

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Dominik KUŽNIK

**VPLIV IZBRANEGA LEPILA NA GOSTOTNI PROFIL
PRI IZDELAVI IVERNIH PLOŠČ**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2009

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Dominik KUŽNIK

**VPLIV IZBRANEGA LEPILA NA GOSTOTNI PROFIL PRI IZDELAVI
IVERNIH PLOŠČ**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

**IMPACT OF ADHESIVE TYPE ON FORMING OF DENSITY PROFILE
AT PARTICLE BOARD MAKING**

GRADUATION THESIS

University studies

Ljubljana, 2009

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega študija lesarstva. Delo je bilo opravljeno v laboratoriju Katedre za žagarstvo in lesna tvoriva Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval doc. dr. Sergeja Medveda, za recenzentko pa doc. dr. Dominiko Gornik Bučar.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

KUŽNIK Dominik

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	UDK 630*862.2
KG	iverna plošča/UF-lepilo/MF-lepilo/gostotni profil
AV	KUŽNIK, Dominik
SA	MEDVED Sergej (mentor)/GORNIK BUČAR, Dominika (recenzentka)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2009
IN	VPLIV IZBRANEGA LEPILA NA GOSTOTNI PROFIL PRI IZDELAVI IVERNIIH PLOŠČ
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	VIII, 52 str., 11 pregl., 67 sl., 13vir.
IJ	sl
Jl	sl/en
AI	Raziskali smo vpliv vrste ter deleža lepila na nastanek gostotnega profila pri izdelavi ivernih plošč. Za izdelavo smo uporabili industrijsko iverje ter UF- oziroma MF-lepilo. Plošče smo izdelali pri laboratorijskih pogojih s 6,00–9,00 % deleža lepila v srednjem in z 10,00–13,00 % v zunanjem sloju. Med stiskanjem smo merili spremembo temperature v sredini plošče, med zunanjim in srednjim slojem plošče ter med iverno in grelno ploščo stiskalnice. Gostotni profil smo določevali z metodo merjenja porazdelitve gostote, za kar smo uporabili merilnik gostotnih profilov MGP-201. Ugotovili smo, da vrsta lepila ne vpliva na prehod toplote med posameznimi ploščami in da z lepilom ne vplivamo na spremembo gostotnega profila. S povečanjem faktorja oblepljanja vplivamo na hitrost segrevanja in s tem posledično na spremembo gostotnega profila.

KEY WORDS DOCUMENTATION

- DN Dn
- DC UDC 630*862.2
- CX particleboard/UF resin/MF resin/density profile
- AU KUŽNIK, Dominik
- AA MEDVED, Sergej (supervisor)/GORNIK BUČAR, Dominika (reviewer)
- PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
- PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
- PY 2009
- TI IMPACT OF ADHESIVE TYPE ON DENSITY PROFILE AT PARTICLE BOARD MAKING
- DT Graduation Thesis (University studies)
- NO VIII, 52 p., 11 tab., 67 fig., 13 ref.
- LA sl
- AL sl/en
- AB The impact of adhesive type and its share in forming density profile at making of particle boards was researched. Industrial particles were blended with urea-formaldehyde and melamine-formaldehyde resin. Particleboards were made in laboratory conditions with 6.00 – 9.00 % share of glue in the core layer, and 10.00 – 13.00 % in the surface layer. During pressing the temperature change was measured in the middle of the particleboard, between intersection core and surface layer, and between surface layer and heating plate. Density profile was appointed by a measuring procedure of density distribution, using instrument MGP-201 for measuring of density profiles. It was found out that the type of adhesive does not influence temperature increase in CL, so as that the glue alone does not influence the change of density profile. Enlarging the gluing factor influences the speed of warming, and therefore, as a consequence, the change of density profile.

KAZALO VSEBINE

Ključna dokumentacijska informacija (KDI)	III
Key words documentation (KWD)	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	VI
Kazalo slik	VII
1 UVOD	1
1.1 PROBLEM	2
1.2 HIPOTEZA	2
1.3 CILJ DIPLOMSKE NALOGE	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 ZGRADBA	3
2.2 LASTNOSTI	3
3.2 PREGLED LITERATURE	5
4 MATERIALI IN METODE	8
4.1 MATERIALI	8
4.1.2 Les	8
4.1.3 Lepilo	8
4.2 METODE DELA	9
4.2.1 Izdelava ivernih plošč	9
4.2.2 Merjenje temperature	10
4.2.3 Porazdelitev gostote	11
5 REZULTATI	13
6 RAZPRAVE	47
6.1 ČAS, KO TEMPERATURA V POSAMEZNEM SLOJU PLOŠČE DOSEŽE 100 °C	47
6.2 ČASI UTRJEVANJA PRI UREA- IN MELANIN-FORMALDEHIDNIH LEPILIH	47
6.3 REAKTIVNOST LEPILA NE VPLIVA NA GOSTOTNI PROFIL	47
6.4 ODVISNOST MED ČASOM SEGREVANJA IN FAKTORJEM OBLEPLJENJA	48
6.5 VPLIV HITROSTI ZAPIRANJA STISKALNICE NA MAKSIMALNE GOSTOTE	50
7 SKLEP	51
8 VIRI IN LITERATURA	52
ZAHVALA	1

