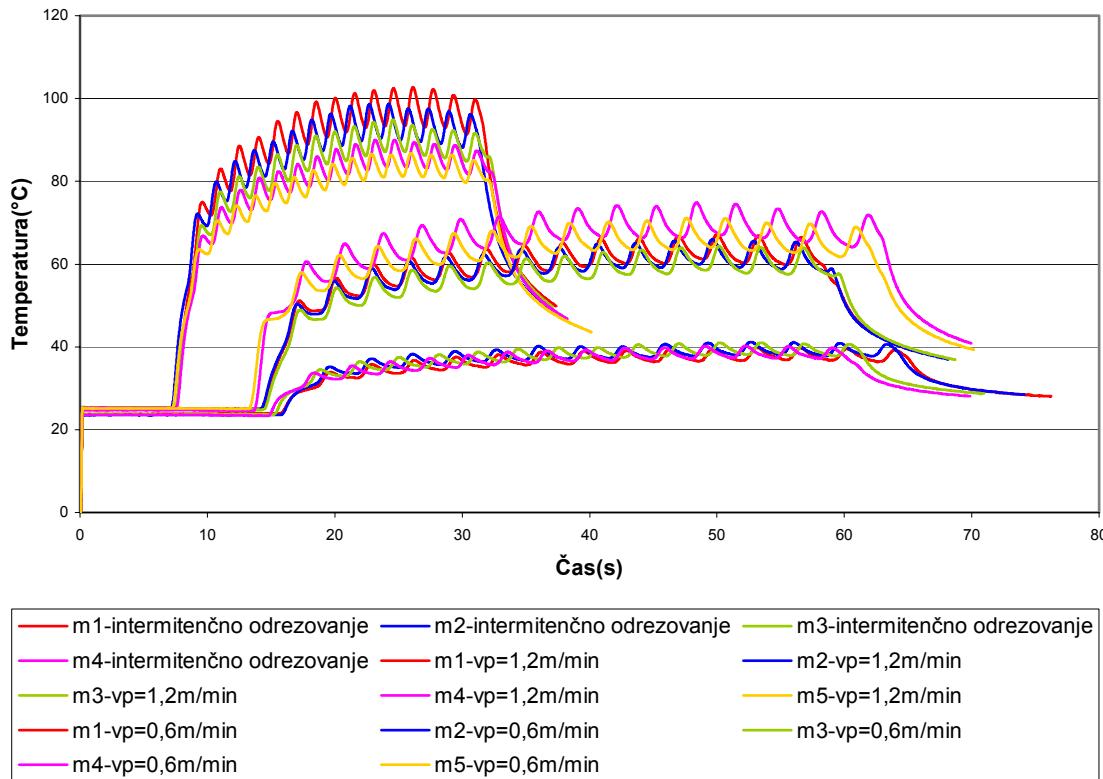
5.4 PRIMERJAVA TEMPERATUR ODREZOVANJA MDF PRI ENAKEM ODVZEMU

5.4.1 Odvzem $a_z=2\text{mm}$

**Slika 5-13. Primerjava temperatur obdelave MDF pri enakem odvzemu $a_z=2\text{mm}$**

Povečanje pomika za 100% izrazi $13,33^{\circ}\text{C}$ višjo temperaturo. Intermitenčno odrezovanje pri enaki podajalni hitrosti pa $33,41\%$ nižjo temperaturo. Slednja je posledica ohlajanja rezila med odrezovanjem in kaže nivo temperature pri intermitiranem rezanju.

5.4.2 Odvzem $a_z=3\text{mm}$



Slika 5-14. Primerjava temperatur obdelave MDF pri enakem odvzemu $a_z=3\text{mm}$

Povečanje pomika za 100% poveča temperaturo za 42,5%. Intermitenčno odrezovanje pri enakem pomiku pa 39,12% nižjo temperaturo. Vrednost itermitenčnega odrezovanja ni povsem primerljiva. Temperatura je nižja zaradi nižje hitrosti pomika, kar je posledica nižje temperature olja.

6 RAZPRAVA IN SKLEPI

Opazovanje vpliva spremicanja določenih tehnoloških parametrov obdelave na temperaturo rezanja pri struženju nam je odprlo nov pogled na distribucijo in velikost toplotnega toka skozi orodje. Ob tem lahko izpostavimo pomembne vplive posameznih tehnoloških parametrov na temperaturo rezila.

Če pri odrezovanju kovin trdimo, da se energija odrezovanja porablja za formiranje odrezka in premagovanje sile trenja, pri odrezovanju vlaknatega materiala govorimo o rabi energije za premagovanje sile trenja. Trenje rezila ob obdelovanec in odrezek ima za posledico toplotni tok, ki negativno vpliva na življenjsko dobo rezila. Velikost sile trenja je odvisna od velikosti normalne komponente rezalne sile in koeficiente trenja med rezilom in obdelovancem.

Zvezo med normalno komponento sile rezanja in silo trenja nam poda naslednja enačba.

$$F_t = k_t \times F_n \quad \dots(12)$$

Sila trenja na poti opravi delo, to pa se transformira v toploto.

$$A = s \times F_t \Rightarrow Q \quad \dots(13)$$

Normalna komponenta rezalne sile neposredno vpliva na velikost sile trenja in s tem na velikost toplotnega toka skozi orodje.

6.1 VPLIV PODAJALNE HITROSTI ORODJA

Pri merjenju temperature stružnega orodja smo uporabili dve različni podajalni hitrosti. Osnovno 0,6 m/min smo povečali na 1,2 m/min. Po pričakovanjih smo med izvajanjem meritev opazili, da povečanje podajalne hitrosti vedno močno vpliva na povečanje temperature orodja. Vpliv je vezan na vlažnost obdelovanca in odvzem. Sprememba temperature se z različnimi odvzemi spreminja. Tako je razlika temperatur odrezovanja pri osnovni vlažnosti ($u=11.67$) $4,21^\circ\text{C}$ v korist povečanega odvzema ($a_z=3\text{mm}$), s povečanjem vlažnosti ($u=30,72\%$) pa se vpliv podajalne hitrosti zmanjša. Razlika temperatur pri povečanem odvzemu je 7,19% manjša od razlik temperatur pri osnovnem odvzemu ($a_z=2\text{mm}$). Primerjave temperatur lahko vidimo na sliki 5-5 in 5-6.

Pri obdelovanju MDF opazimo povečanje temperature, ki je v korist povečanemu pomiku za $12,68^\circ\text{C}$ pri temperaturi odrezovanja zunanjega sloja in $10, 58^\circ\text{C}$ za odrezovanje srednjega sloja.

6.2 VPLIV ODVZEMA MATERIALA

Večji odvzem materiala vpliva na povečanje temperature rezila pri odrezovanju. V eksperimentu smo uporabili dve stopnji odvzema in sicer osnovni odvzem 2mm in povečan odvzem 3mm. Povečanje odvzema ima pri obdelovanju materiala s povečano vlažnostjo kot posledico povečanje temperature v enakem temperaturnem območju kot povečanje podajalne hitrosti.

Povečanje odvzema pri osnovni podajalni hitrosti ima za učinek podobno temperaturo kot odrezovanje pri osnovnem odvzemu in povečani podajalni hitrosti (slika 5-6, 5-8, tabela 4-2, 4-3).

6.3 VPLIV VLAŽNOSTI

Vlažnost obdelovanca ima velik vpliv na temperaturo odrezovanja. Obdelovanci so bili dveh različnih vlažnosti. Ravnovesno osnovno vlažnost ($u=11.67\%$) in povečano vlažnost v območju točke nasičenosti celičnih sten ($u=30,72\%$). Struženje obdelovanca z višjo vlažnostjo vedno vpliva na zmanjšanje temperature orodja. Vzrok zmanjšanja je zaznati kot povečanje trdnosti in trdote s sušenjem lesa (Kollmann, slika 2-2, 2-3) in izparevanjem vlage ob odrezovanju, kar povzroča absorbiranje toplotnega toka in posledično nižjo temperaturo orodja. Dokaz za to je 9,55% nižja vlažnost odrezkov, pri obdelavi obdelovancev z povišano vlažnostjo (preglednica 3-2).

Vpliv vlažnosti je primerljiv vplivom drugih parametrov odrezovanja. Tako zasledimo temperaturo v enakem območju, če obdelujemo z osnovnim odvzemom in ravnovesno vlažnostjo, kot če obdelujemo obdelovanec s povišano stopnjo vlažnosti in povečanim odvzemom (slika 5-2, 5-4). V obeh primerih je temperatura rezila pri obdelavi vlažnega obdelovanca višja, pri osnovni podajalni hitrosti za $2,27^{\circ}\text{C}$ višja, pri povečani pa $4,39^{\circ}\text{C}$. Ob tem ne smemo zanemariti vpliva gostote, saj maksimalna temperatura in stacionarno območje nastopita na različnih mestih za vlažen in ravnovesno suh obdelovanec. Temperatura odrezovanja s povečanima podajalno hitrostjo in vlažnostjo je malo višja kot temperatura odrezovanja z osnovnima podajalno hitrostjo in vlažnostjo. Pri osnovnem odvzemu je za $6,65^{\circ}\text{C}$ višja, pri povečanem odvzemu pa za $2,69^{\circ}\text{C}$ (slika 5-10, 5-12). Sklepamo lahko, da je temperatura orodja v enakem temperaturnem območju, če obdelujemo v osnovnih pogojih, kot če obdelujemo s povečano podajalno hitrostjo ali odvzemom pri višji vlažnosti lesa.

6.4 VPLIV GOSTOTE

Pri obdelovanju MDF obdelovancev smo se srečali z usmerjeno gostoto obdelovanca. Zaradi slojnega lepljenja plošč po debelini, so se po dolžini izmenjevala območja višje in nižje vlažnosti. Gostotni profil vlaknene plošče se je odražal pri merjenju temperature orodja. Razlika med maksimalno temperaturo zunanjega sloja in temperaturo srednjega sloja je pri osnovnem odvzemu in podajalni hitrosti $5,55^{\circ}\text{C}$, pri obdelavi z enakim odvzemom in povečano podajalno hitrostjo pa $4,57^{\circ}\text{C}$. Vidimo, da je temperaturna razlika

med sloji pri obdelavi, kljub povečanim parametrom na enakem nivoju. Enako trdimo za odrezovanje pri povečanem odvzemu. Temperaturna razlika pri osnovni podajalni hitrosti in povečanem odvzemu je $6,49^{\circ}\text{C}$, pri povečani podajalni hitrosti in enakem odvzemu je $7,61^{\circ}\text{C}$. Zato lahko sklepamo, da spremjanje podajalne hitrosti ne vpliva na temperaturno razliko med obdelovanjem, nasprotno nanjo pozitivno vpliva na povečevanje odvzema.

6.5 VPLIV INTERMITENČNEGA DISKONTINUIRANEGA ODREZOVANJA

Po pričakovanjih je intermitenčno odrezovanje imelo manjši topotni tok skozi rezilo in je zato potekalo pri nižji temperaturi. Povprečna dosežena temperatura intermitenčnega odrezovanja pri podajalni hitrosti $0,6\text{m/min}$ in odvzemu 2mm je dosegla $66,5\%$ temperature kontinuiranega odrezovanja. Meritve pri katerih je bil odvzem materiala ($a_z=3\text{mm}$) pa ne dajejo pričakovanih rezultatov. Kot vidimo v tabeli 4-14 je bila zaradi nižje temperature olja podajalna hitrost nižja od pričakovane (nastavljene). Tako je bila podajalna hitrost pri celi seriji meritev nižja za $11,3\%$ od osnovne podajalne hitrosti. Zato so rezultati meritev podobni tistim pri manjšem odvzemu.

6.6 VPLIV TEMPERATURE HIDRAVLIČNEGA OLJA NA PODAJALNO HITROST ORODJA

Temperatura hidravličnega olja je imela močan vpliv na odstopanje podajalne hitrosti od nastavljenih. Hidravlično olje se je med obratovanjem stroja segrevalo, po končani meritvi pa ohlajalo, zaradi ustavitve stroja in nastavljanja globine odvzema. Kljub temu se je hidravlično olje segrevalo do nivoja, ki ga lahko imenujemo stacionarna temperatura hidravličnega olja. V tem območju hladilni sistem odvaja prejeto toploto, niz meritev pa se zato giblje v območju zelo konstantnega pomika suporta (preglednica 4-11). Največjo razliko lahko vidimo pri meritvi temperature odrezovanja MDF pri podajalni hitrosti $0,6\text{m/min}$ in odvzemu 3 mm (preglednica 4-14). V tem primeru hidravlično olje ni doseglo stacionarne temperature, zaradi nižje temperature olja pa je izničen vpliv povečanja globine odvzema.

7 POVZETEK

Postopki mehanskih obdelovalnih tehnologij predstavljajo dejansko temelj lesne industrije. Kvaliteta odrezavanja in preoblikovanja lesa in lesnih kompozitov je tesno povezana z izbiro orodja. Življenjska doba rezil je odvisna od izbora rezalnih parametrov in načina vzdrževanja orodij. V deformacijskem območju rezila se zaradi tornih razmer med obdelavo pojavi toplota. Večji del toplote preide na rezilo s konduktivnim načinom prenosa toplote. Zaradi tega se temperatura rezila in pa tudi orodja med obdelavo poveča. Povišana temperatura rezil je eden bistvenih elementov mehanizma njihove obrabe. Pregrevanje materiala povzroča kristalografske spremembe v materialu rezila oziroma veziva. Sam proces segrevanja razdelimo v več faz. Za opazovanje temperature je najbolj zanimiva prehodna osrednja stopnja, med katero rezilo doseže stacionarno temperaturo. Na temperaturo orodja pri odrezavanju vpliva več dejavnikov. Mednje štejemo material obdelovanca, podajalno hitrost, rezalno hitrost, globino odvzema, geometrijo orodja, kvaliteto brušenja orodja in materiala orodja.

Za merjenje temperature orodja smo uporabili tehniko vstavljenega termočlena, nameščenega v utor pod rezilno ploščico. Merilna veriga je bila računalniško podprtta, za urejanje in shranjevanje podatkov smo uporabili programsko opremo LabWiev. Podajalno hitrost suporta, na katerem je bilo nameščeno stružno orodje smo spremljali z inkrementalnim dajalnikom impulzov. Glavni pogonski elektromotor smo priklopili na frekvenčni pretvornik. Na ta način smo lahko spremojali vrtilno hitrost zvezno. Temperatura olja v hidravličnem sistemu je bila ves čas pod nadzorom. Tako smo zagotovili, da je bila podajalna hitrost suporta, ki je odvisna od viskoznosti olja, ves čas enaka.

V eksperimentalnem delu smo opazovali vpliv posameznih parametrov obdelave na temperaturo rezila pri struženju. Odrezavanje je potekalo ob konstantni vrtilni hitrosti, uporabili pa smo dve različni podajalni hitrosti in dve različni globini odvzema. Osnovna podajalna hitrost suporta je bila 0,6m/min, povečana 1,2 m/min. Osnovni odvzem je bil 2mm, povečan pa 3mm. Obdelovanci iz masivnega lesa bukovine so imeli ravnovesno vlažnost $u=11.67\%$ in vlažnost blizu točke nasičenosti celičnih sten. Vpliv materiala na temperaturo orodja smo proučevali tudi med struženjem zlepljenega MDF bloka, kjer je bil preizkušanec sestavljen tako, da je bil gostotni profil plošče lahko viden. Proučevali smo vpliv spremjanja gostote na velikost toplotnega toka skozi orodje.

Zanimala nas je velikost temperature pri intermitenčnem struženju, ki do neke mere ponazaraja obdelavo z rezkalnimi orodji. Glavna značilnost tovrstnega odrezavanja je, da je rezilo orodja v stiku z obdelovancem samo del zasuka obdelovanca, nato pa sledi

prekinitev reza. V našem primeru je bilo razmerje med ločnim območjem odrezavanja in prekinitve 0,5. Temperatura rezila je bila zato bistveno nižja.

Geometrija orodja je med eksperimentom ostala nespremenjena. Rezalni koti so bili naslednji: prosti kot 10° , kot klina 66° , prsni kot 14° . Stranski prosti kot je znašal 3° .

Pri merjenju temperature rezila z različnimi parametri obdelave, smo dobili pričakovane rezultate. Povečanje podajalne hitrosti in globine odvzema povzroča povečanje temperature, povečanje vlažnosti obdelovanca, pa ima za posledico nižjo temperaturo rezila. Pri obdelavi MDF obdelovanca je opazno spremiščanje temperature s spremiščanjem gostotnega profila plošče. Temperatura rezila je bila pri odrezovanju srednjega sloja nižja od temperature rezila pri obdelavi zunanjega gostejšega sloja. To kaže na to, da ima gostota materiala na velikost temperature rezila pozitiven vpliv. Temperatura rezila pri intermitenčnem struženju dosega dve tretjini temperature noža pri klasičnem neprekinjenem odrezovanju z osnovnim odvzemom in podajalno hitrostjo.

8 VIRI

Abukhshim N. A., Mativenga P. T., Sheikh M.A. 2004. An investigation of the tool-chip contact lenght and wear in high speed turning of EN19 steel. Proceedings of the institution of Mechanical Engineers PART B - Journal of Engineering manufacture, 218 ,8: 889-903

Chiou R.Y., Lu L., Chen J., North M. T. 2003. The effect of an embedded heat pipe in a cutting tool on temperature and wear.V: Proceedings of IMCE 2003 ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition, Washington D.C., 15-21 nov. 2003:1-8

Domel Železniki. 2005. Domel elektromotorji in gospodinjski aparati d.d., Železniki.
<http://www.domel.si/products/detail.asp?id=482.3.501&za=dc> (15.2.2005)

Herchang A., Wen-jei Y. 1998. Heat transfer and life of metal cutting tools in turning. International Journal Heat and Mass Transfer, 41,3:613-623

Hewlett Packard. 2000. Practical temperature measurments. Application note 290: 2-11
http://www.home.agilent.com/cgi-bin/pub/agilent-expandedresults/cp_ExpandedResults.jsp?NAV_ID=11145.0.03&LANGUAGE_CODE=eng&contentType=Editorial&entityType=ED30&COUNTRY_CODE=US&BT_OFFSET_ExpRes=17BT_SORTBY_ExpRes=2
(15.feb.2005)

Kishawy H.A. 2002. An experimental evaluation of cutting temperatures during high speed machining of hardened D2 tool steel. Machining science and technology, 6,1:67-79

Kollman F.P., Côté W.A. 1984. Principles of Wood Science and Technology., Volume I: Solid Wood, Berlin Heidelberg New York Tokyo, Springer-Verlag: 341,408

M'Saoubi R., Le Calvez C., Changeux B. 2002. Thermal and microstructural analysis of ortogonal cutting of a low alloyed carbon steel using an infrared-charge-coupled

device camera technique. Proceedings of the institution of Mechanical Engineers
PART B - Journal of Engineering manufacture, 216,2: 153-165

O'Sullivan D., Cotterell M. 2001. Temperature measurement in single point turning.
Journal of Materials Processing Technology, 118: 301-308

Stewart A.H. 1985. A turning method for monitoring tool wear when machining
reconstituted wood products. Forest Product Journal, 35,11/12:41-42

Stewart A.H. 1987. Borided tungsten carbide reduces tool wear during machining of
MDF. Forest Product Journal, 37,7/8:35-38

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju profesorju doc. dr. Bojanu Bučarju za vso podporo in nasvete pri izdelavi tega diplomskega dela.

Zahvaljujem se profesorju doc. dr. Marjanu Mediču za recenzijo in predloge za izboljšanje vsebine diplomske naloge.

Za pomoč in nasvete pri izvajanju meritev se zahvaljujem univ.dipl.ing. Miranu Merharju in univ.dipl.ing. Bojanu Gospodariču.

Za svetovanje pri iskanju literature se zahvaljujem Maji Cimerman in Darji Vranjek.

Zahvaljujem se mami in očetu za vso spodbudo in podporo pri študiju in izdelavi diplomskega dela. Hvala Kristini, ker me je spodbujala in mi vlivala pogum.

Zahvaljujem se Juliju Rupretu za izdelavo suporta in stružnega orodja.

Špeli Debenec in Gregorju Rupretu se zahvaljujem za lektoriranje in vse nasvete pri oblikovanju. Za pomoč pri prevajanju izvlečka se zahvaljujem Maji Lipužič.

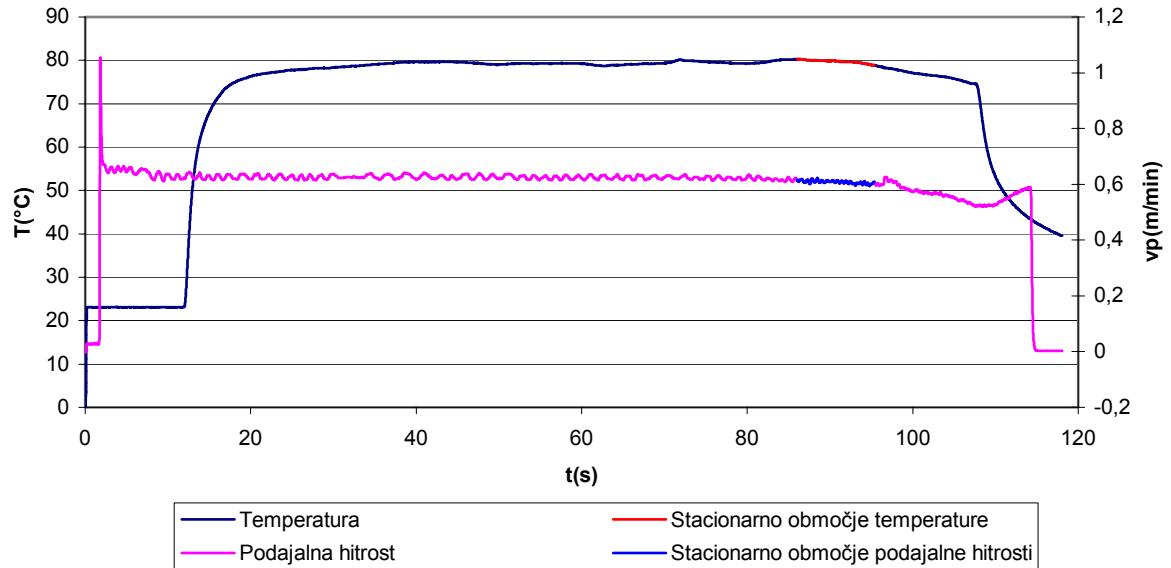
Vsem neimenovanim in kot tistim imenovanim, ki so na kakršenkoli način pripomogli k nastanku tega dala, z globokim spoštovanjem, HVALA.

Vidic D. Vpliv tehnoloških parametrov struženja na temperaturo rezila.

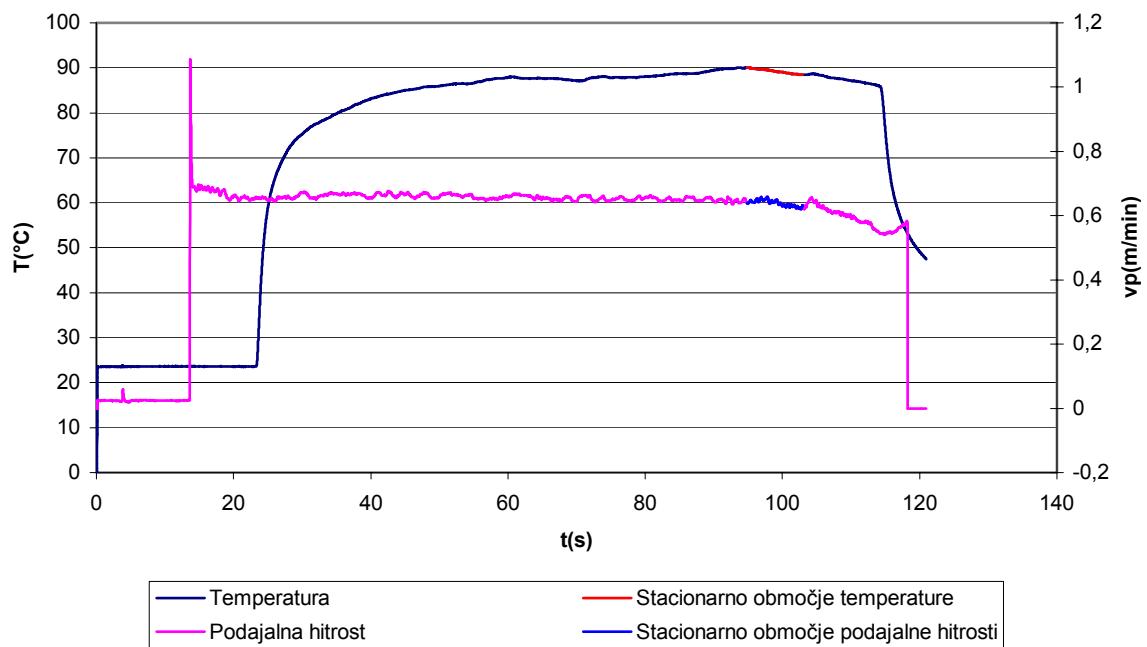
Dipl. delo. Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za lesarstvo, 2005

PRILOGE

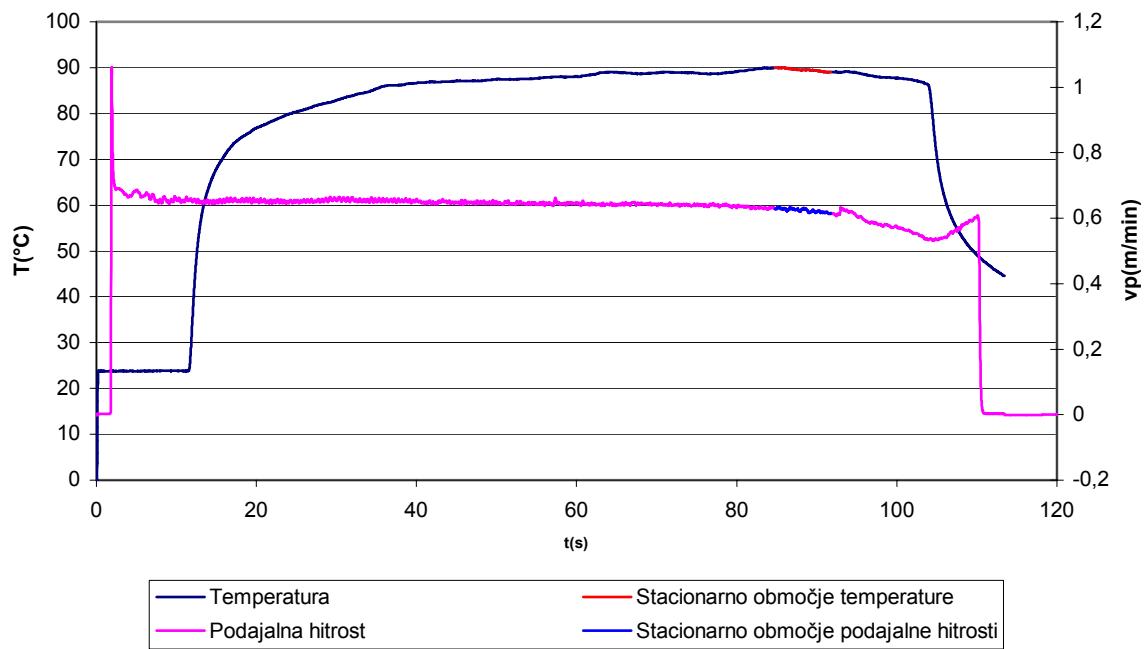
PRILOGA A – MERITVE TEMPERATURE PRI ODREZOVANJU BUKOVINE
 $u=11,67\%$, $v_p=0,6\text{m/min}$



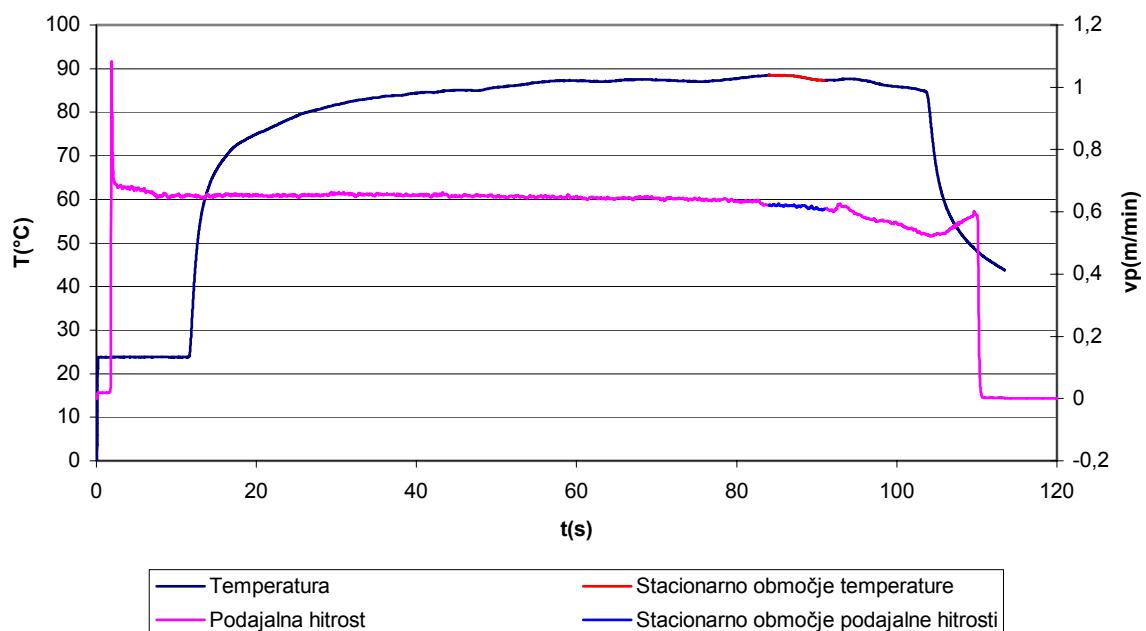
Meritev 1. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=2\text{mm}$



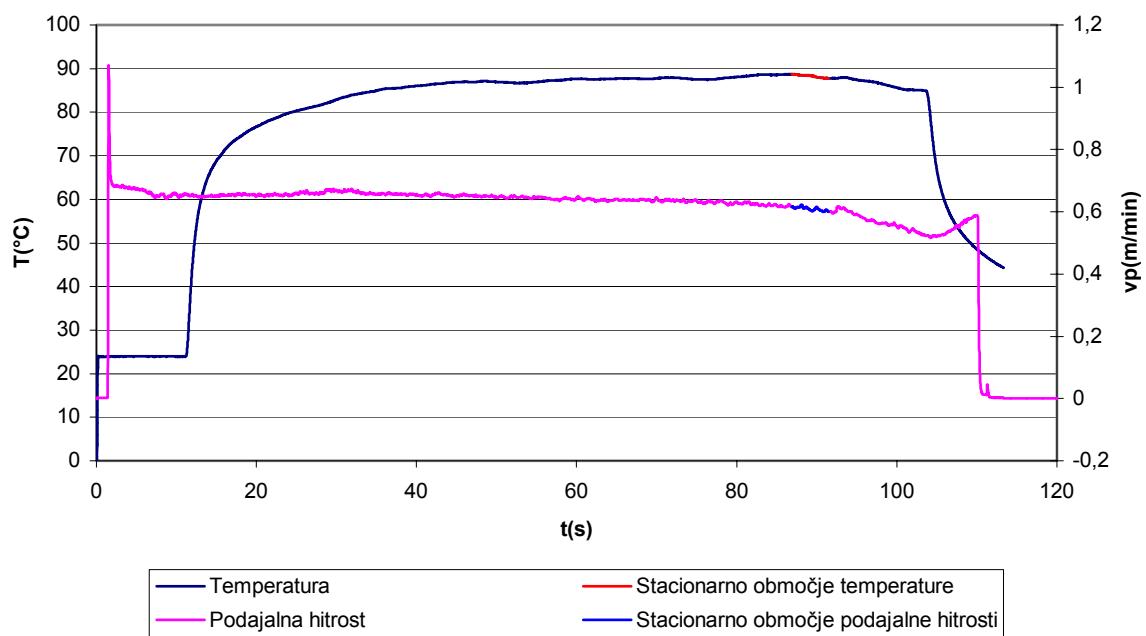
Meritev 2. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=2\text{mm}$



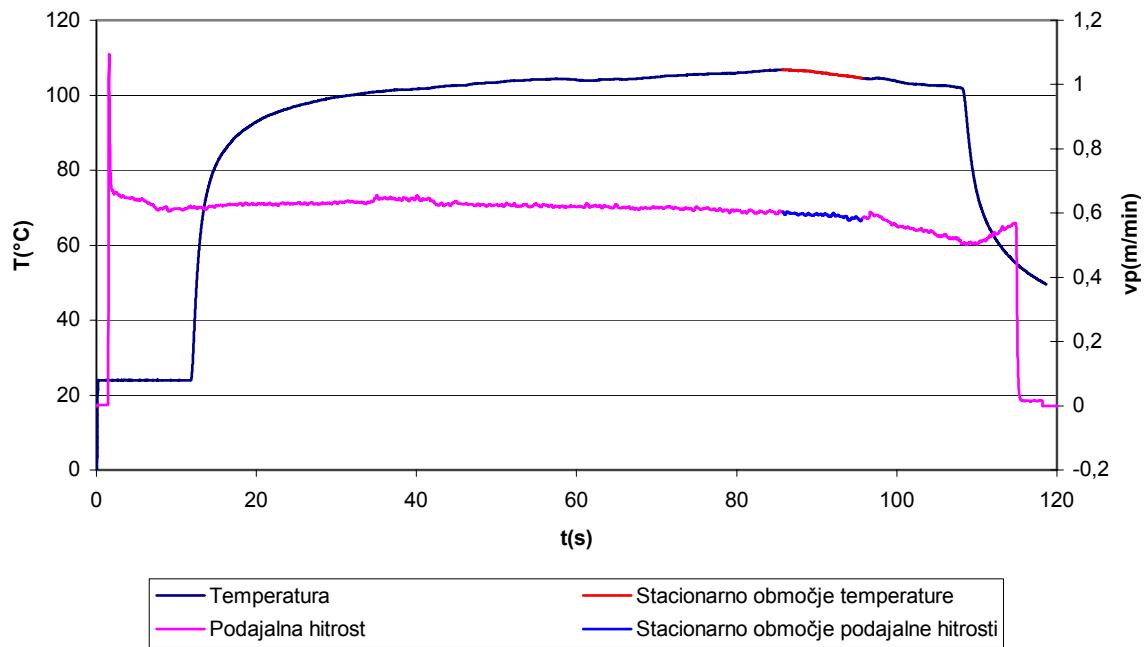
Meritev 3. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=2\text{mm}$



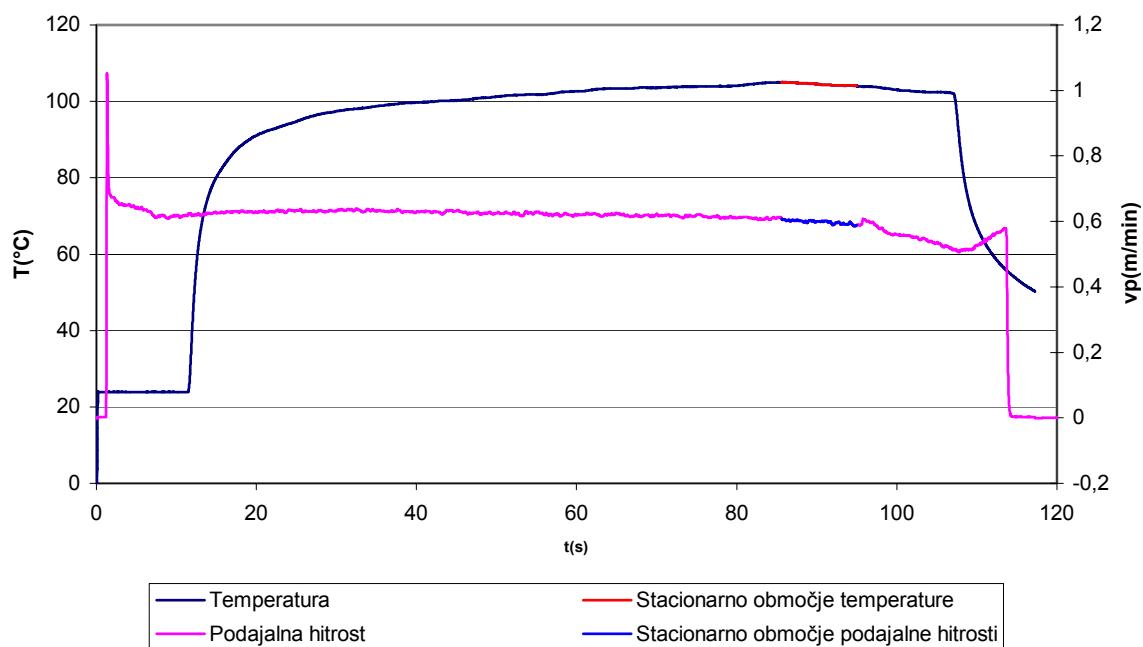
Meritev 4. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=2\text{mm}$



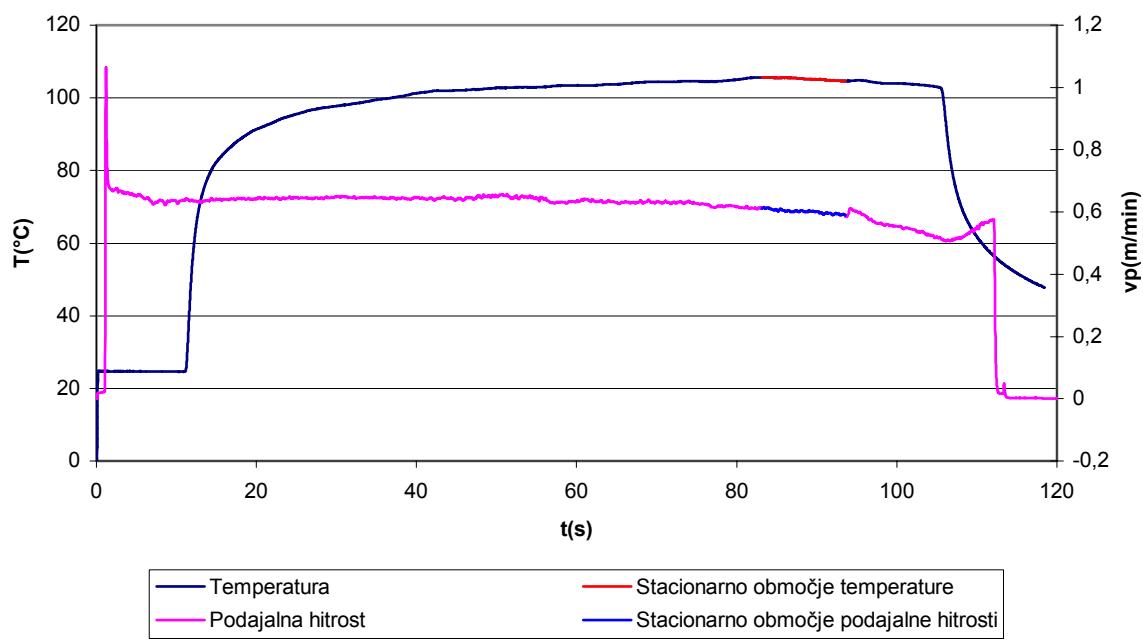
Meritev 5. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=2\text{mm}$



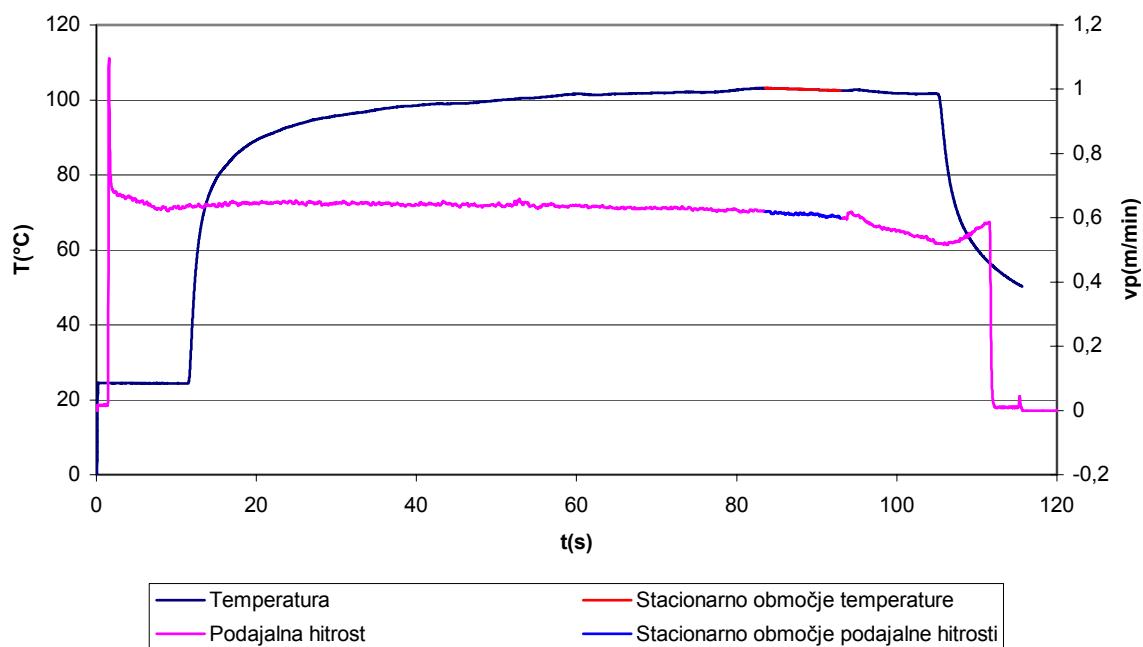
Meritev 6. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=3\text{mm}$



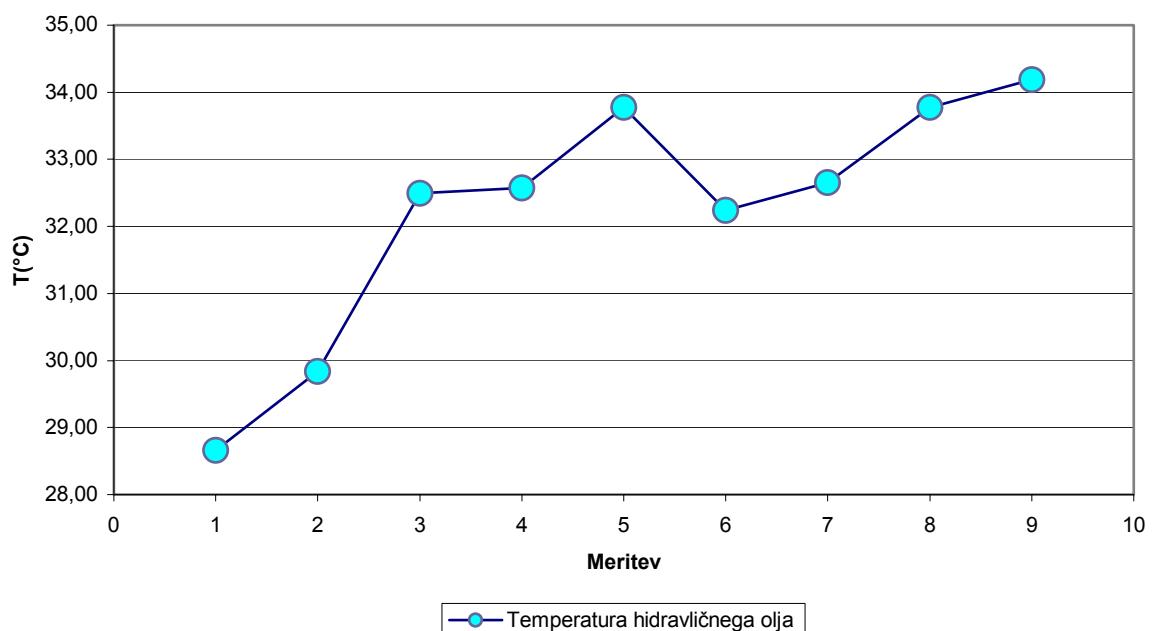
Meritev 7. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=3\text{mm}$



Meritev 8. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=3\text{mm}$

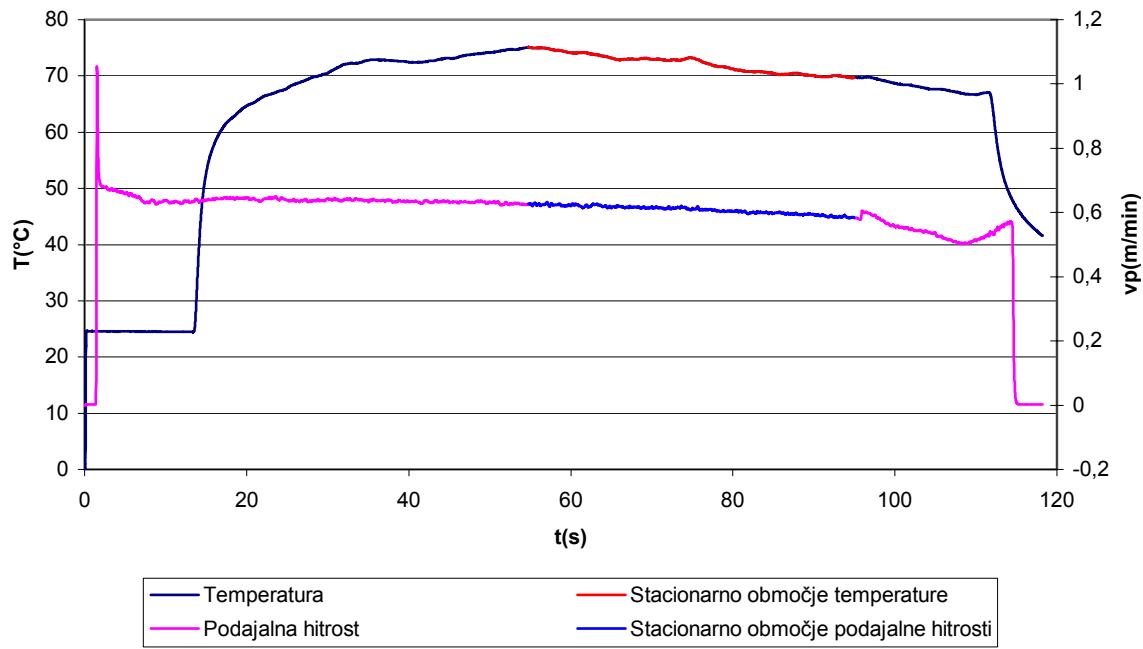


Meritev 9. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=3\text{mm}$

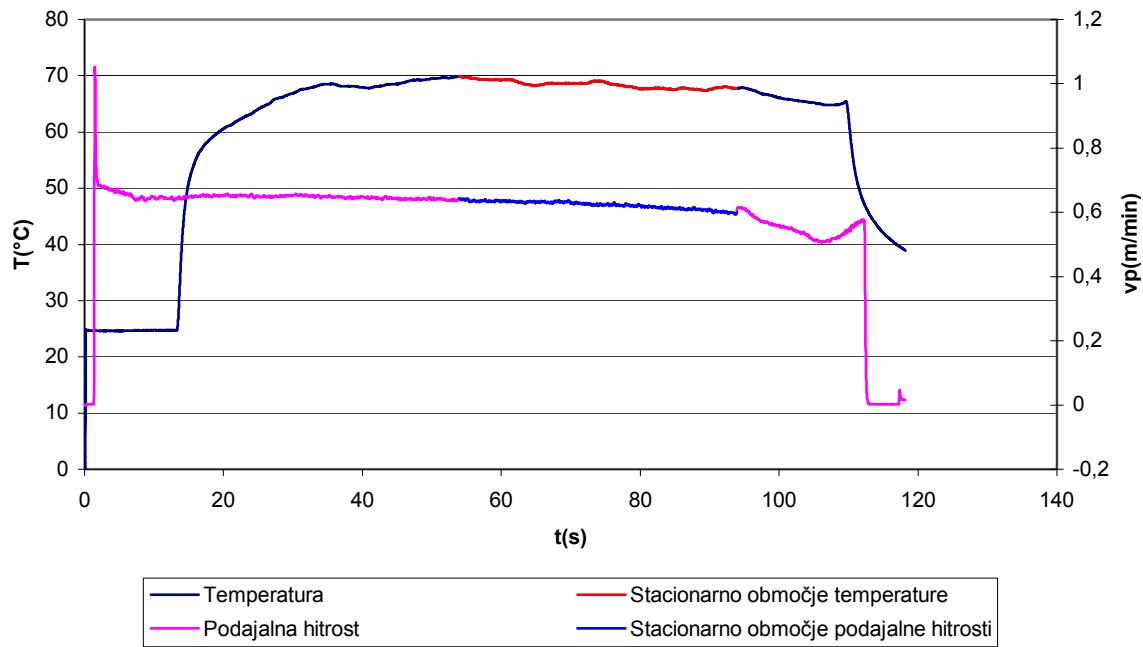


Temperatura hidravličnega olja, $u=11,67\%$, $v_p=0,6\text{m/min}$

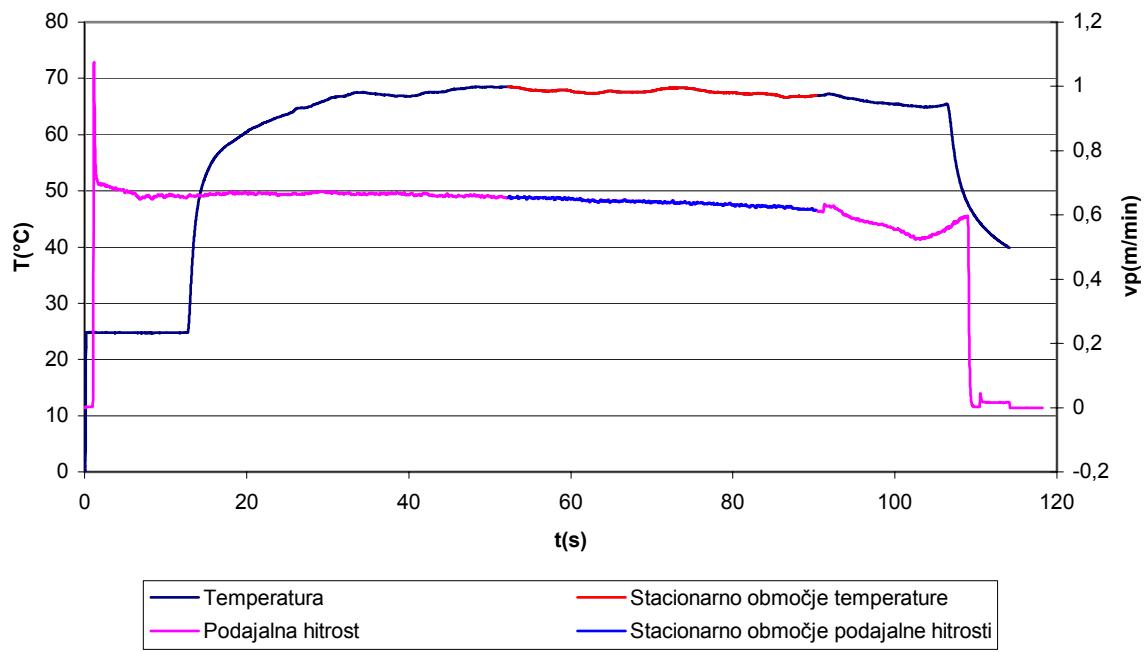
PRILOGA B – MERITVE TEMPERATURE PRI ODREZOVANJU BUKOVINE
 $u=30,72\%$, $v_p=0,6\text{m/min}$