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Parametri pri izdelavi ivernih plošč.	13
Preglednica 2: Dosežen čas pri prenehanju linearnega naraščanja temperature ter prikaz naklonskih kotov gostotnih profilov, ki so nastali med stiskanjem ivernih plošč.....	13
Preglednica 3: Dosežene povprečne vrednosti posameznih plošč glede na faktor obleplanja.	14
Preglednica 4: Dosežena čas in temperatura pri prenehanju linearnega naraščanja temperature med stiskanjem ivernih plošč.	14
Preglednica 5: Dosežena povprečna čas in temperatura glede na različen faktor obleplanja. .	14
Preglednica 6: pH in temperatura lepil UF in MF.....	15
Preglednica 7: Vsebnost suhe snovi urea- in melamin-formaldehidnega lepila.	15
Preglednica 8: Iztočni čas urea- in melamin-formaldehidnega lepila.	15
Preglednica 9: Čas želiranja urea- in melamin-formaldehidnega lepila.	16
Preglednica 10: pH iverja in temperatura raztopine.....	16
Preglednica 11: Maksimalne gostote ivernih plošč.....	50

KAZALO SLIK

Slika 1: Naprava za merjenje vlažnosti iverja.....	10
Slika 2: Naprava za merjenje temperature.....	10
Slika 3: Razporeditev termočlenov v plošči med stiskanjem.....	11
Slika 4: Shema razžagovanja.....	11
Slika 5: Merilnik gostotnih profilov MGP-201.....	12
Slika 6: Shema merilnika gostotnih profilov MGP-201 (Benedičič. J. Dipl. delo, 2007).....	12
Slika 7: Gradient temperature v iverni plošči C.....	17
Slika 8: Gostotni profil iverne plošče C.....	17
Slika 9: Naklonski koti gostotnega profila v plošči C.....	18
Slika 10: Gradient temperature v iverni plošči D.....	18
Slika 11: Gostotni profil iverne plošče D.....	19
Slika 12: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče D.....	19
Slika 13: Gradient temperature v iverni plošči E.....	20
Slika 14: Gostotni profil plošče E.....	20
Slika 15: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče E.....	21
Slika 16: Gradient temperature v iverni plošči F.....	21
Slika 17: Gostotni profil iverne plošče F.....	22
Slika 18: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče F.....	23
Slika 19: Gradient temperature v iverni plošči G.....	23
Slika 20: Gostotni profil iverne plošče G.....	24
Slika 21: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče G.....	24
Slika 22: Gradient temperature v iverni plošči H.....	25
Slika 23: Gostotni profil iverne plošče H.....	25
Slika 24: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče H.....	26
Slika 25: Gradient temperature v iverni plošči I.....	26
Slika 26: Gostotni profil iverne plošče I.....	27
Slika 27: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče I.....	27
Slika 28: Gradient temperature v iverni plošči J.....	28
Slika 29: Gostotni profil iverne plošče J.....	29
Slika 30: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče J.....	29
Slika 31: Gradient temperature v iverni plošči K.....	30
Slika 32: Gostotni profil iverne plošče K.....	30
Slika 33: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče K.....	31
Slika 34: Gradient temperature v iverni plošči L.....	31
Slika 35: Gostotni profil iverne plošče L.....	32
Slika 36: Naklonski koti v gostotnem profilu iverne plošče L.....	32
Slika 37: Gradient temperature v iverni plošči M.....	33
Slika 38: Gostotni profil iverne plošče M.....	34
Slika 39: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče M.....	34
Slika 40: Gradient temperature v iverni plošči N.....	35
Slika 41: Gostotni profil iverne plošče N.....	35
Slika 42: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče N.....	36
Slika 43: Gradient temperature v iverni plošči O.....	36
Slika 44: Gostotni profil iverne plošče O.....	37
Slika 45: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče O.....	37
Slika 46: Gradient temperature v iverni plošči P.....	38

Slika 47: Gostotni profil iverne plošče P	38
Slika 48: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče P	39
Slika 49: Gradient temperature v iverni plošči R	39
Slika 50: Gostotni profil iverne plošče R	40
Slika 51: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče R	40
Slika 52: Gradient temperature v iverni plošči S	41
Slika 53: Gostotni profil iverne plošče S	41
Slika 54: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče S	42
Slika 55: Gradient temperature v iverni plošči Š	42
Slika 56: Gostotni profil iverne plošče Š	43
Slika 57: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče Š	43
Slika 58: Gradient temperature v iverni plošči T	44
Slika 59: Gostotni profil iverne plošče T	44
Slika 60: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče T	45
Slika 61: Gradient temperature v iverni plošči U	45
Slika 62: Gostotni profil iverne plošče U	46
Slika 63: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče U	46
Slika 64: Temperature segrevanja v zgornjem sloju plošč	48
Slika 65: Temperatura segrevanja v srednjem sloju plošč	48
Slika 66: Odvisnost med časom in faktorjem oblepljenja pri zunanem sloju	49
Slika 67: Odvisnost med časom in faktorjem oblepljenja pri srednjem sloju	49