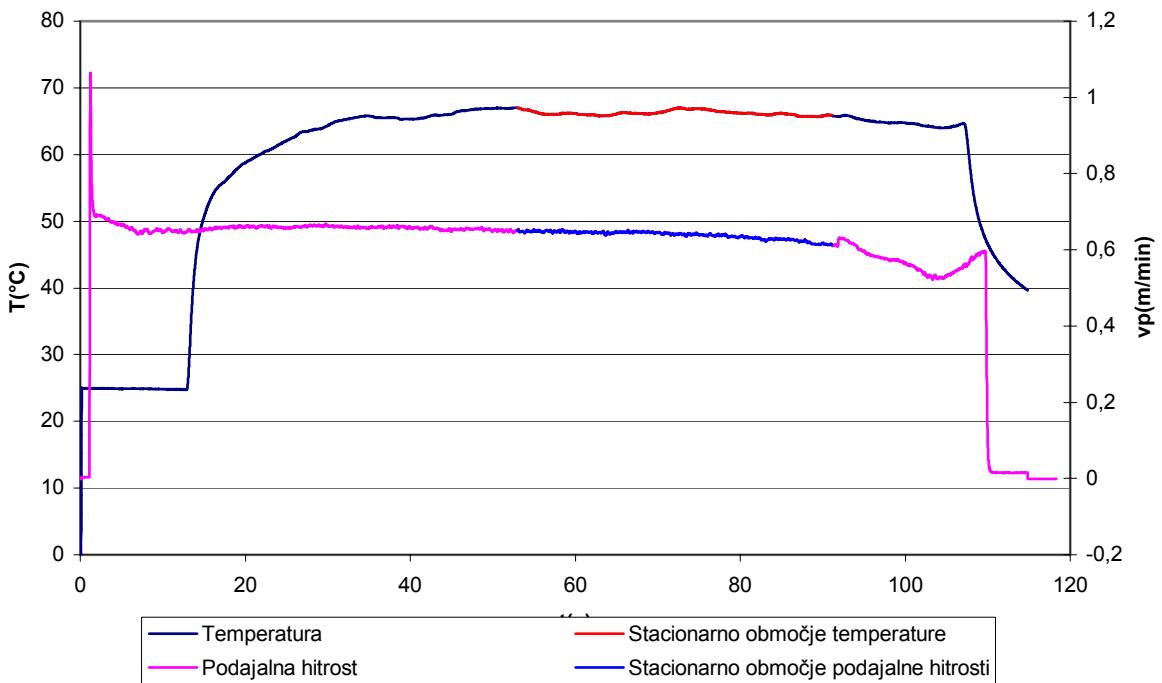
Meritev 1. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=2\text{mm}$



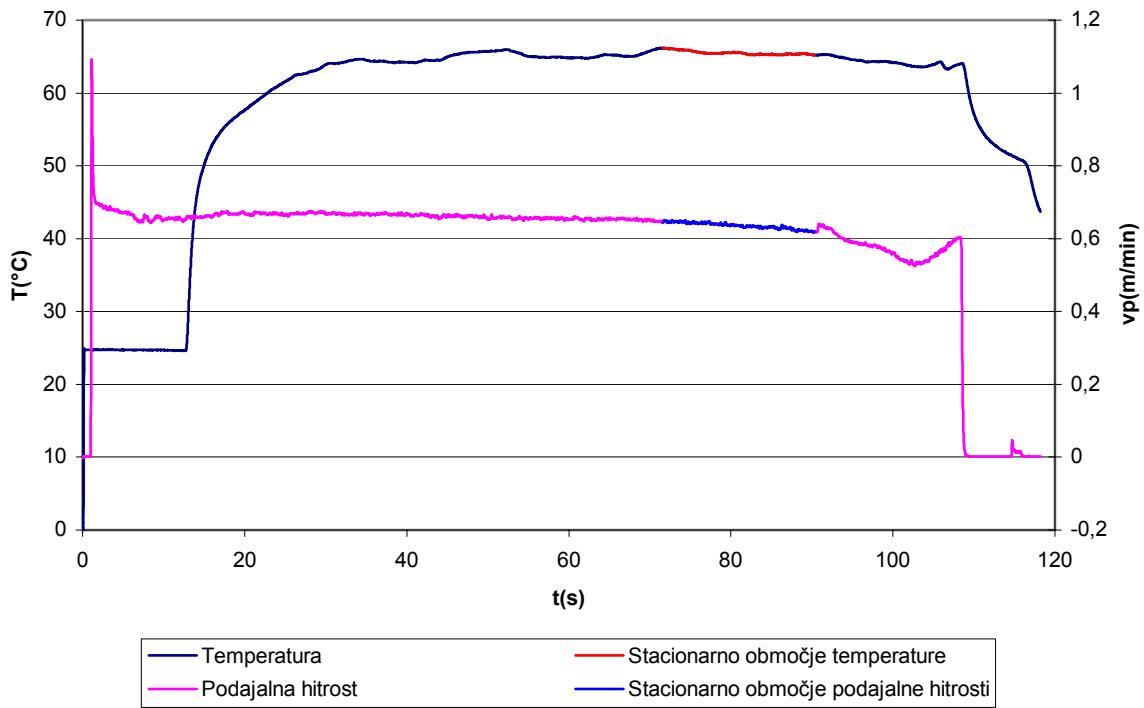
Meritev 2. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=2\text{mm}$



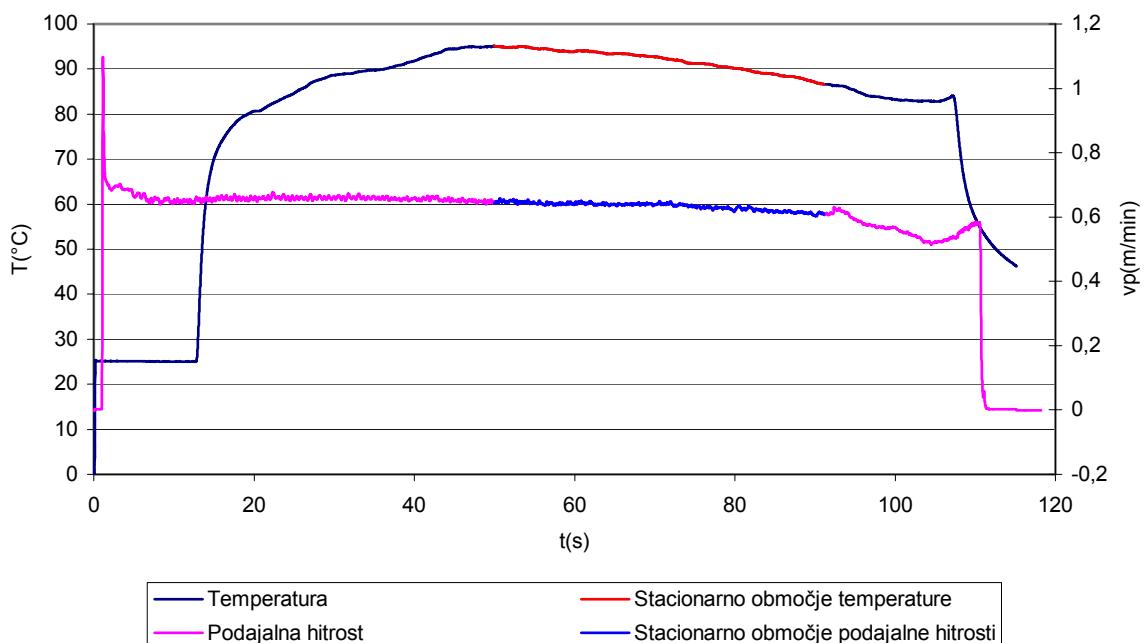
Meritev 3. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=2\text{mm}$



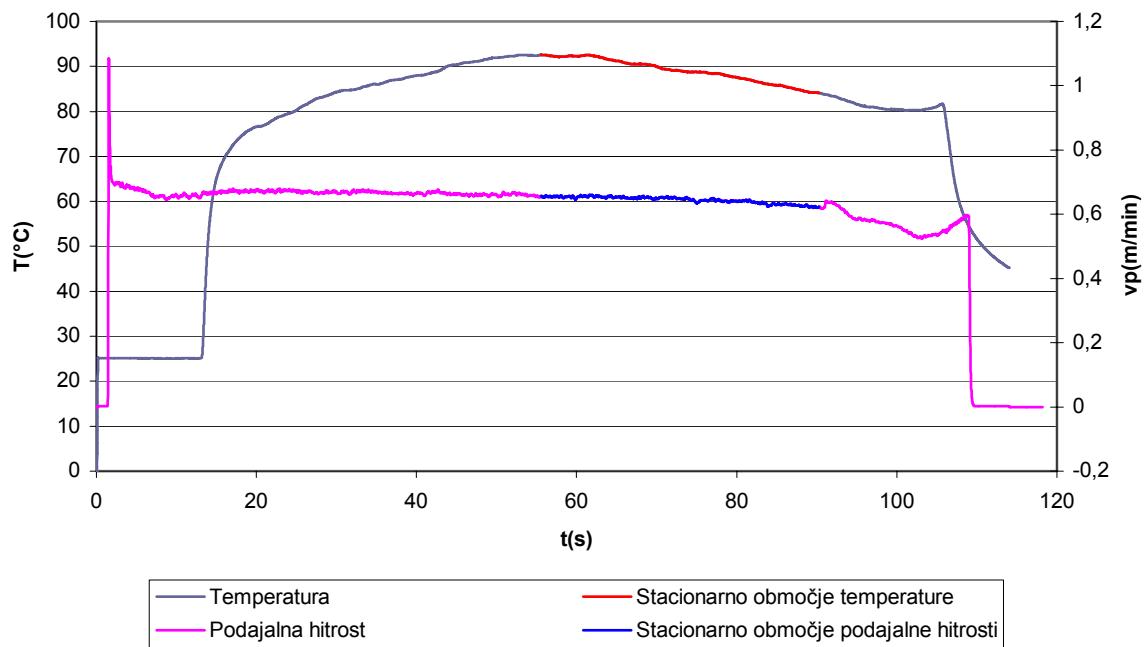
Meritev 4. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=2\text{mm}$



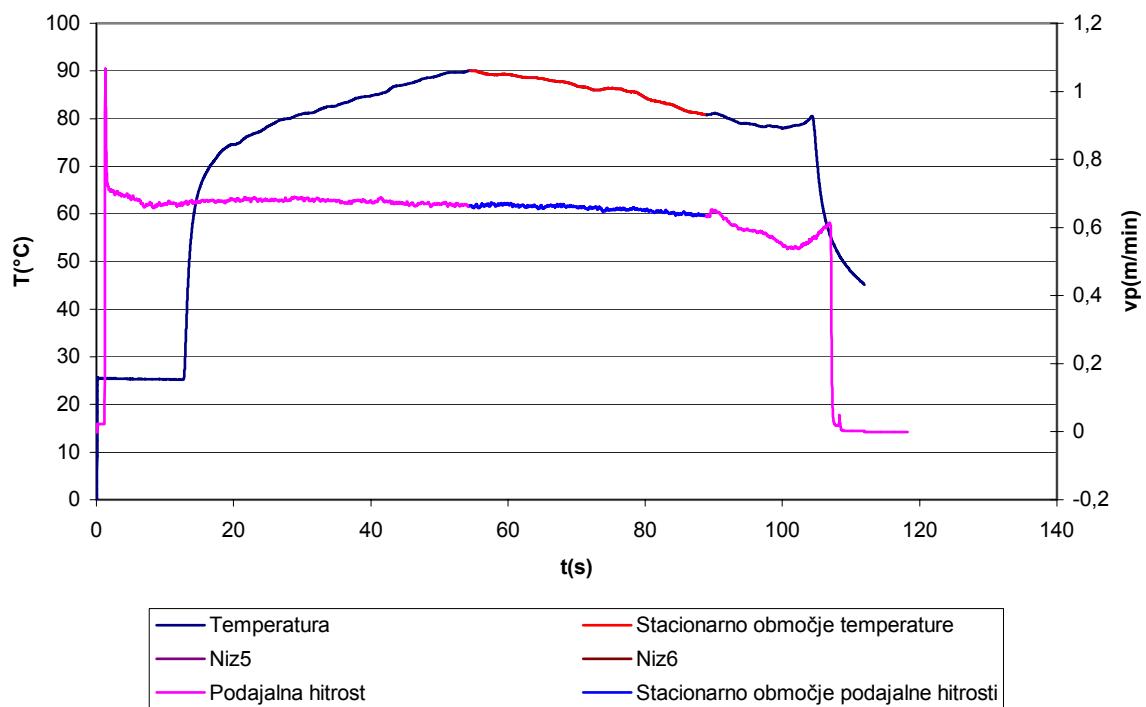
Meritev 5. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=2\text{mm}$



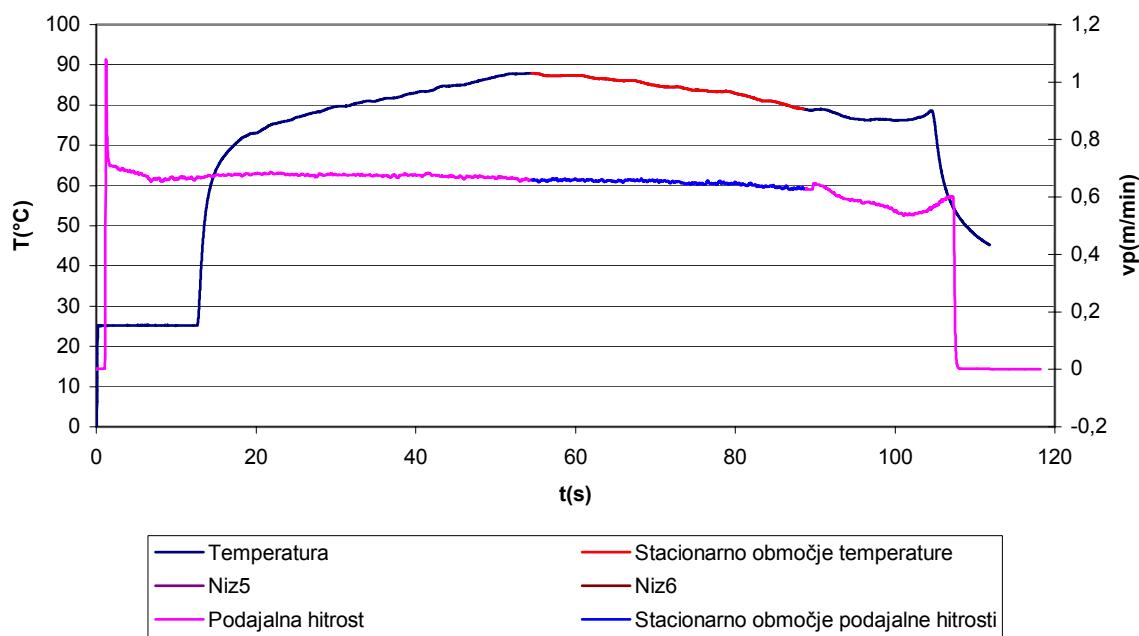
Meritev 6. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=3\text{mm}$



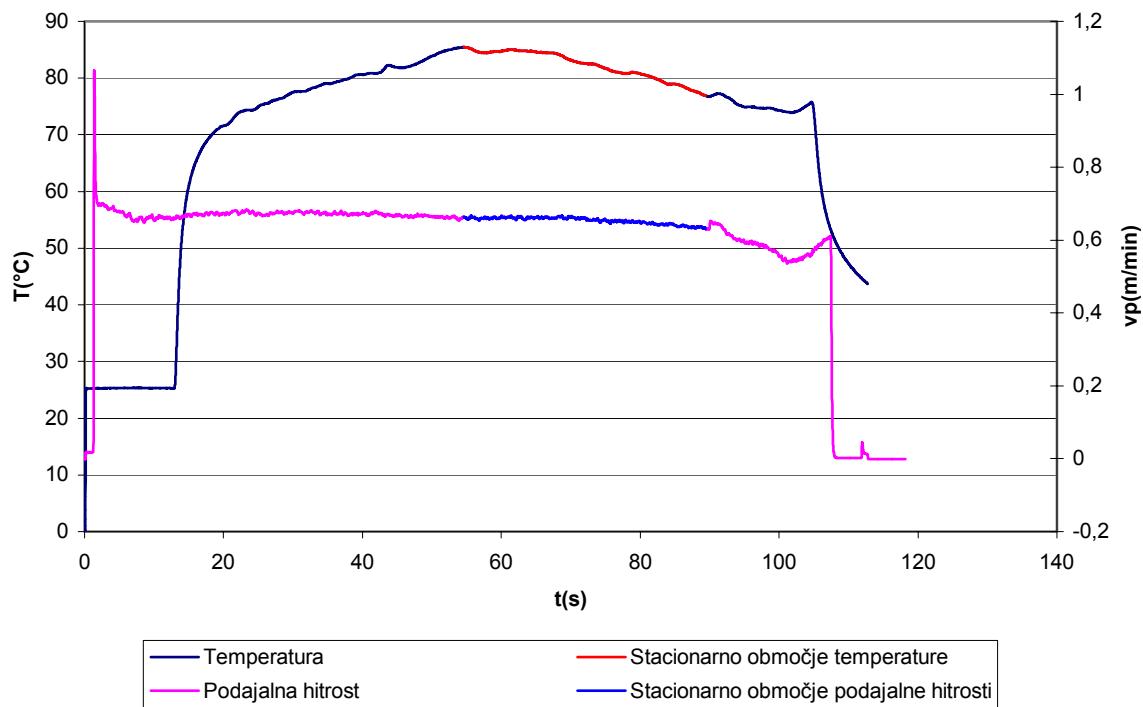
Meritev 7. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=3\text{mm}$



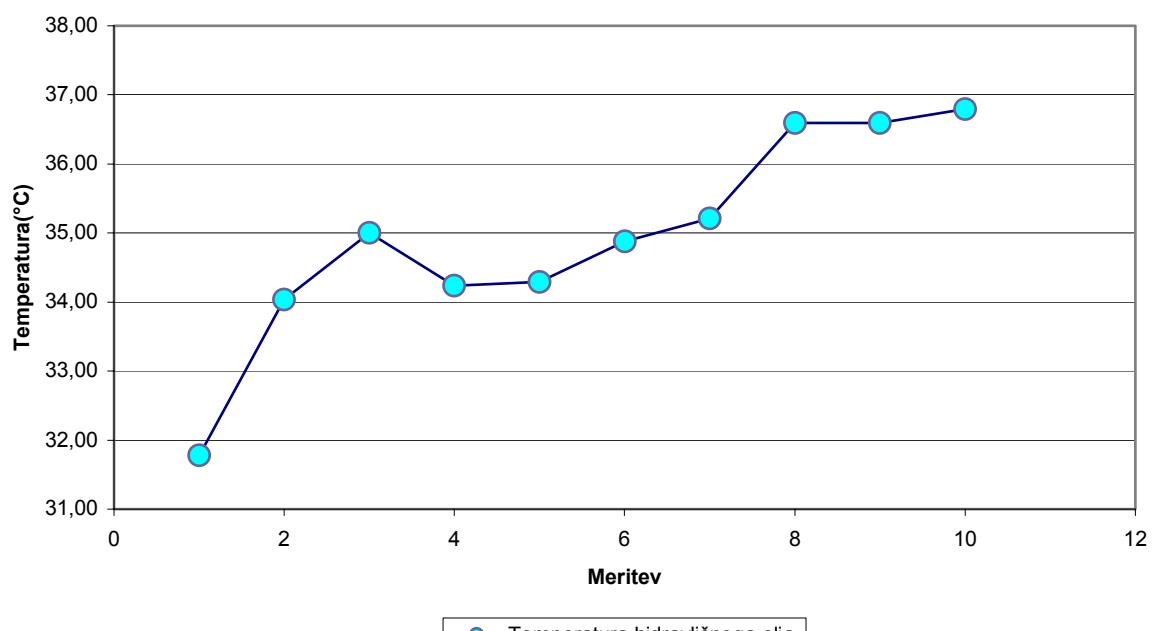
Meritev 8. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=3\text{mm}$



Meritev 9. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=3\text{mm}$

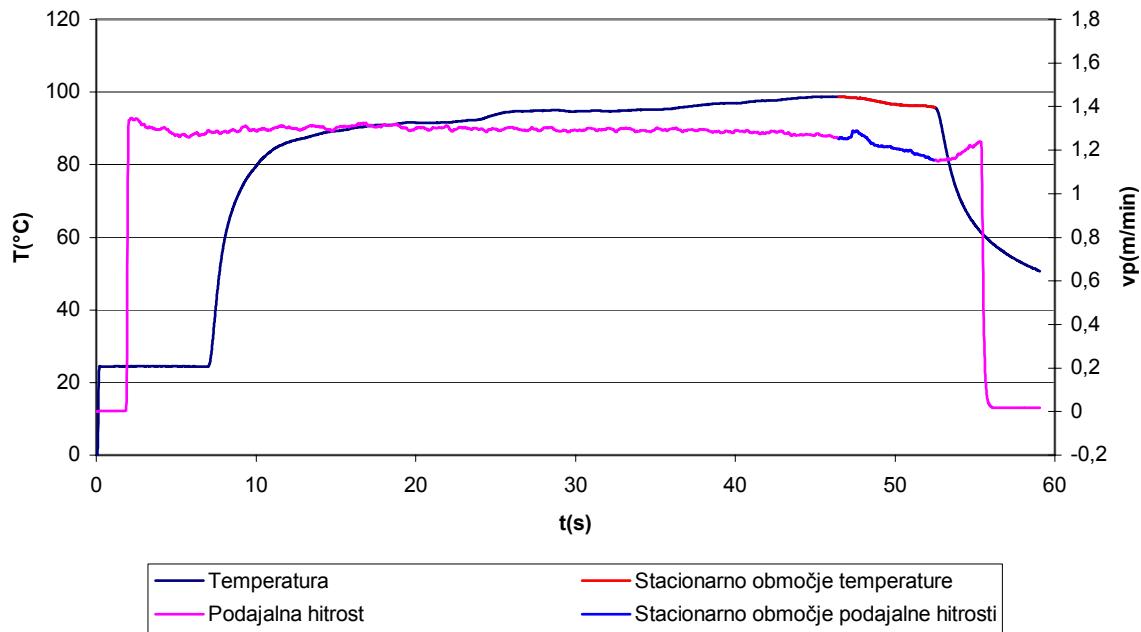


Meritev 10. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=3\text{mm}$

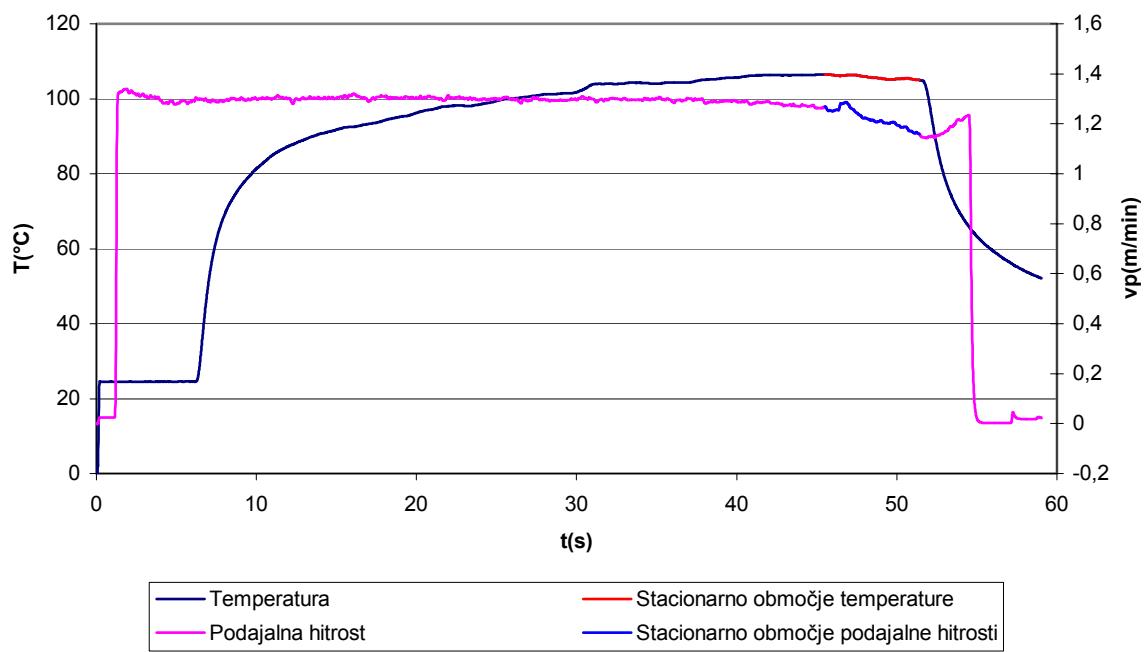


Temperatura hidravličnega olja, $u=30,72\%$, $v_p=0,6\text{m/min}$

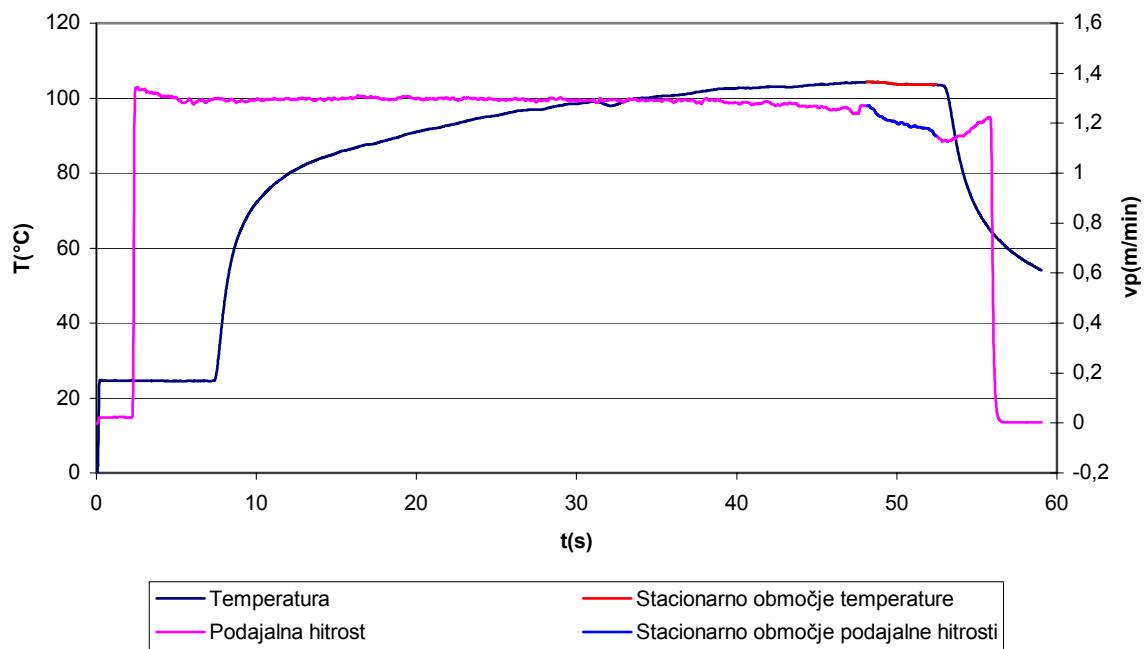
PRILOGA C – MERITVE TEMPERATURE PRI ODREZOVANJU BUKOVINE
 $u=11,67\%$, $v_p=1,2\text{m/min}$



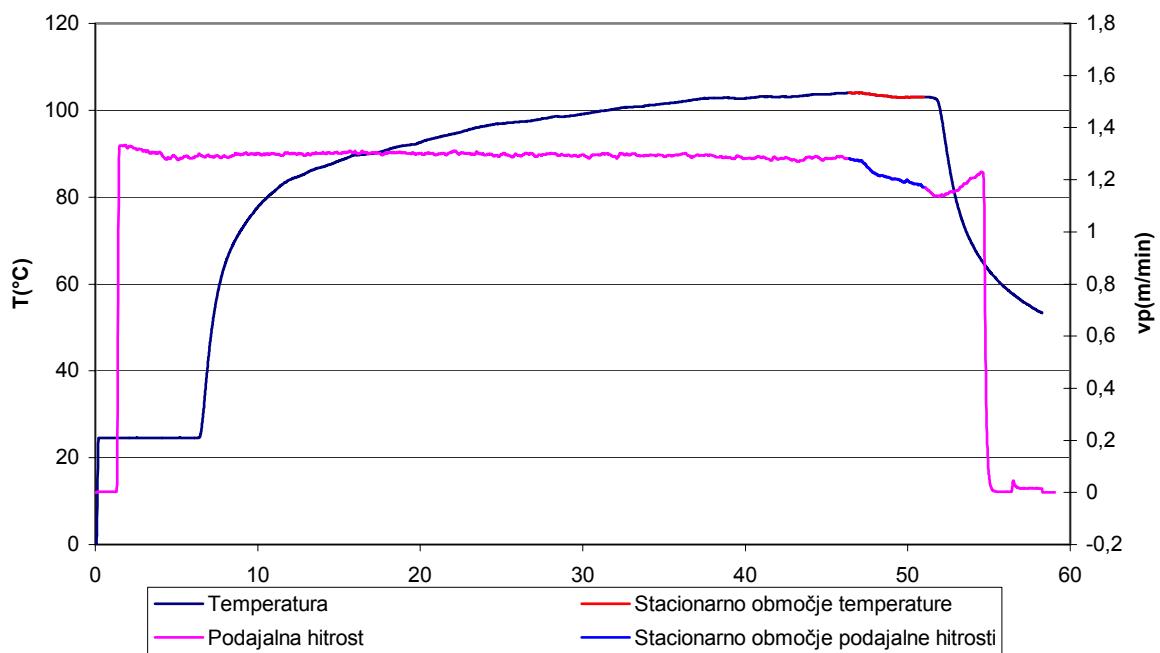
Meritev 3. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=2\text{mm}$



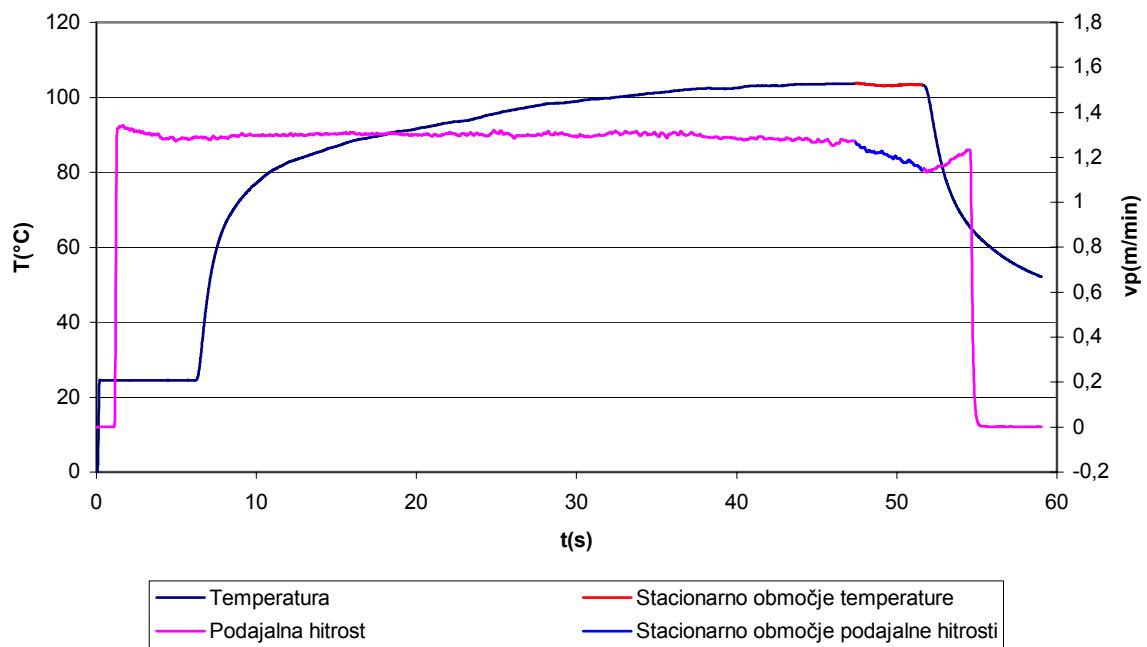
Meritev 2. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=2\text{mm}$



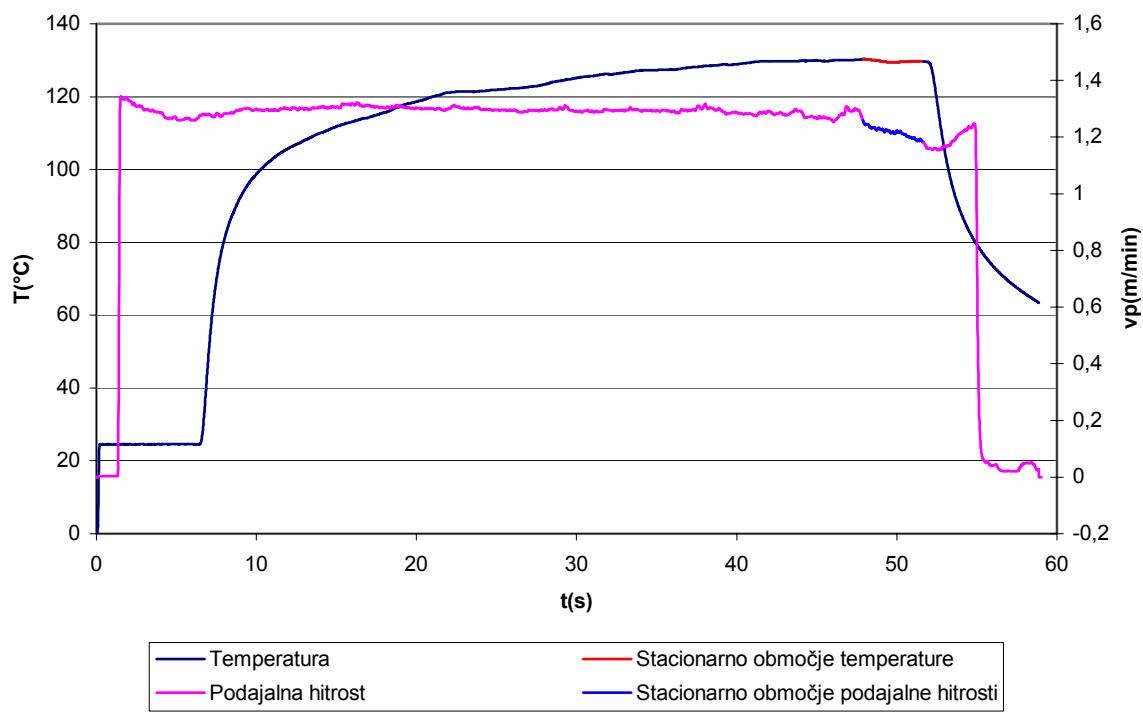
Meritev 3. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=2\text{mm}$



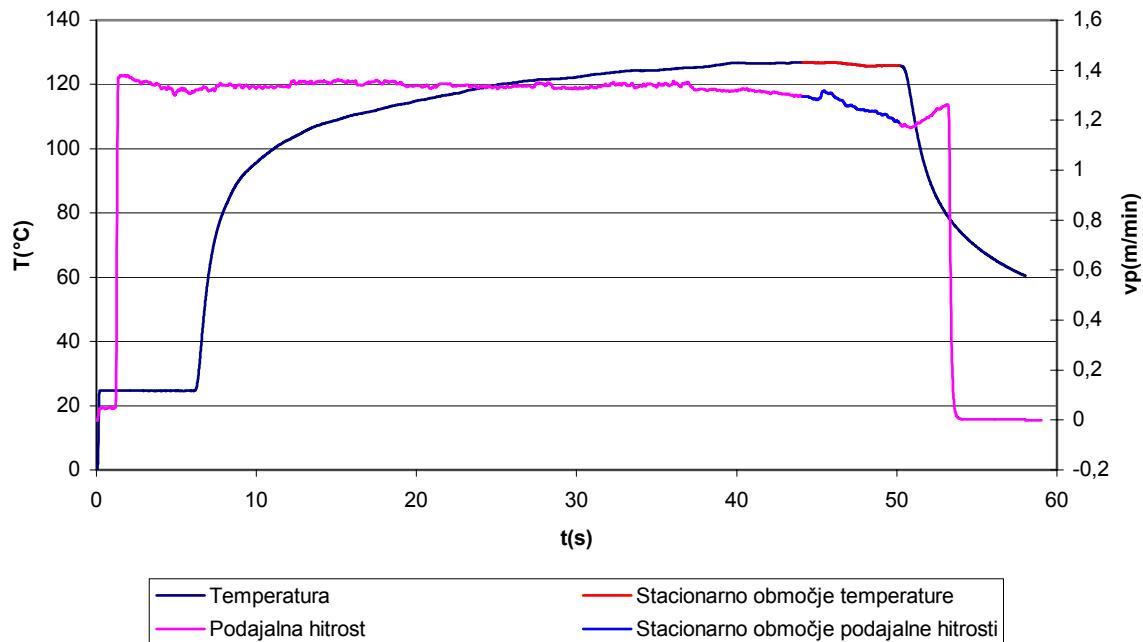
Meritev 4. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=2\text{mm}$



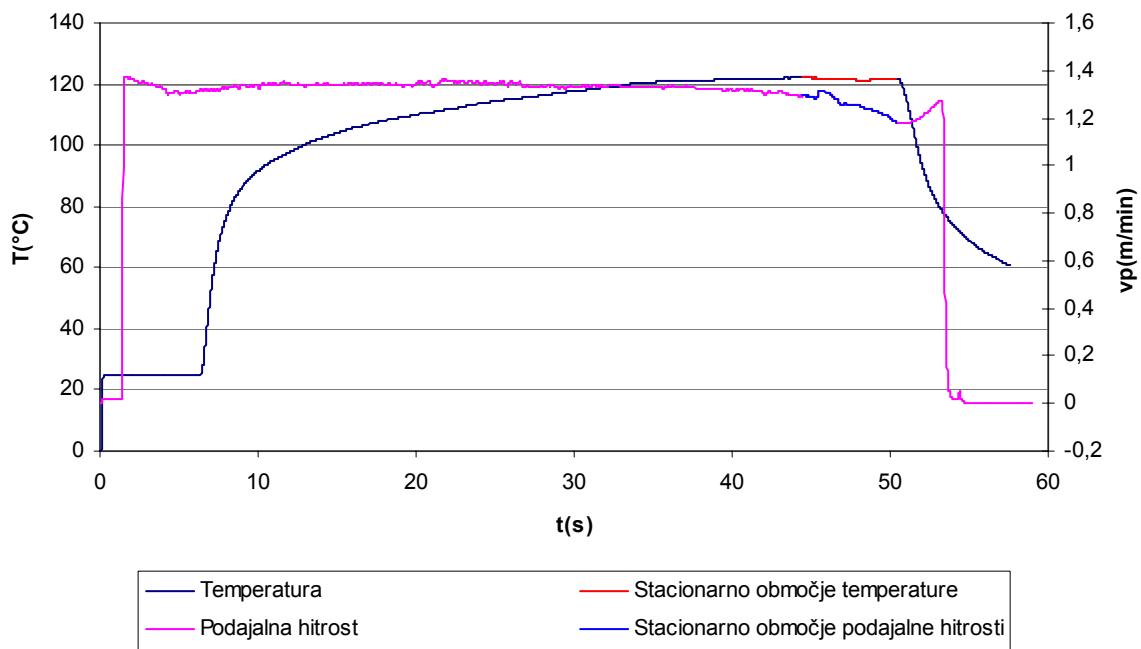
Meritev 5. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=2\text{mm}$



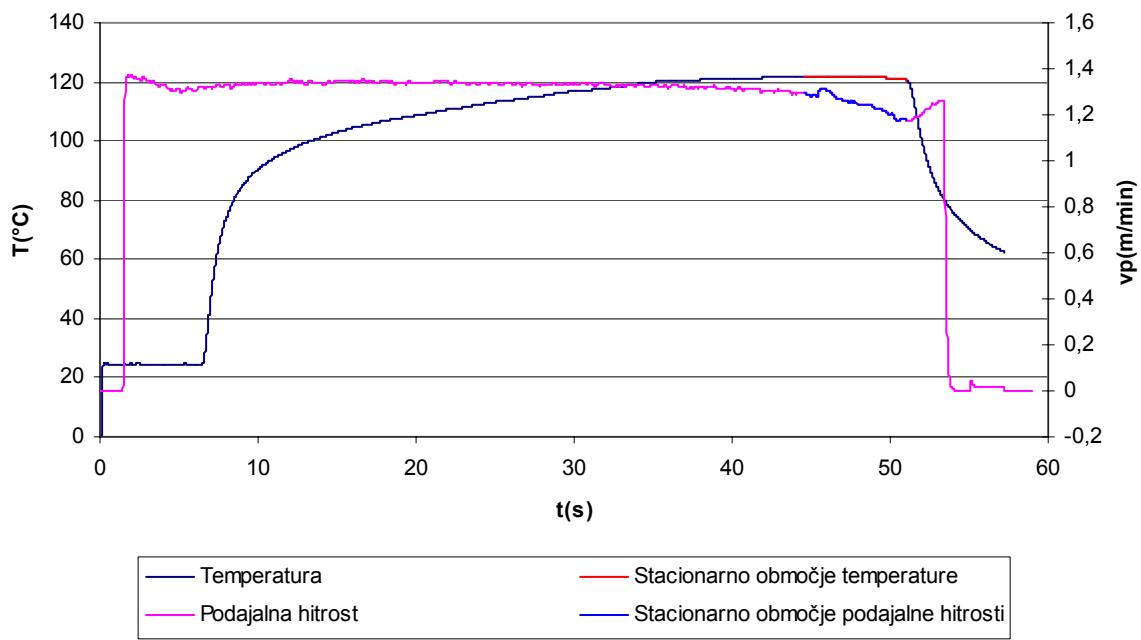
Meritev 6. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=3\text{mm}$



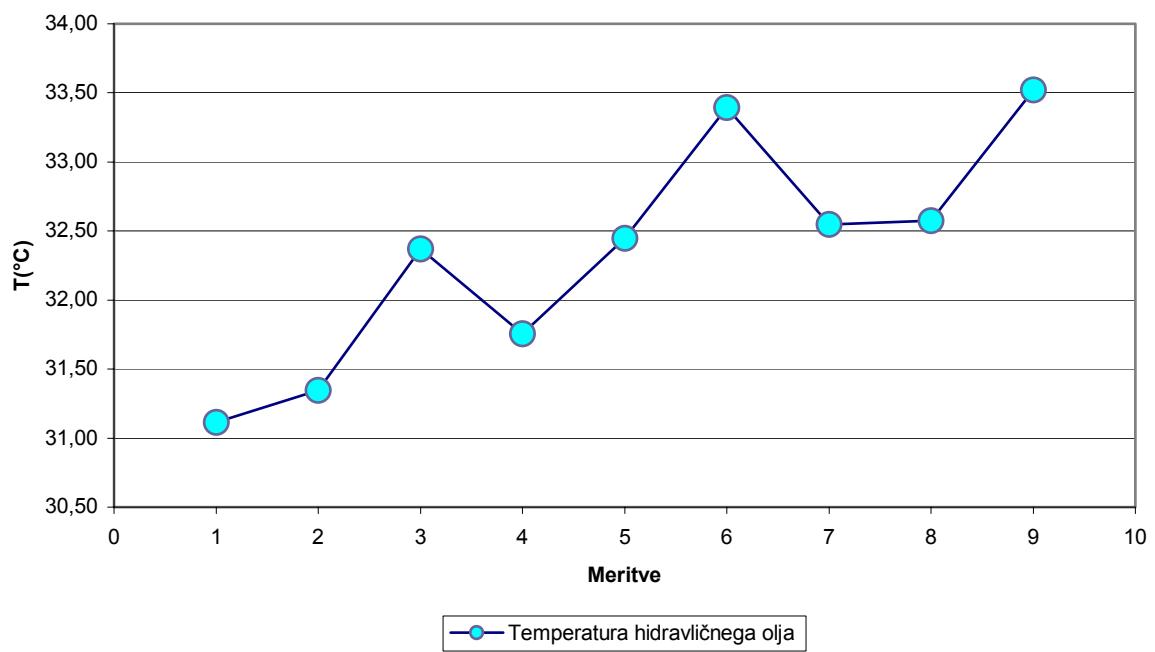
Meritev 7. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=3\text{mm}$



Meritev 8. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=3\text{mm}$

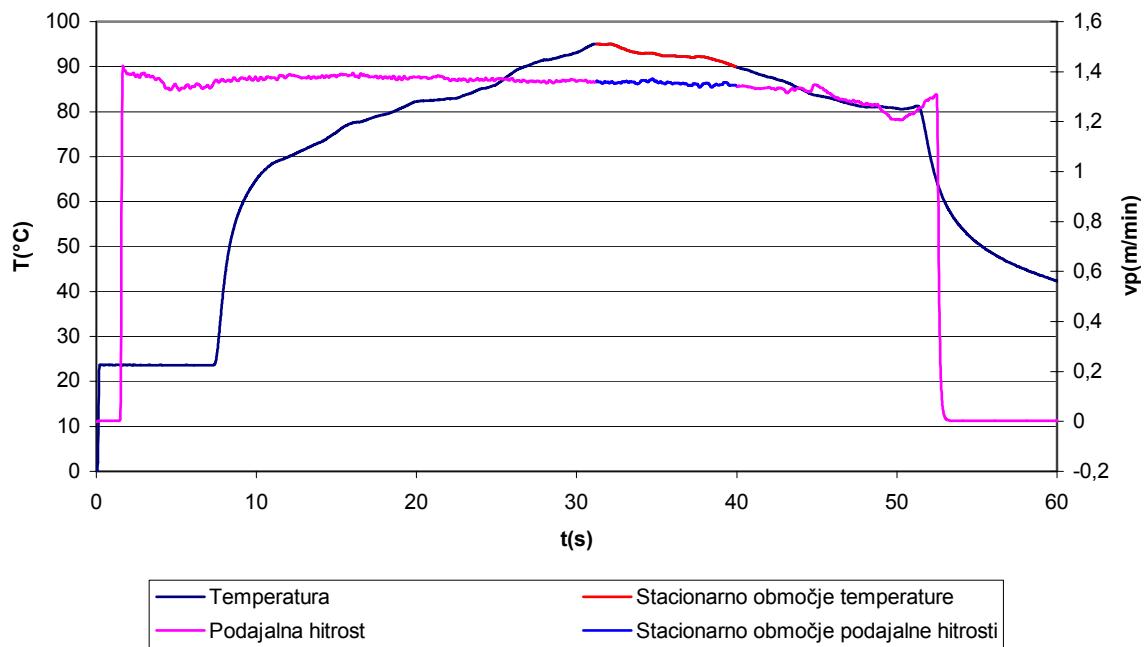


Meritev 9. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=3\text{mm}$

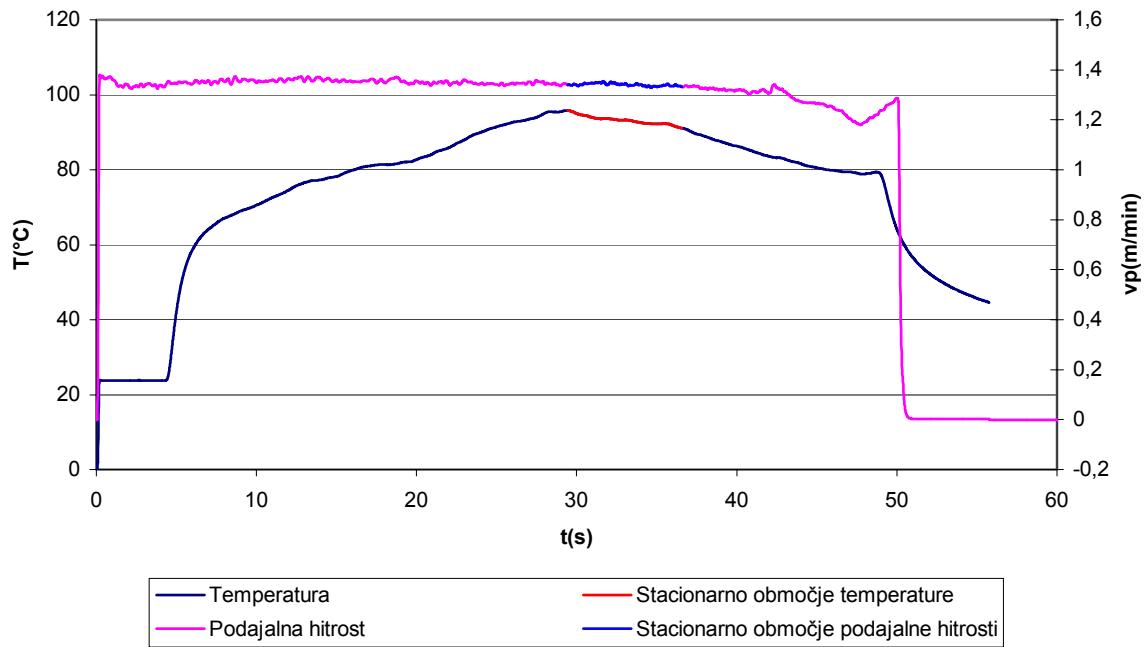


PRILOGA D – MERITVE TEMPERATURE PRI ODREZOVANJU BUKOVINE

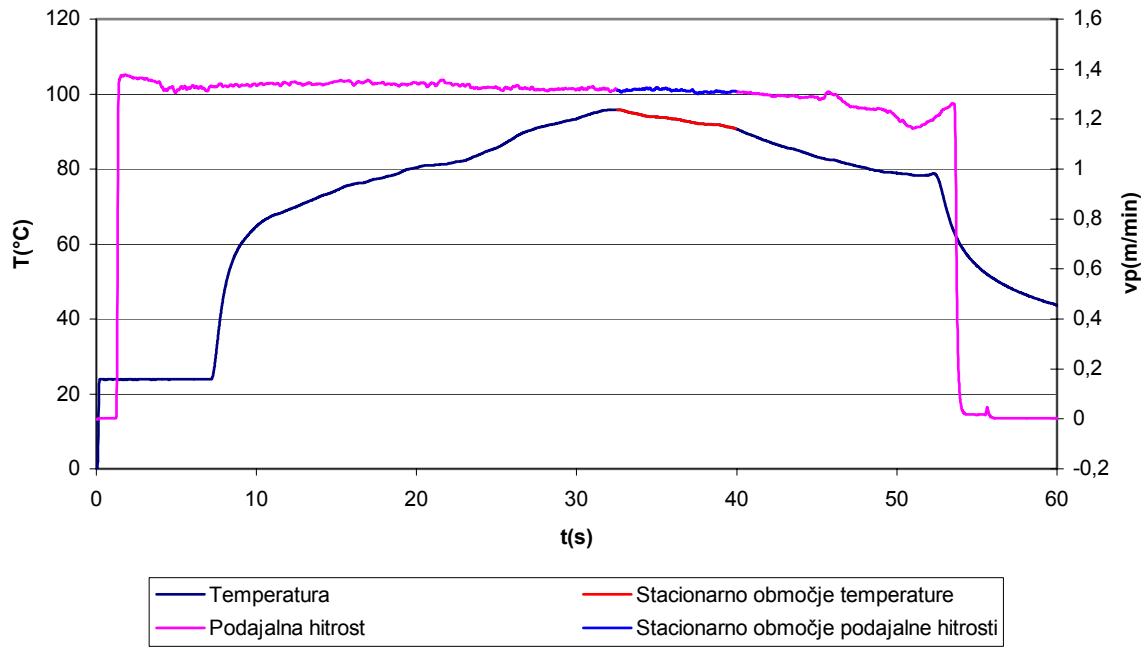
$u=30,72\%$, $v_p=1,2\text{m/min}$



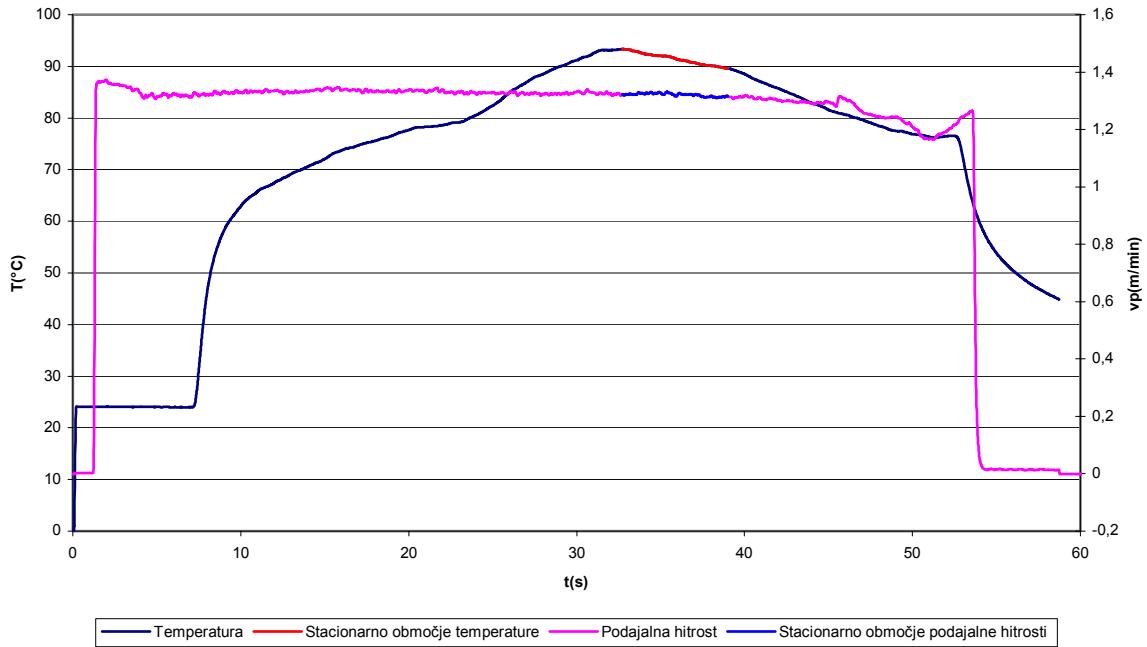
Meritev 4. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=2\text{mm}$



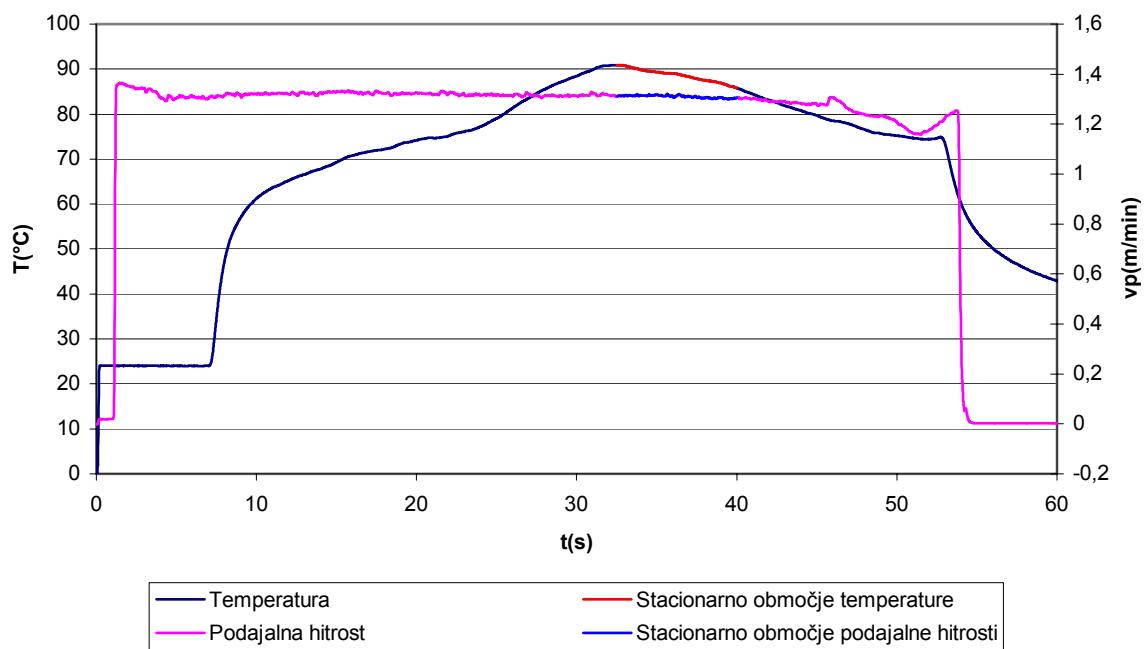
Meritev 2. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=2\text{mm}$



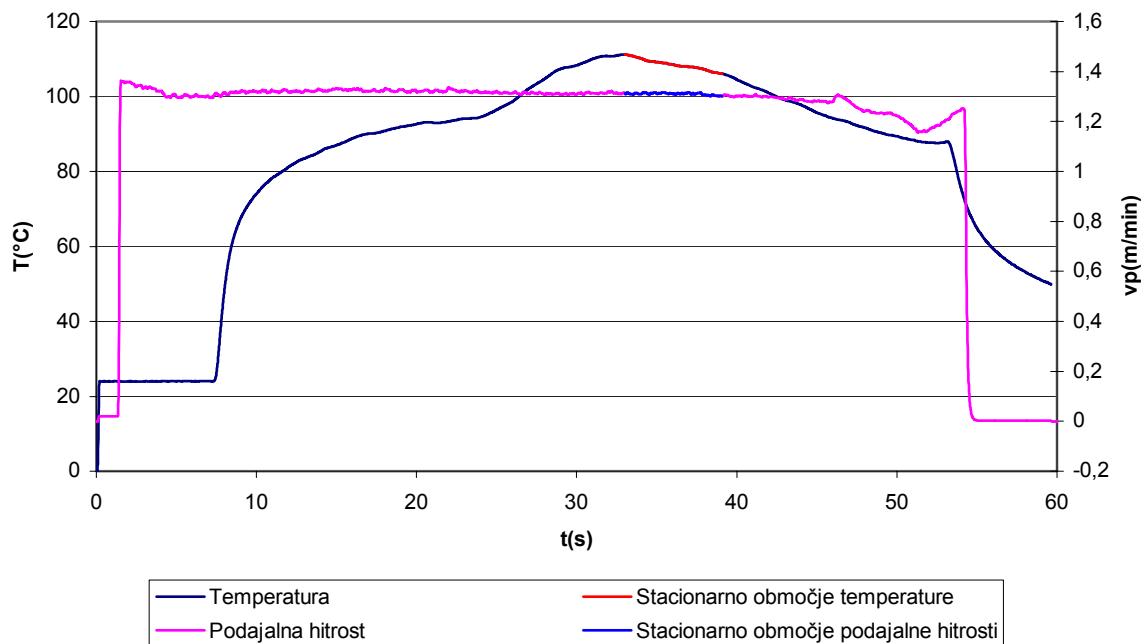
Meritev 3. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=2\text{mm}$



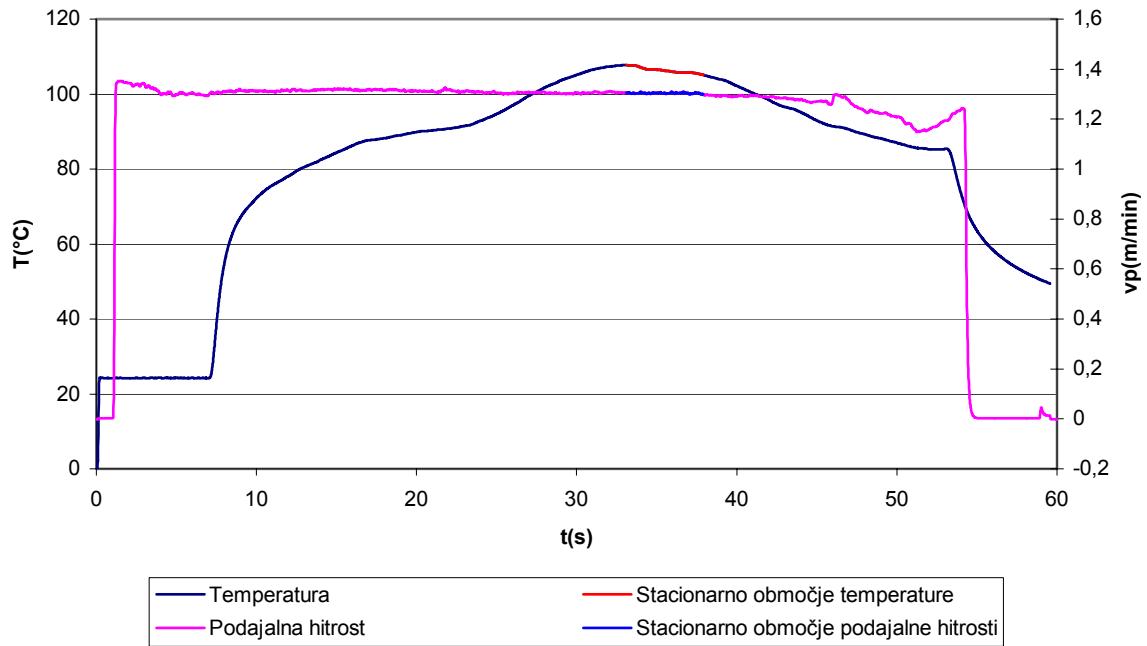
Meritev 4. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=2\text{mm}$



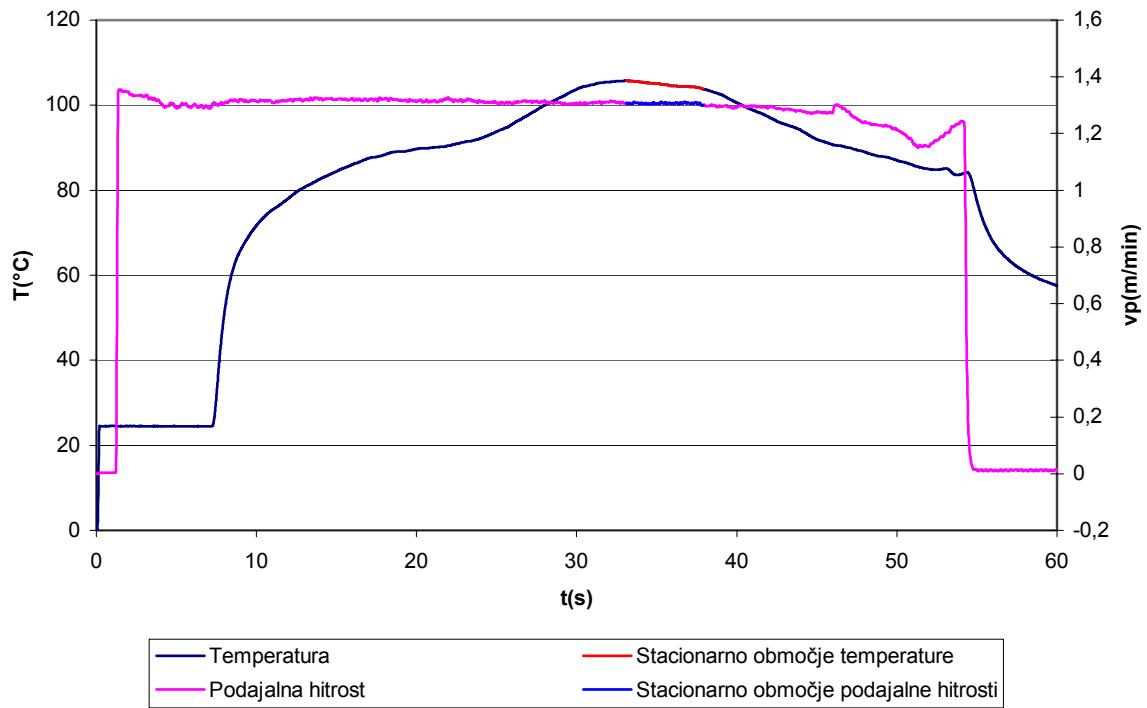
Meritev 5. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=2\text{mm}$



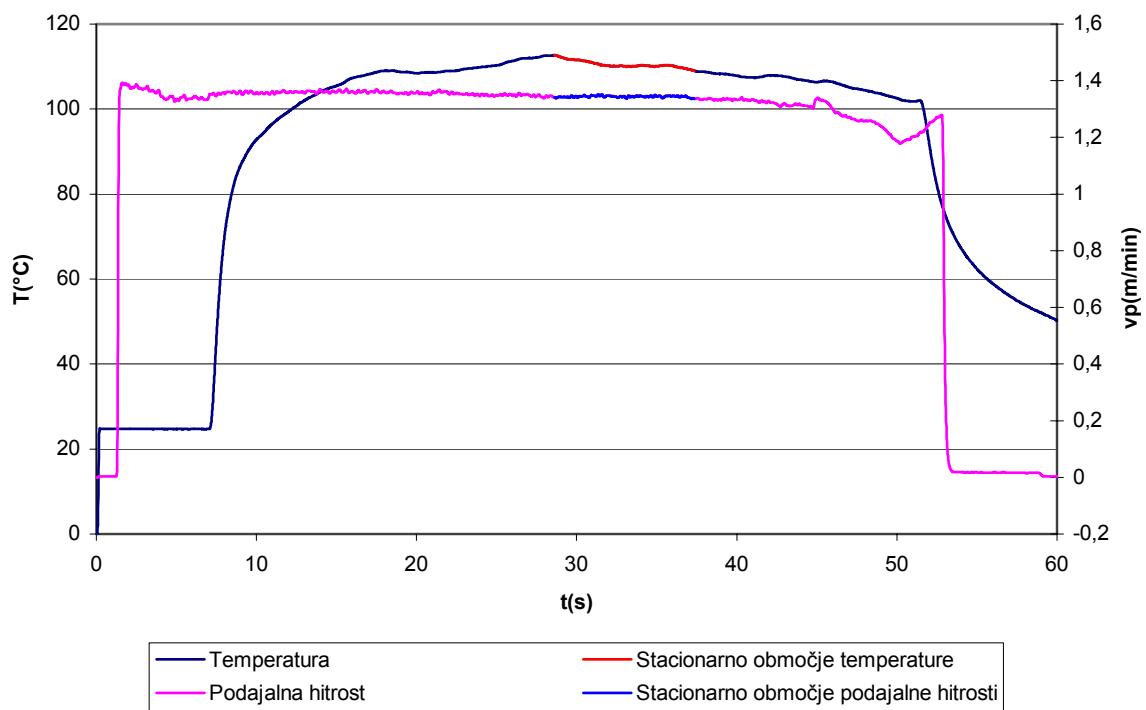
Meritev 6. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=3\text{mm}$



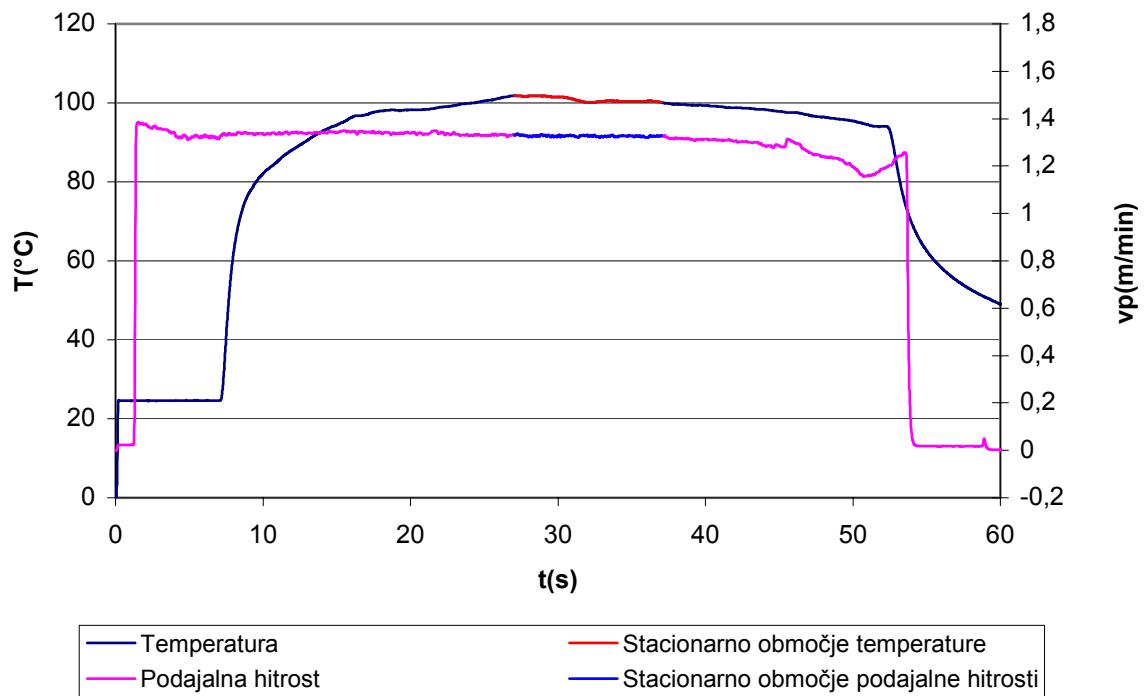
Meritev 7. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=3\text{mm}$



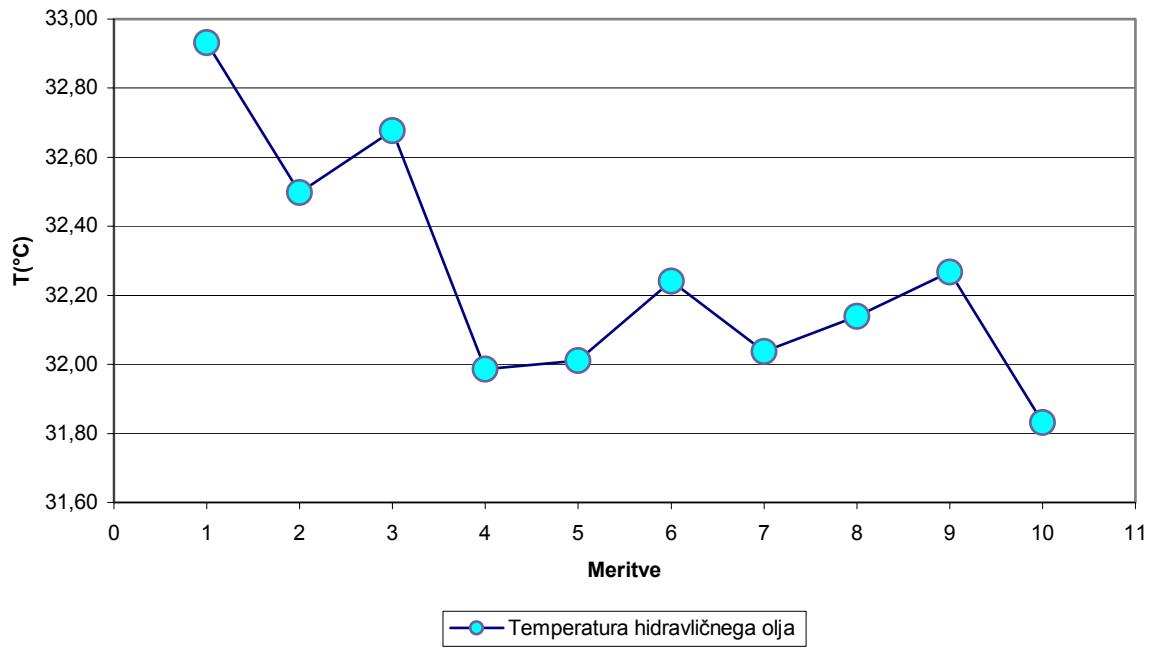
Meritev 8. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=3\text{mm}$



Meritev 9. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=3\text{mm}$

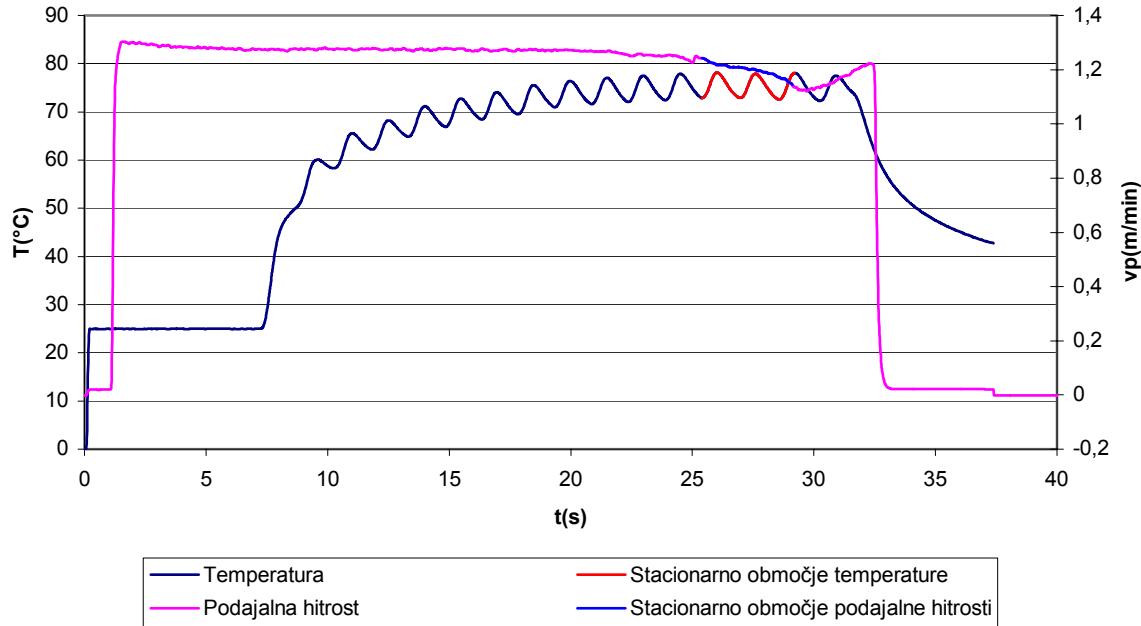


Meritev 50. Temperatura pri odrezovanju bukovine - $a_z=3\text{mm}$

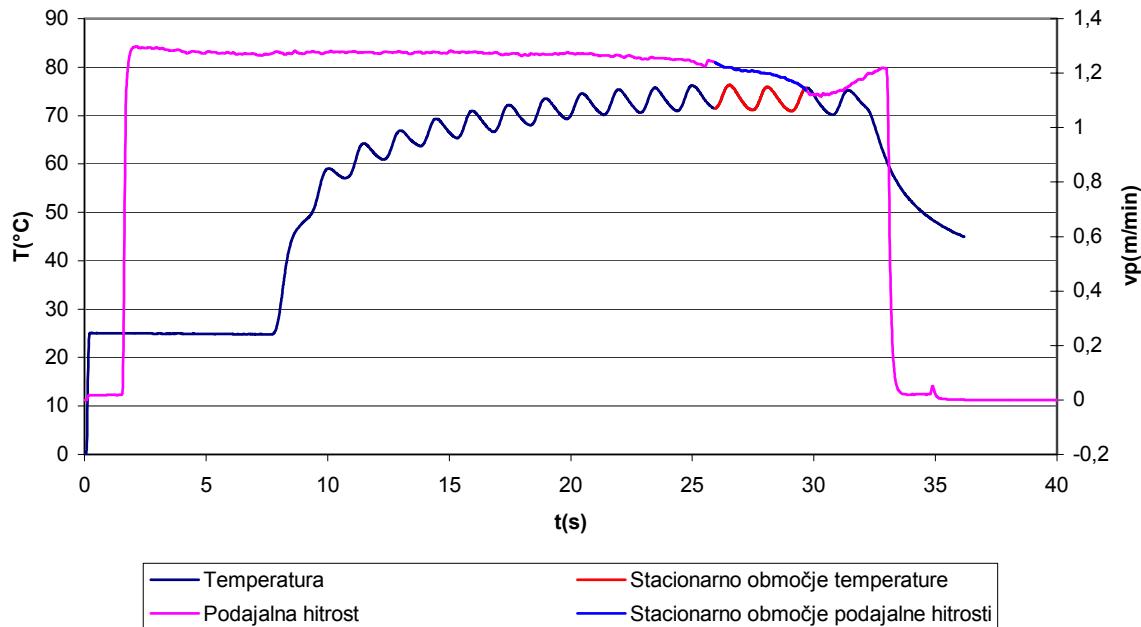


Temperatura hidravličnega olja, $u=30,72\%$, $v_p=1,2\text{m/min}$

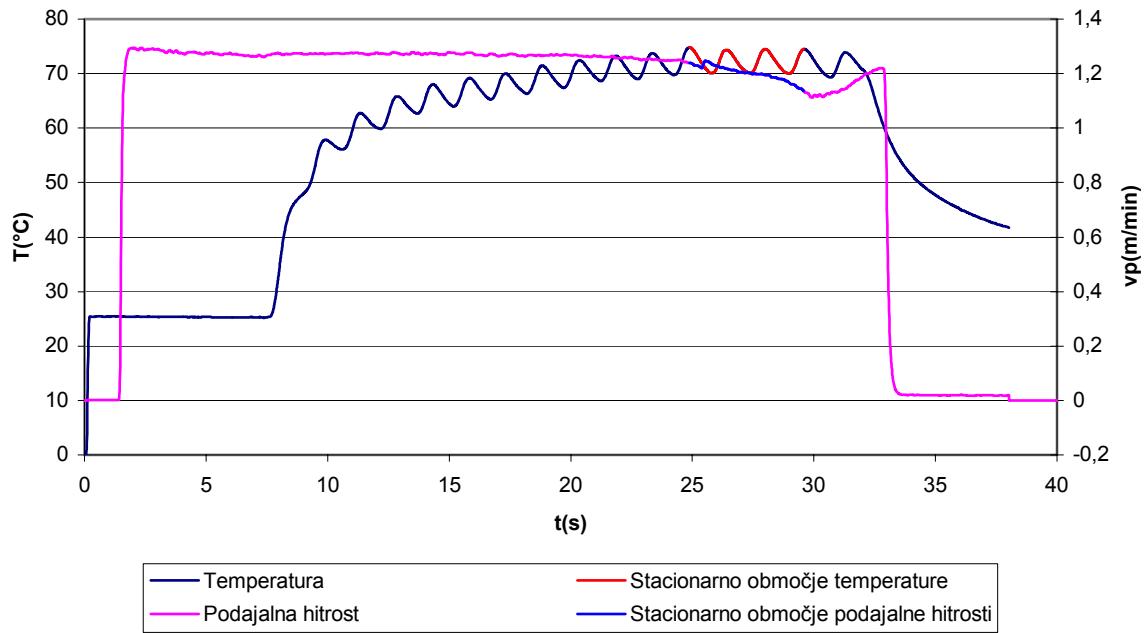
PRILOGA E – MERITVE TEMPERATURE PRI ODREZOVANJU MDF $v_p=1,2\text{m/min}$



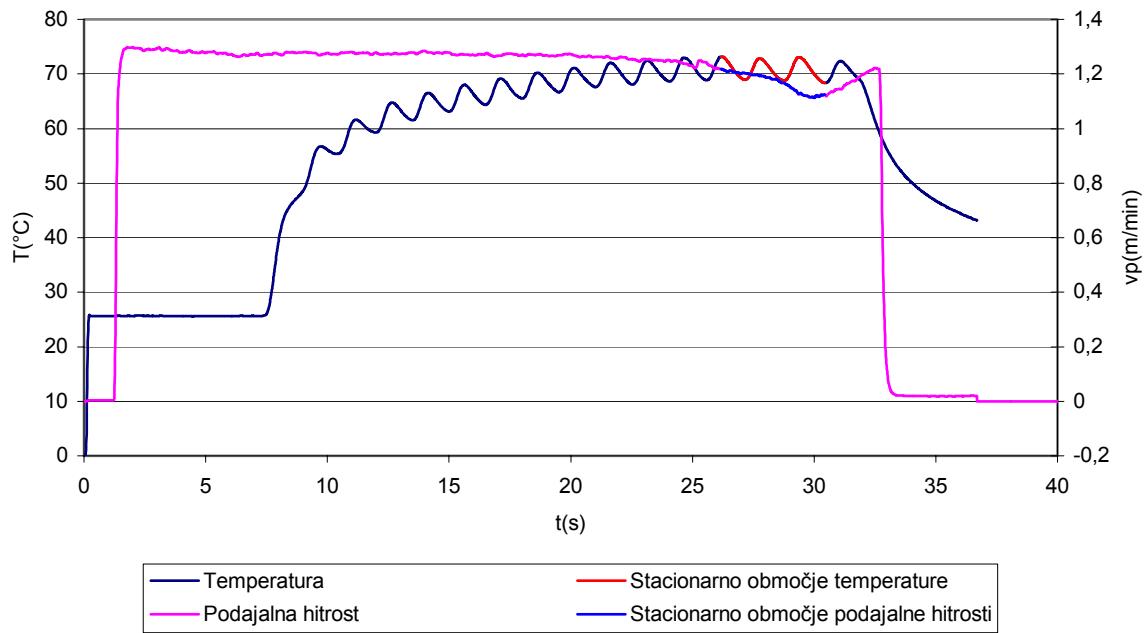
Meritev 6. Temperatura pri odrezovanju MDF - $a_z=2\text{mm}$



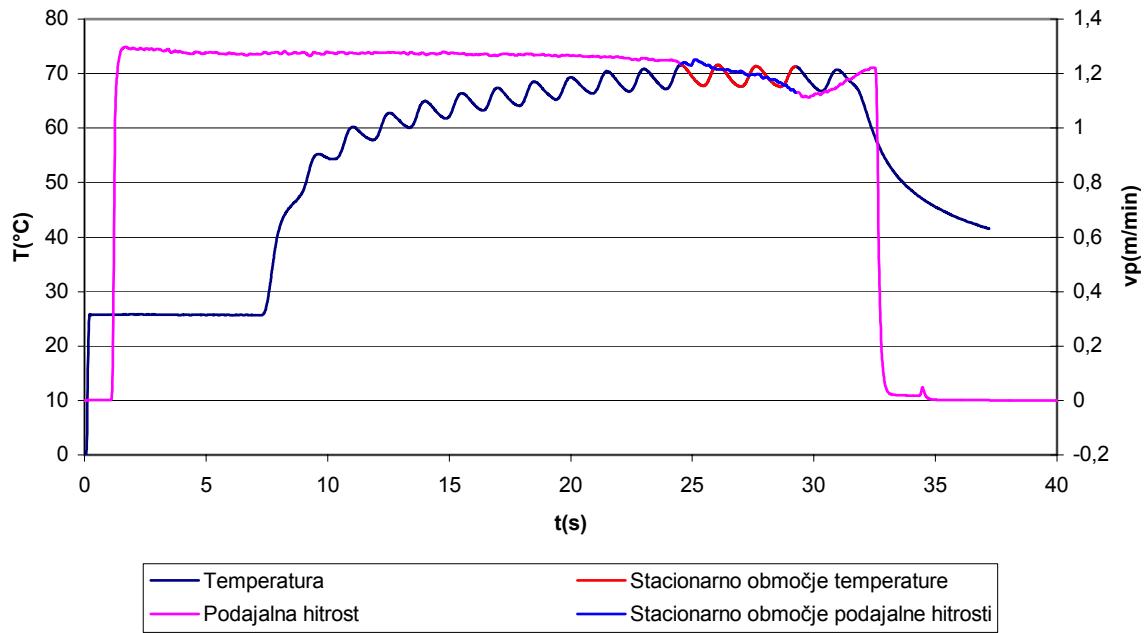
Meritev 2. Temperatura pri odrezovanju MDF - $a_z=2\text{mm}$



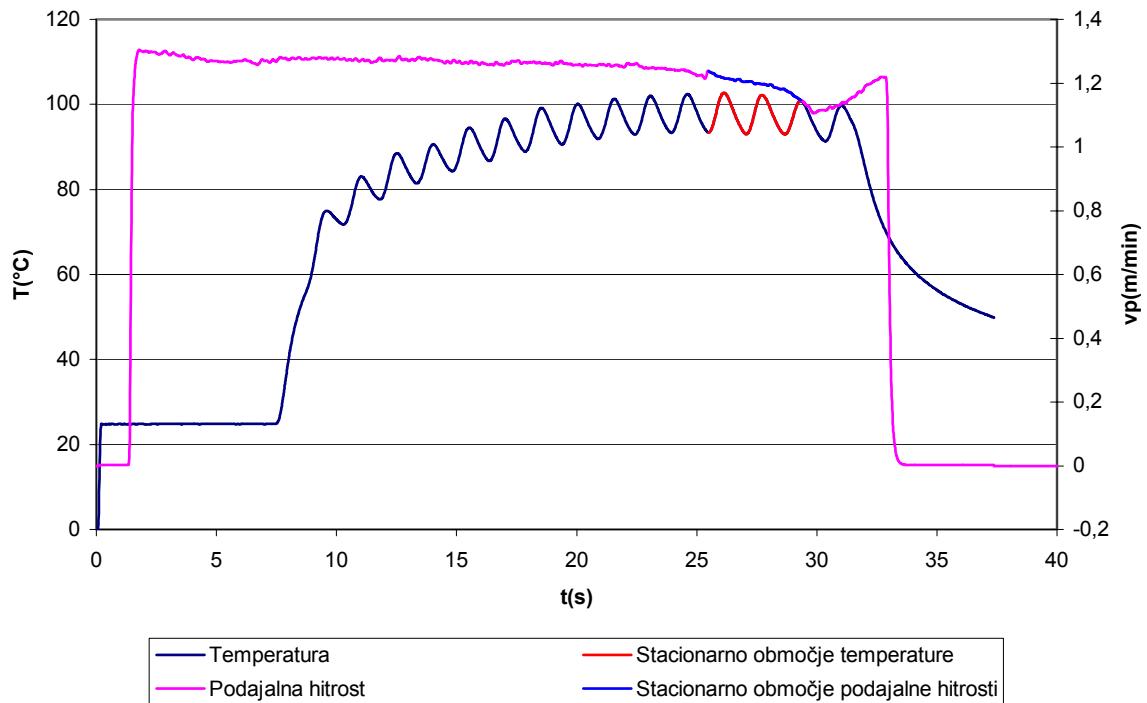
Meritev 3. Temperatura pri odrezovanju MDF - $a_z=2mm$



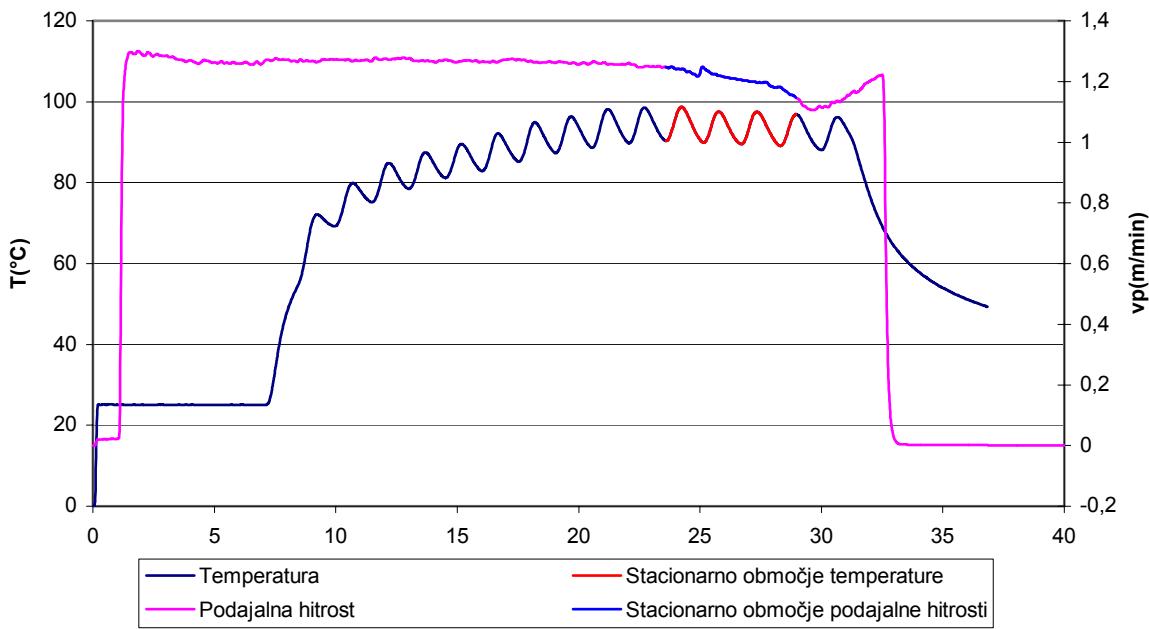
Meritev 4. Temperatura pri odrezovanju MDF - $a_z=2mm$



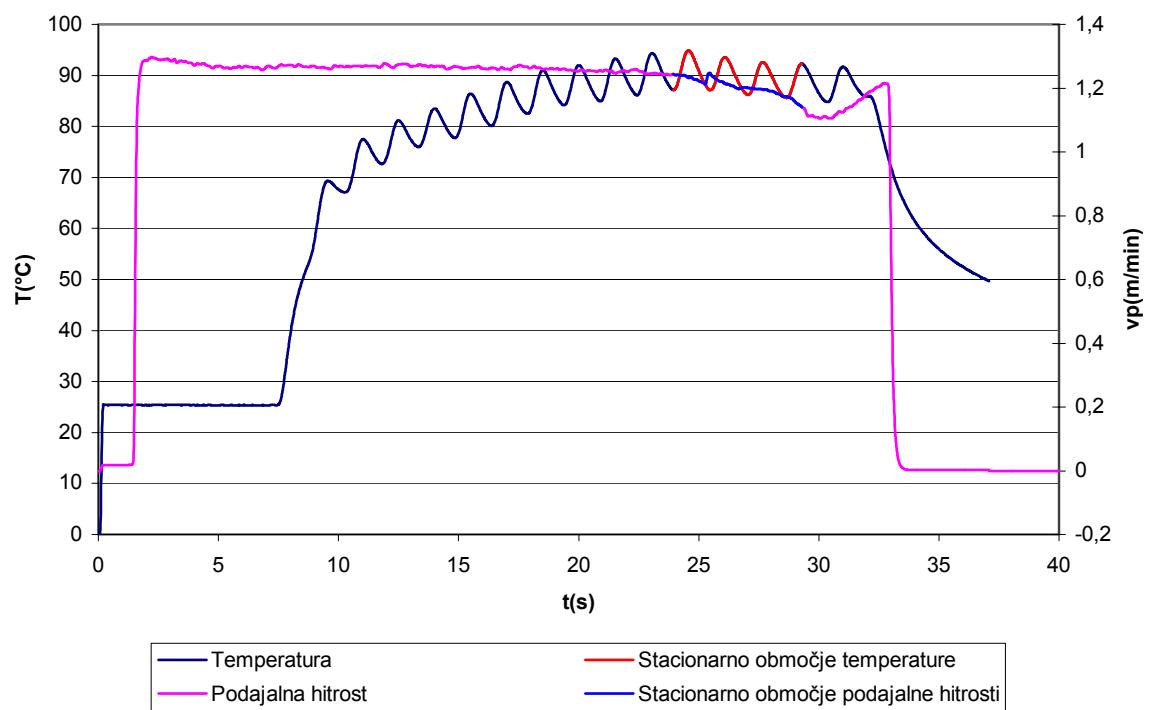
Meritev 5. Temperatura pri odrezovanju MDF - $a_z=2\text{mm}$



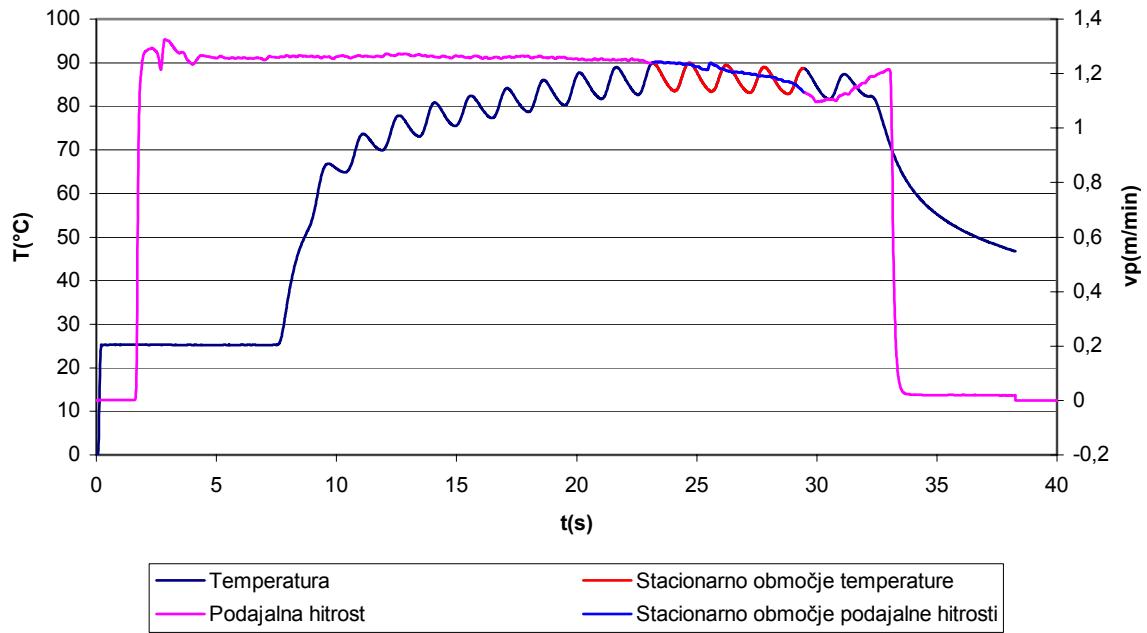
Meritev 6. Temperatura pri odrezovanju MDF - $a_z=3\text{mm}$



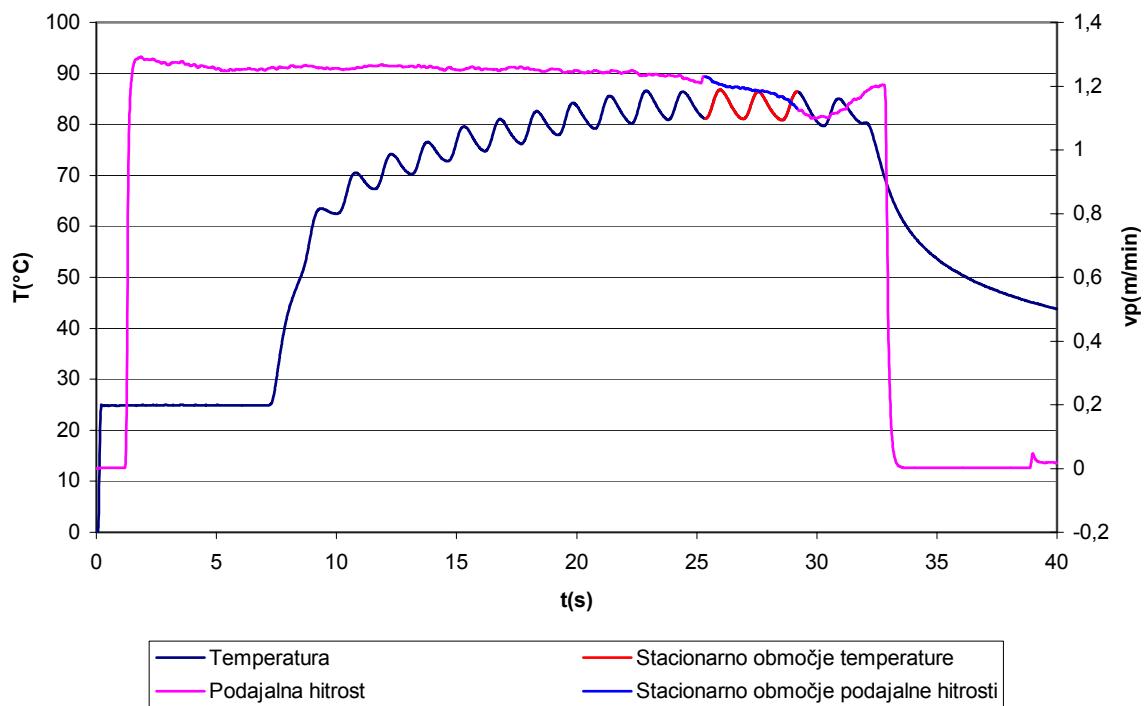
Meritev 7. Temperatura pri odrezovanju MDF - $a_z=3\text{mm}$



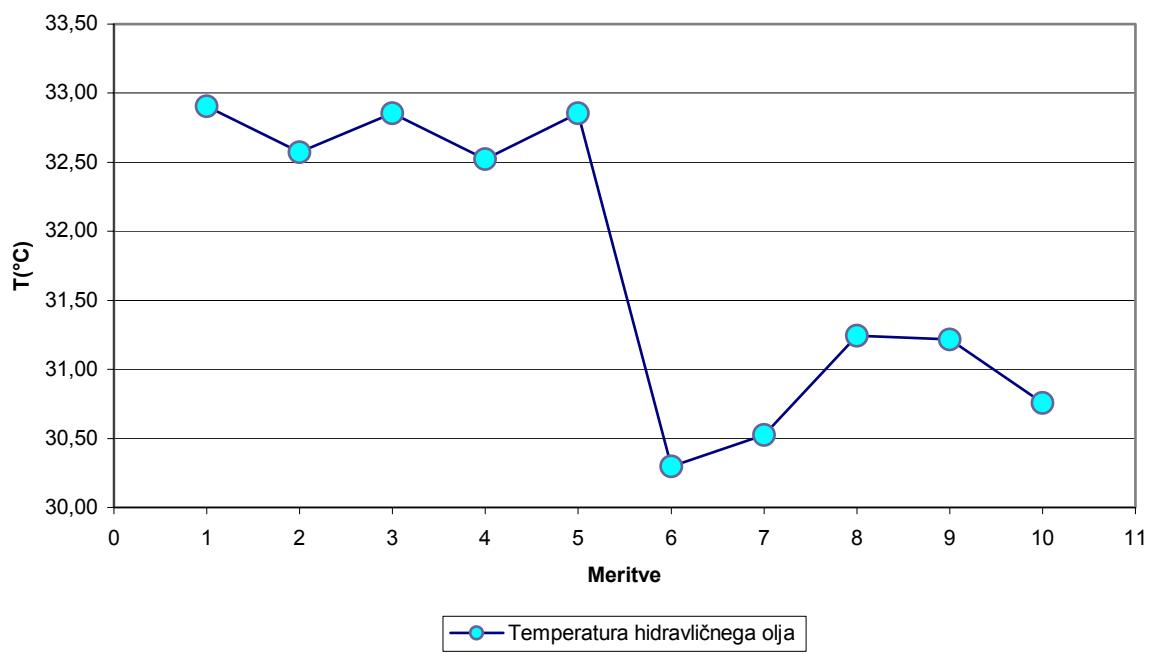
Meritev 8. Temperatura pri odrezovanju MDF - $a_z=3\text{mm}$



Meritev 9. Temperatura pri odrezovanju MDF - $a_z=3\text{mm}$

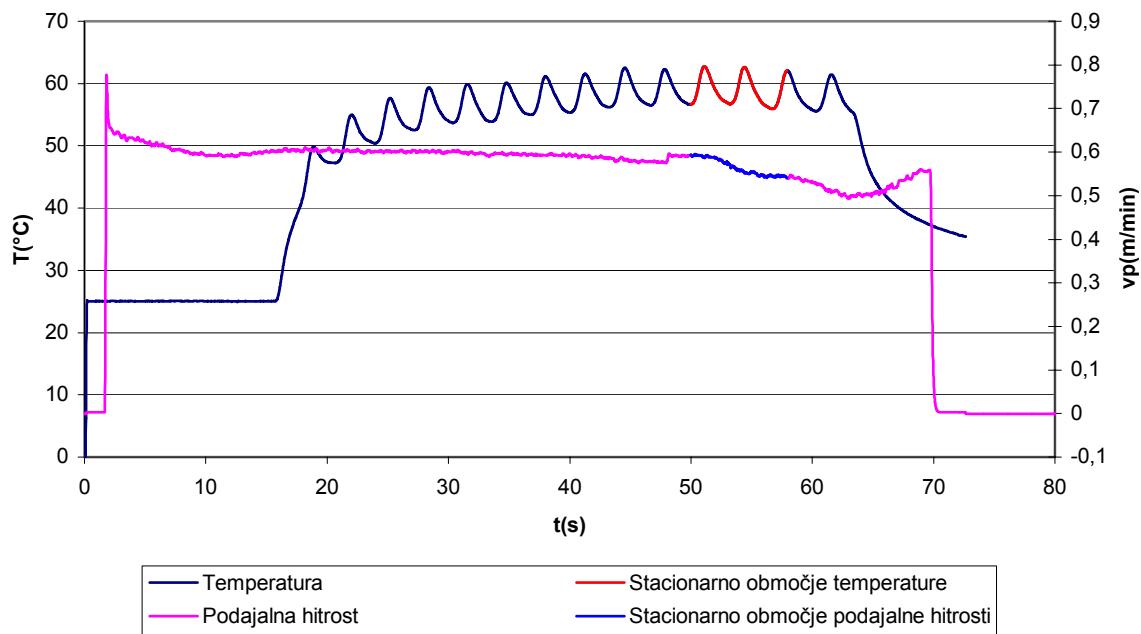


Meritev 10. Temperatura pri odrezovanju MDF - $a_z=3\text{mm}$

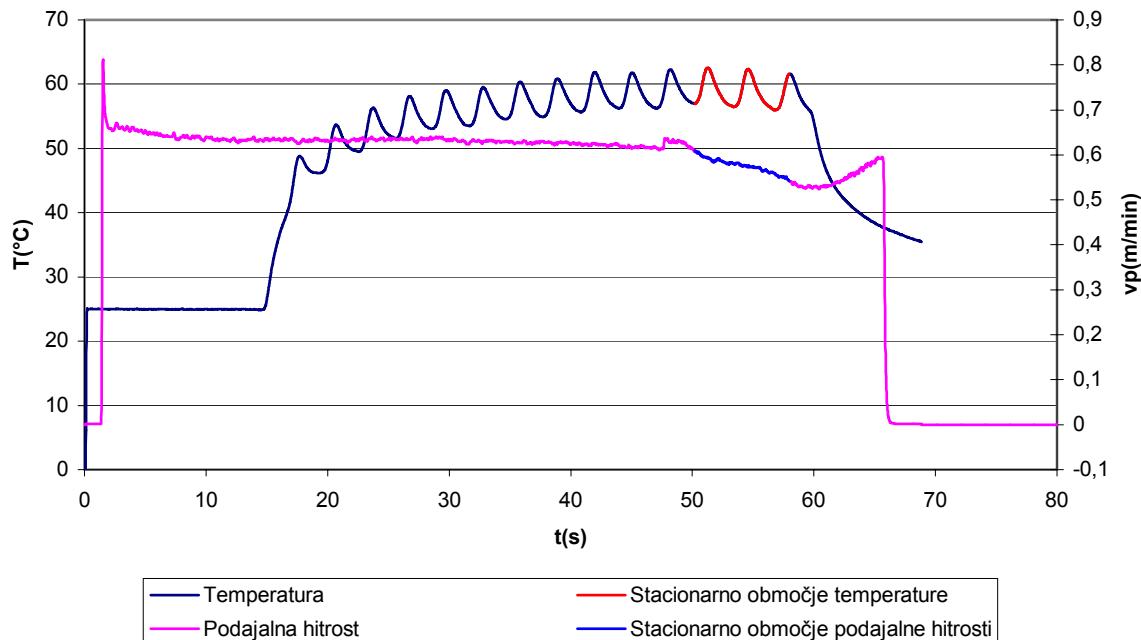


Temperatura hidravličnega olja, $v_p=1,2\text{m/min}$

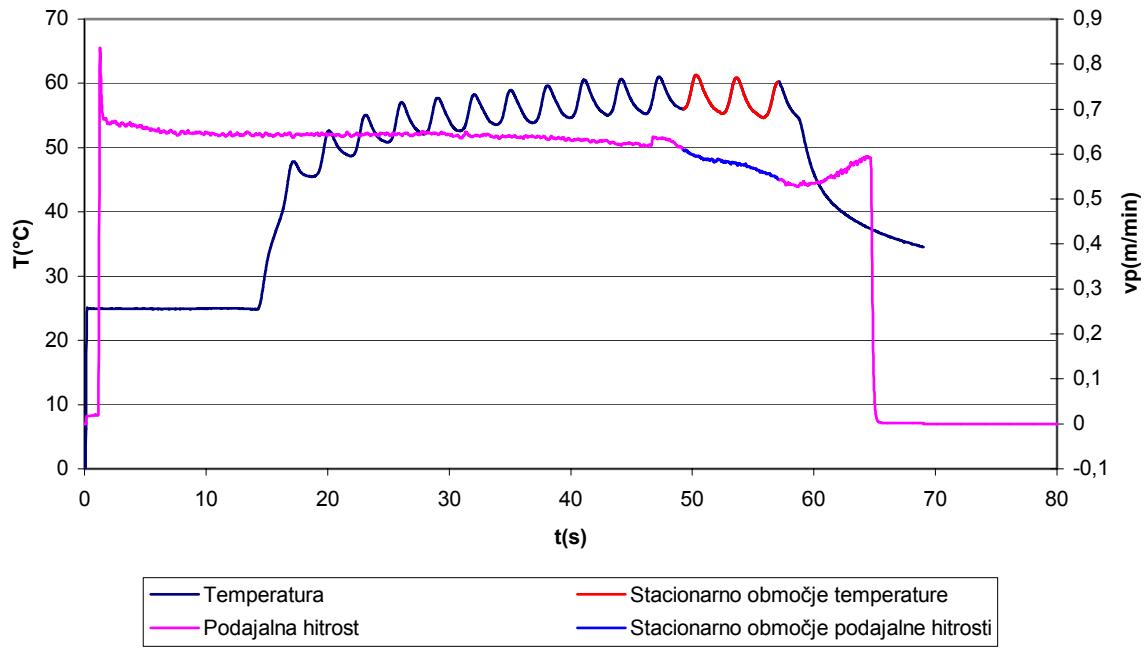
PRILOGA F – MERITVE TEMPERATURE PRI ODREZOVANJU MDF $v_p=0,6\text{m/min}$



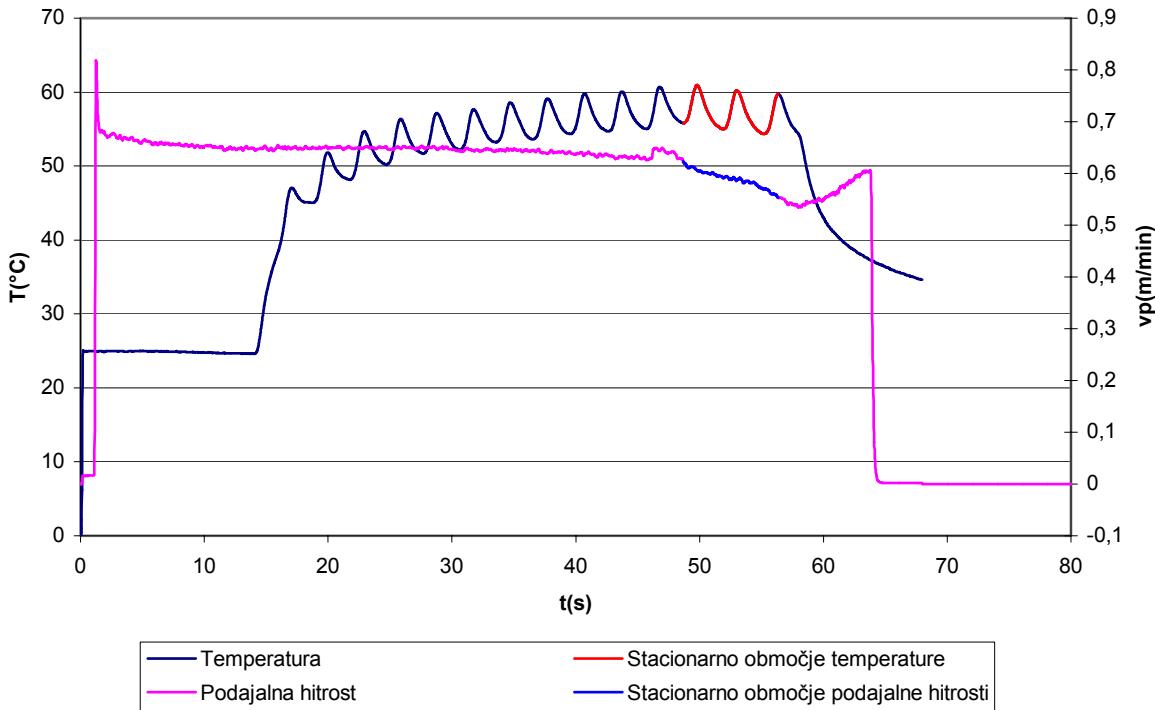
Meritev 7. Temperatura pri odrezovanju MDF - $a_z=2\text{mm}$



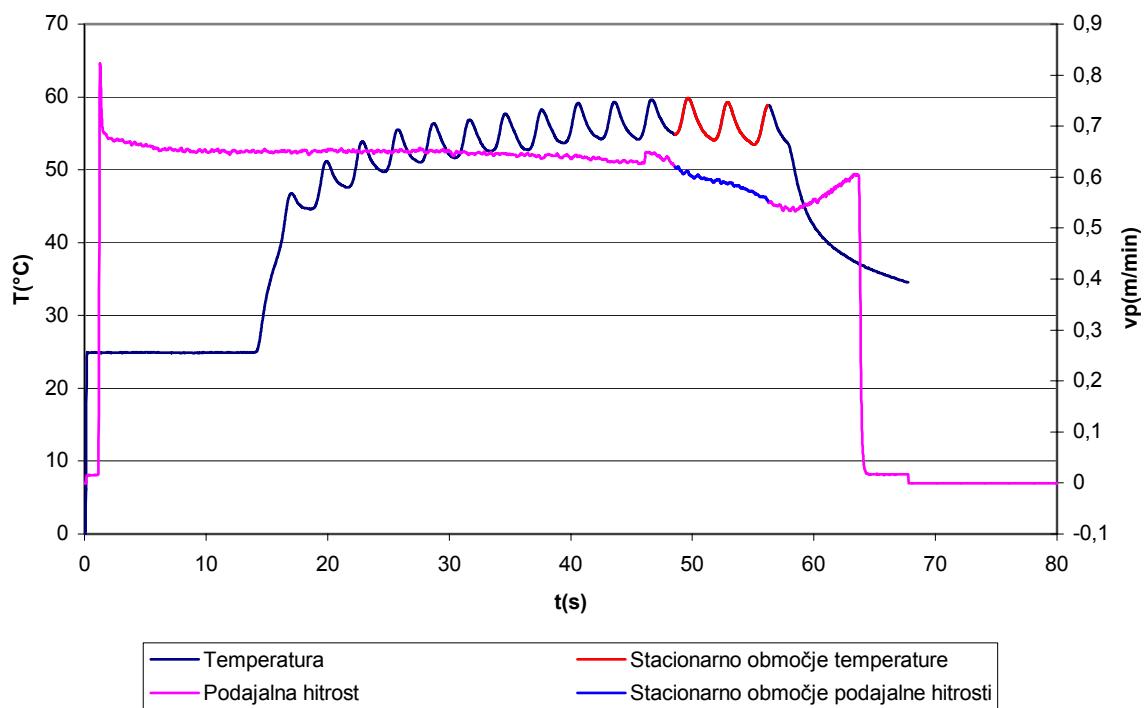
Meritev 2. Temperatura pri odrezovanju MDF - $a_z=2\text{mm}$



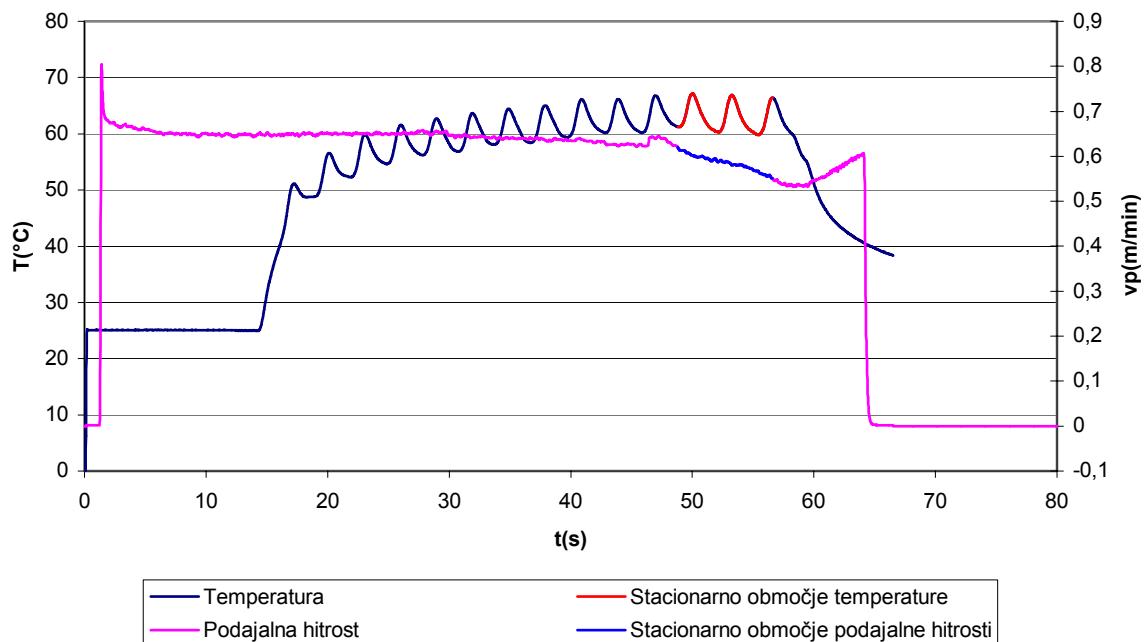
Meritev 3. Temperatura pri odrezovanju MDF - $a_z=2\text{mm}$



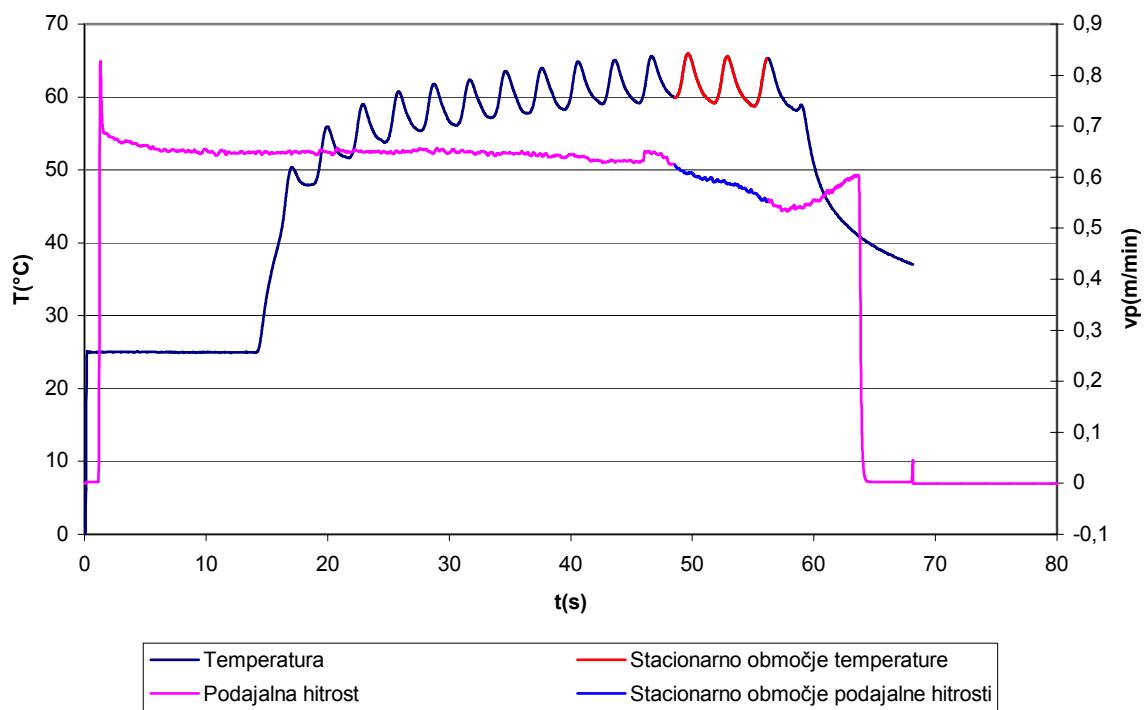
Meritev 4. Temperatura pri odrezovanju MDF - $a_z=2\text{mm}$



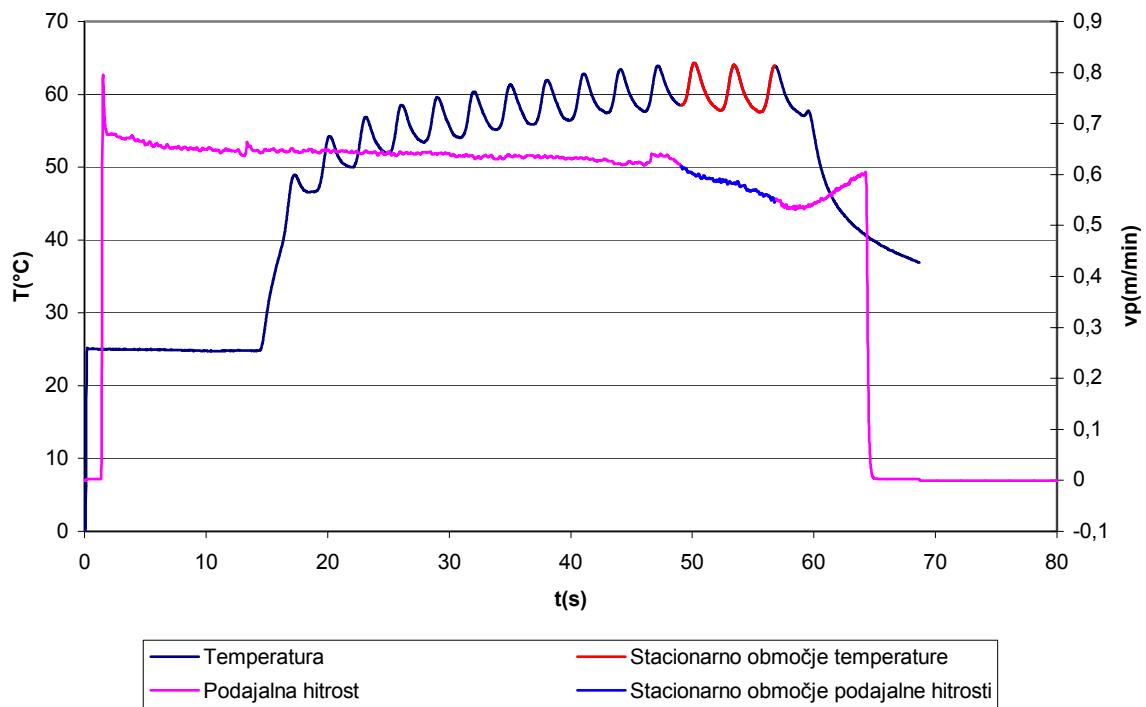
Meritev 5. Temperatura pri odrezovanju MDF - $a_z=2\text{mm}$



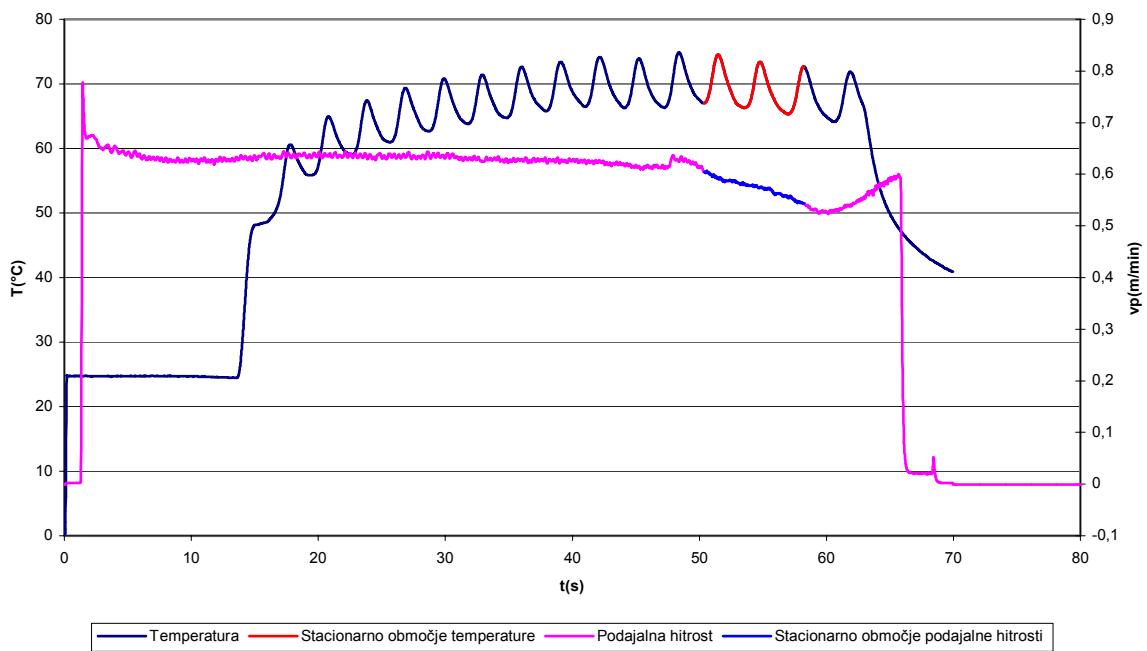
Meritev 6. Temperatura pri odrezovanju MDF - $a_z=3\text{mm}$



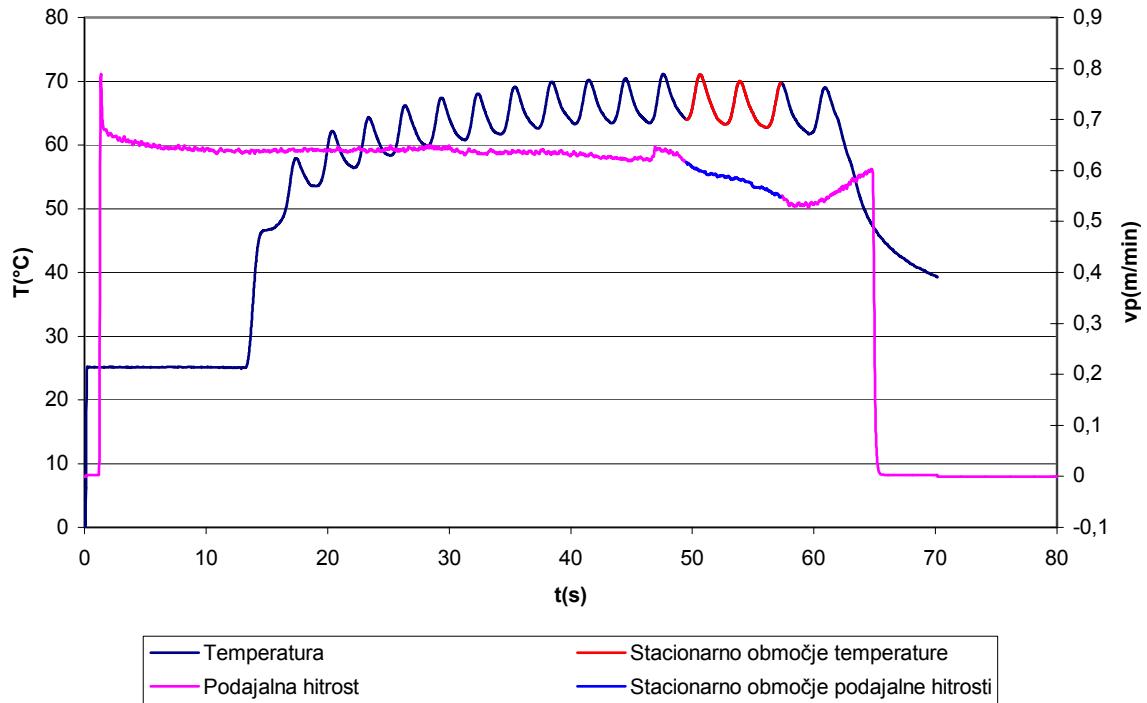
Meritev 7. Temperatura pri odrezovanju MDF - $a_z=3\text{mm}$



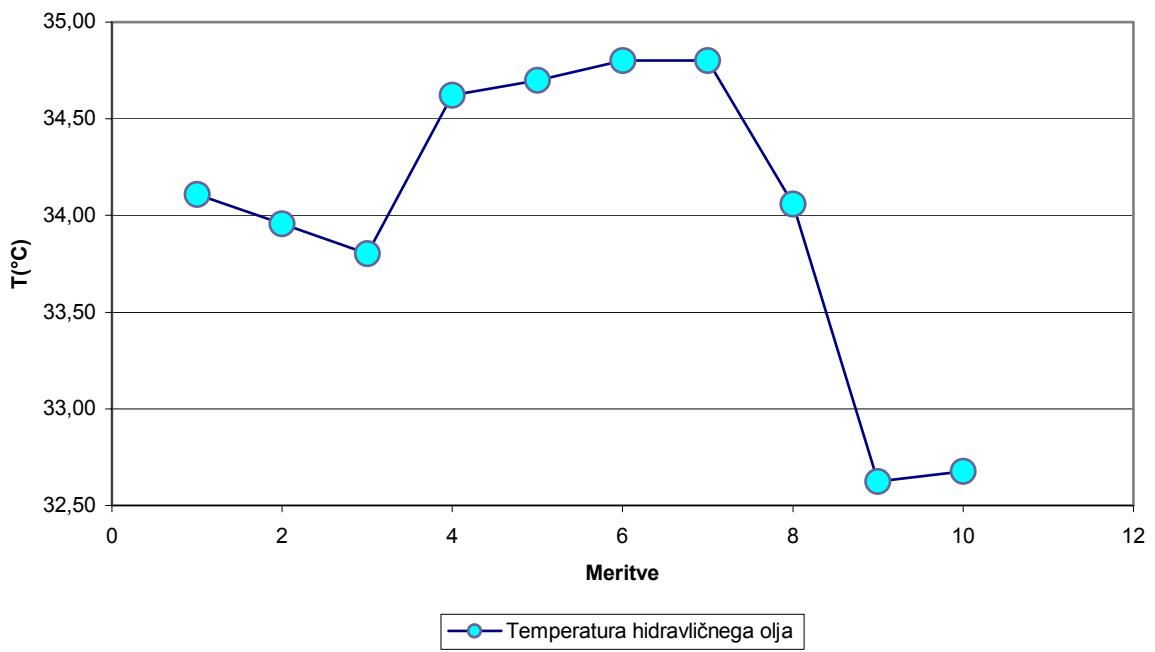
Meritev 8. Temperatura pri odrezovanju MDF - $a_z=3\text{mm}$



Meritev 9. Temperatura pri odrezovanju MDF - $a_z=3\text{mm}$

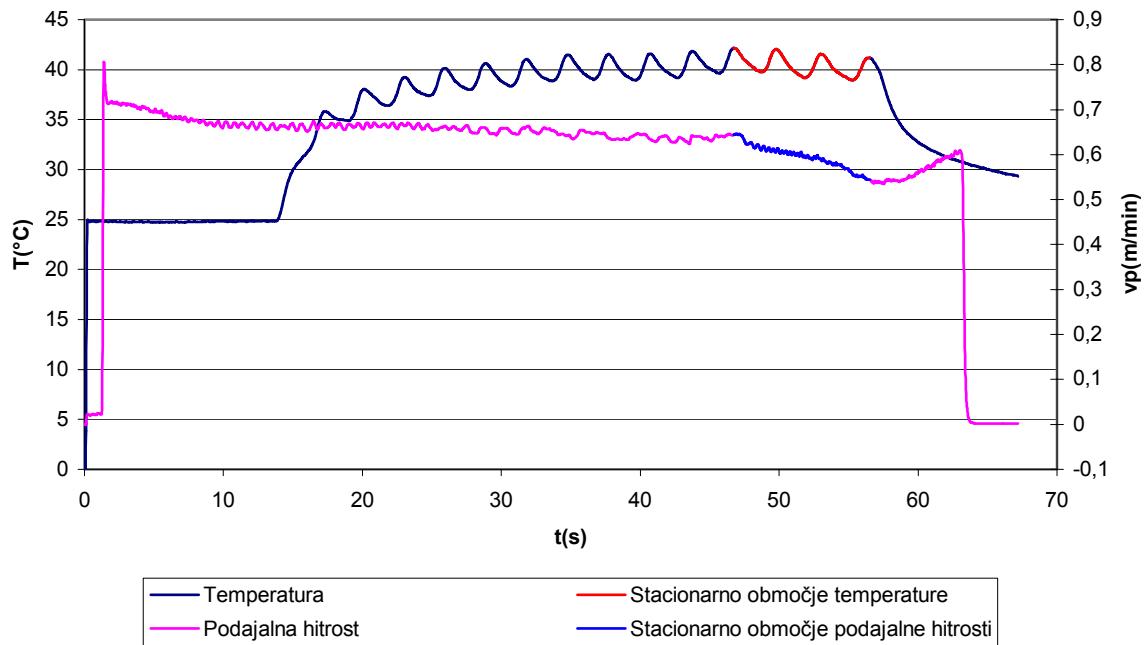


Meritev 10. Temperatura pri odrezovanju MDF - $a_z=3\text{mm}$

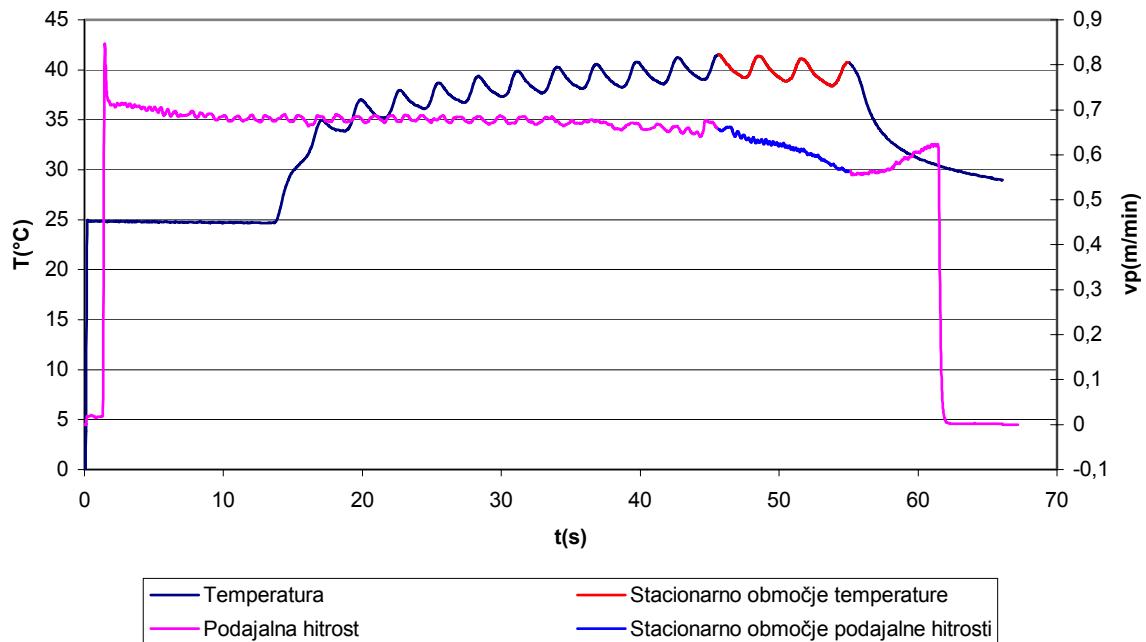


Temperatura hidravličnega olja, $v_p=0,6\text{m/min}$

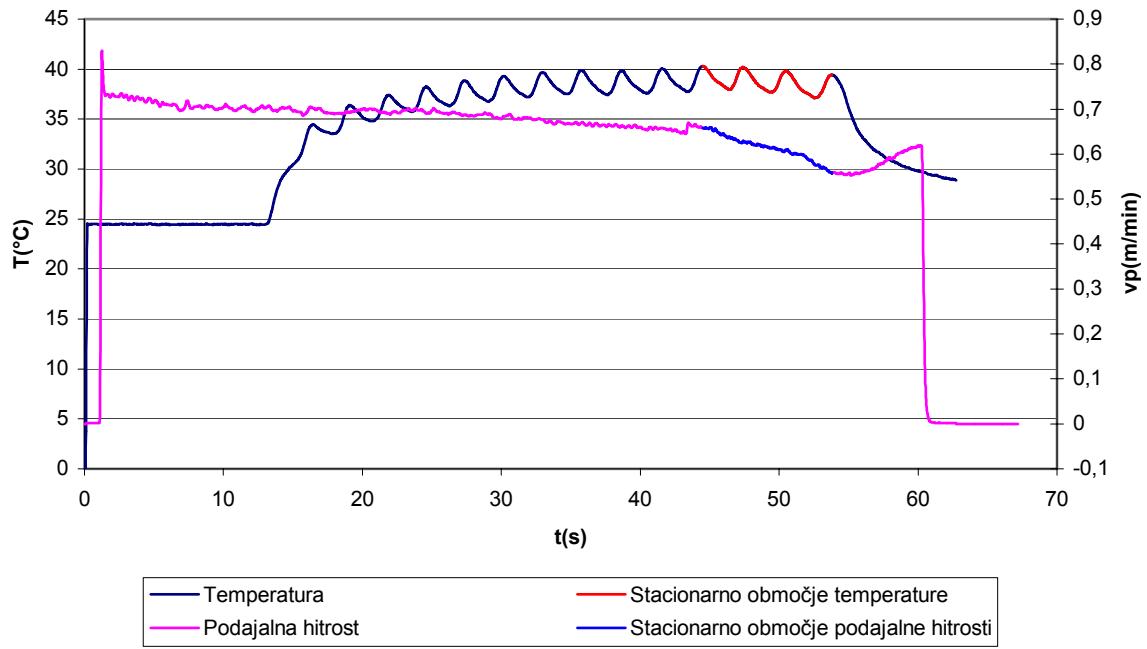
PRILOGA G – MERITVE TEMPERATURE PRI INTERMITENČNEM STRUŽENJU
MDF $v_p=0,6\text{m/min}$



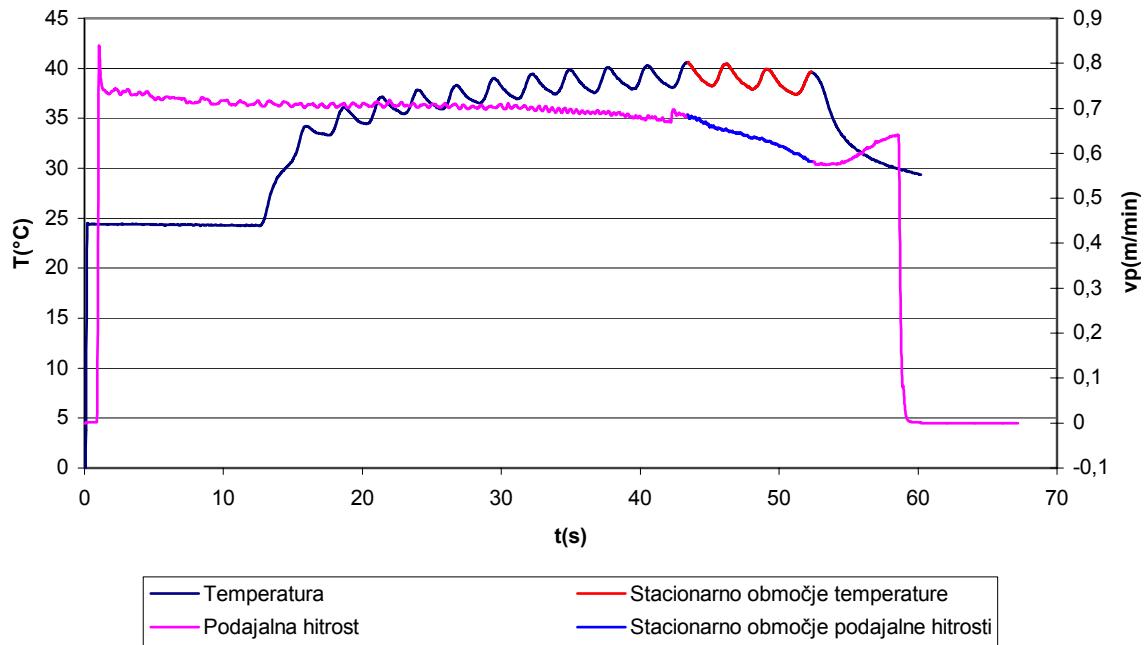
Meritev 8. Temperatura pri intermitrenčnem struženju MDF - $a_z=2\text{mm}$



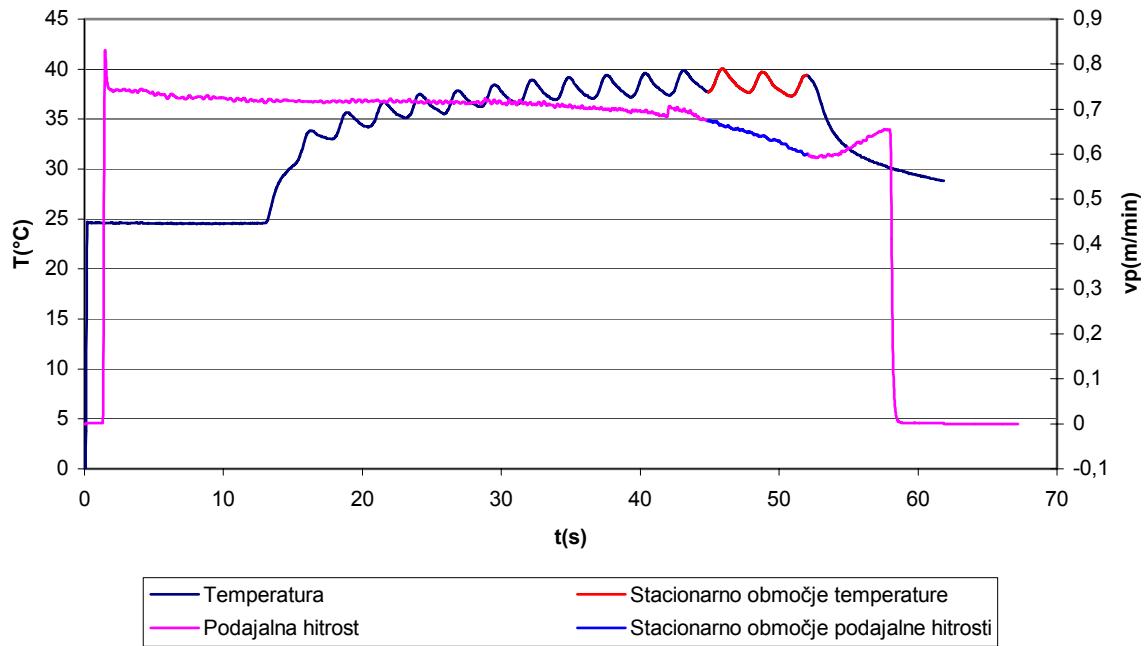
Meritev 2. Temperatura pri intermitrenčnem struženju MDF - $a_z=2\text{mm}$



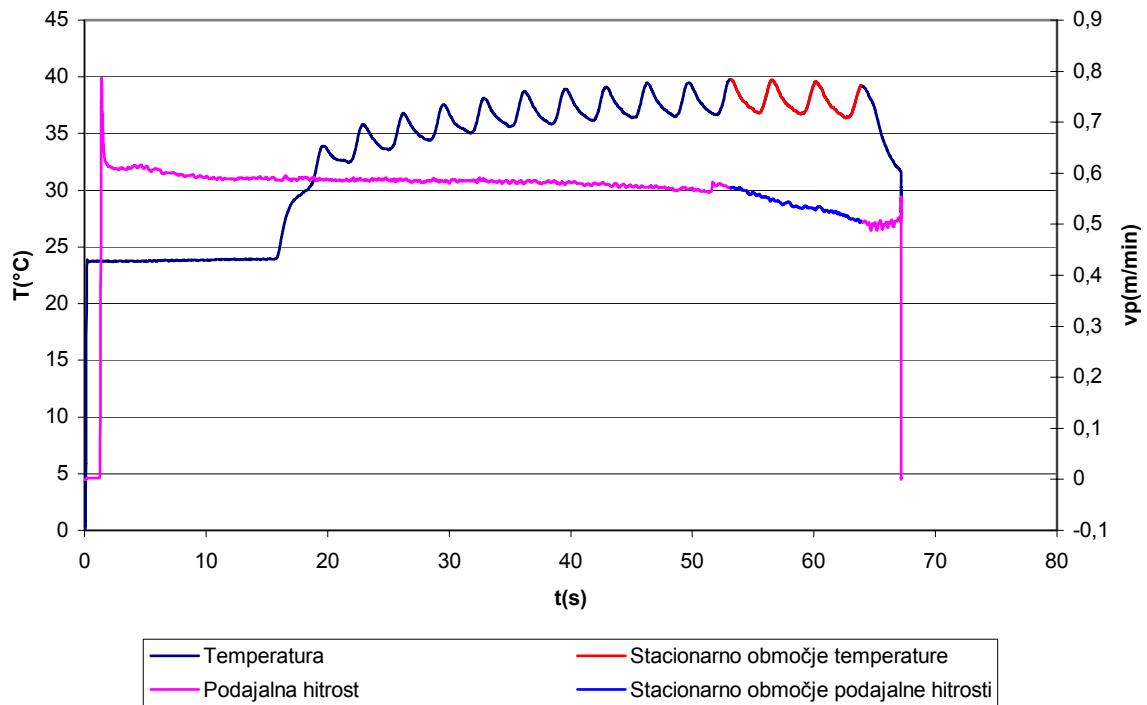
Meritev 3. Temperatura pri intermitrenčnem struženju MDF - $a_z=2\text{mm}$



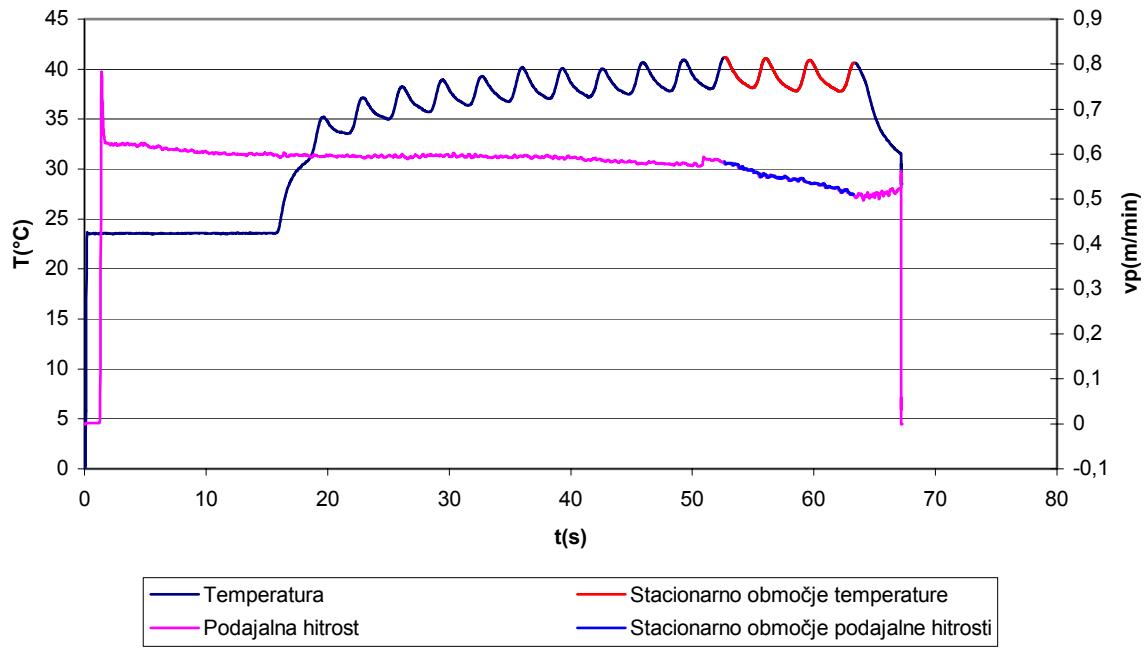
Meritev 4. Temperatura pri intermitrenčnem struženju MDF - $a_z=2\text{mm}$



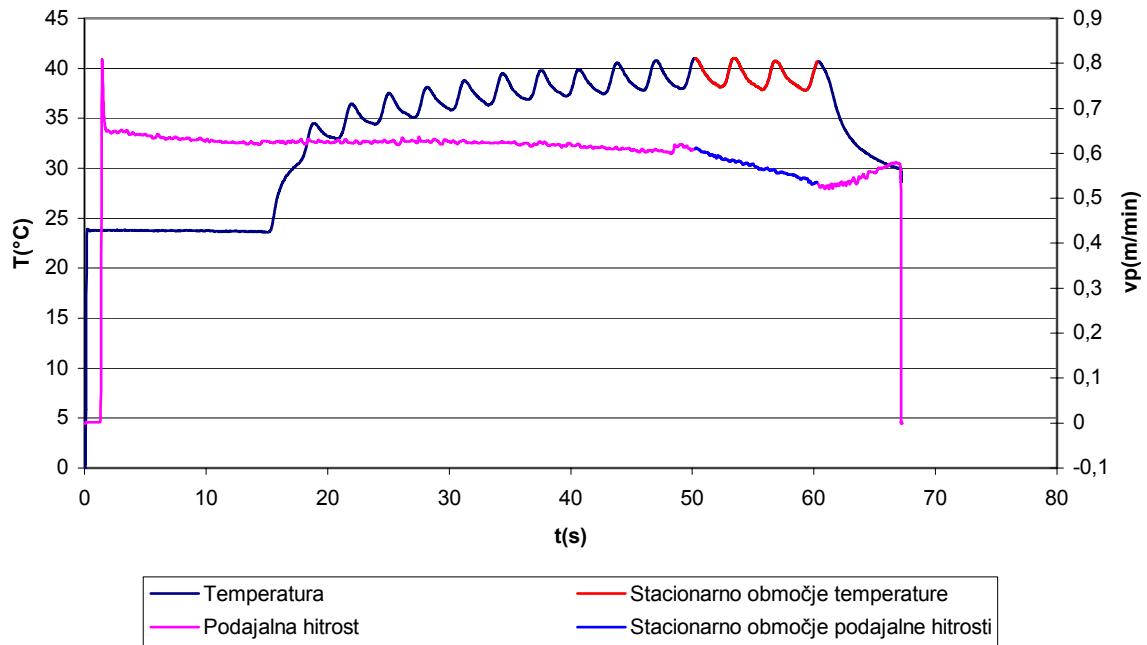
Meritev 5. Temperatura pri intermitrenčnem struženju MDF - $a_z=2\text{mm}$



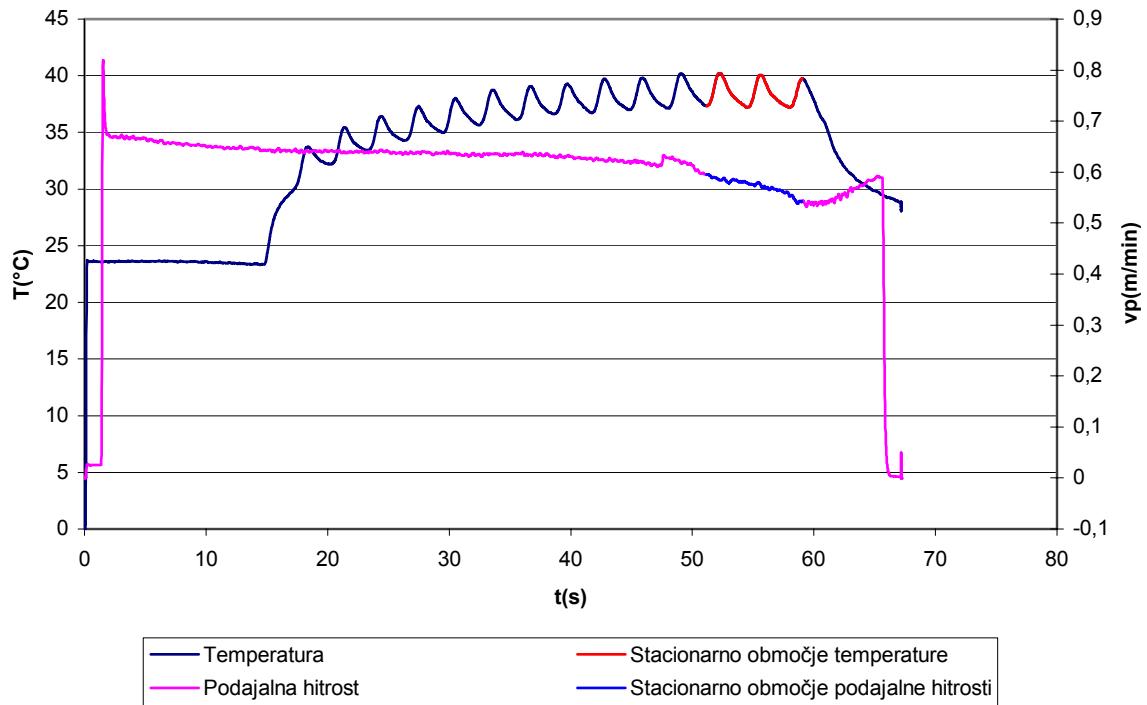
Meritev 6. Temperatura pri intermitrenčnem struženju MDF - $a_z=3\text{mm}$



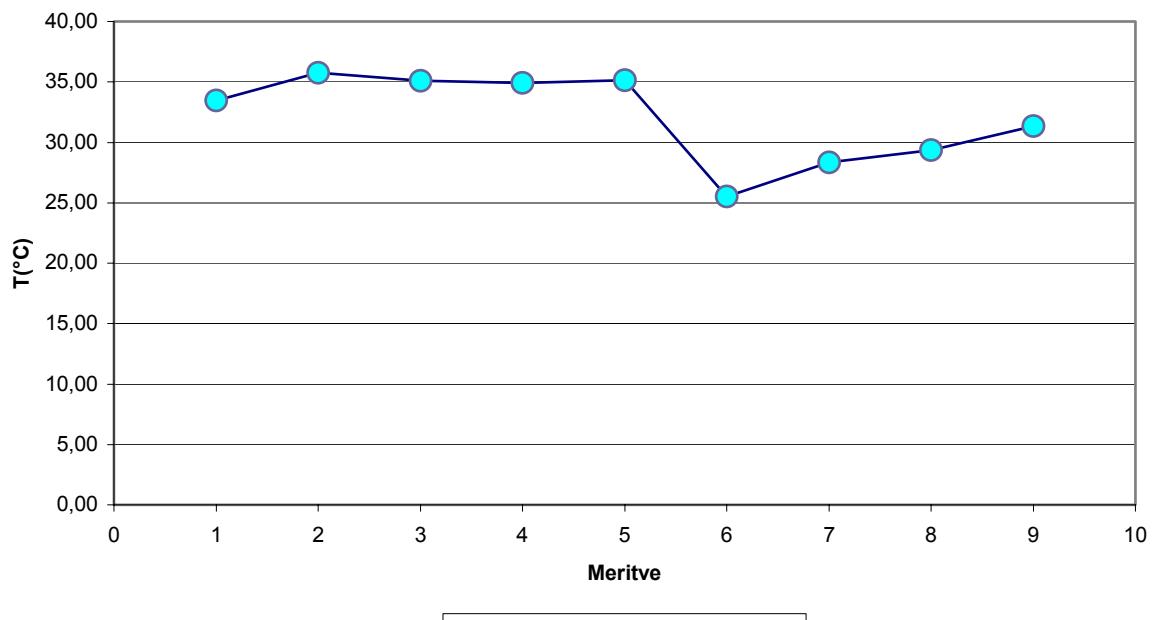
Meritev 7. Temperatura pri intermitrenčnem struženju MDF - $a_z=3\text{mm}$



Meritev 8. Temperatura pri intermitrenčnem struženju MDF - $a_z=3\text{mm}$



Meritev 9. Temperatura pri intermitrenčnem struženju MDF - $a_z=3\text{mm}$



Temperatura hidravličnega olja, $v_p=0,6\text{m}/\text{min}$