1 UVOD

Poleg ilovice in kamna je les s svojimi raznolikimi tehnološkimi lastnostmi najstarejši material. Medtem ko je bil v prejšnjih stoletjih les uporaben samo kot masiva, je v 20. stoletju z nastankom duroplastičnih sintetičnih lepil in ustreznih tehnologij nastal nov material – lesno tvorivo. To so večinoma plošče, narejene iz dezintegriranega lesa in lepila kot veziva. Dezintegriran les predstavljajo vlakna, iveri, furnir ali letve, ki so s pomočjo dodanega lepila pod vplivom tlaka in temperature spremenjeni v vlaknene plošče, iverne plošče, furnirne plošče, mizarske plošče itd. V proizvodnji pohištva se večinoma uporabljajo prej omenjene plošče iz dezintegrirnega lesa, ki jih je običajno treba še površinsko obdelati. V ta namen plošče navadno oblepljamo z raznimi furnirji ali folijami ali pa jih barvamo. Največji delež med temi polizdelki zavzema iverna plošča oz. oplemenitena iverna plošča, ki je razmeroma star in dobro poznan material, v zadnjem času pa se ji vedno bolj pridružuje MDF-plošča, ki nadomešča masivni les, kjer ga ni mogoče nadomestiti z iverno ploščo.

Za izdelavo ivernih plošč se uporablja oblovina, žagovina, krajniki in drug tehnološko manjvreden les. Kot vezivna sredstva se večinoma uporabljajo urea-, melamin- in fenol-formaldehidna lepila. Plošče z urea-formaldehidnim lepilom niso odporne proti spremenljivi klimi, zato se uporabljajo v prostorih s stalno klimo, predvsem v pohištveni industriji.

Iverne plošče in lesna tvoriva nasploh so v primerjavi z masivnim lesom dimenzijsko bolj stabilna. Po T. Maloneyu je iverna plošča splošni pojem za ploščo, proizvedeno iz lignoceluloznih materialov (lesa), predvsem iz majhnih delcev ali koščkov, kombiniranih s sintetično smolo ali drugim primernim vezivom ter medsebojno povezanih pod vplivom toplote in pritiska v vroči stiskalnici, v postopku, kjer je celotna vez med delci ustvarjena z vezivi. Za izboljšanje lastnosti ivernih plošč se lahko dodajajo drugi materiali, kot so hidrofobna, insekticidna in fungicidna sredstva.

1.1 PROBLEM

Zaradi postopka izdelave iverne plošče pride do gostotnega profila, ki se po debelini spreminja zaradi različno velikih delcev, ki sestavljajo zunanji in srednji sloj iverne plošče. Zanima nas, kakšna bo razlika pri prehodu temperature skozi pogačo ob enakih pogojih stiskanja z uporabo dveh različnih lepil, urea- in melanin-formaldehidnega lepila, ter različnih faktorjih oblepljanja. Če ugotovimo, da faktor oblepljanja vpliva na spremembo gostotnega profila, to posledično pomeni večjo vsebnost vode oziroma dejstvo, da se je med stiskanjem sprostilo več pare, zaradi česar je les postal bolj plastificiran in ga je bilo lažje stisniti. Na ta način smo plošči povečevali gostoto in seveda tudi gostotni profil. Temperatura stiskanja pa bo pokazala, kako hitro je para izparevala in kako hitro smo dosegli utrjevanje lepilne mešanice v SL in CL. Zanima nas tudi, s katerim lepilom bomo hitreje dosegli točko utrditve (100–110 °C) in čim bolj enakomeren gostotni profil.

1.2 HIPOTEZA

V hipotezi predpostavimo, da bomo ob uporabi melanin-formaldehidnega lepila dosegli bolj enakomeren gostotni profil in daljši čas utrjevanja, saj je MF-lepilo gostejše od UF-lepila. Gostejše ko je lepilo, večja je zgostitev delcev in manjši je spring back efekt.

1.3 CILJ DIPLOMSKE NALOGE

Cilj diplomske naloge je ugotoviti, do kakšnih razlik pride pri segrevanju pogače ob uporabi urea-formaldehidnega lepila ali melamin-formaldehidnega lepila in kako to vpliva na nastanek gostotnega profila ivernih plošč pri konstantnem faktorju oblepljanja.

Prav tako je treba ugotoviti, do kakšnih sprememb pride pri gostotnem profilu, če spremenimo faktor oblepljanja.

2 PREGLED OBJAV

2.1 ZGRADBA

Po T. Maloneyu je iverna plošča splošni pojem za ploščo, proizvedeno iz lignoceluloznih materialov (lesa), predvsem iz majhnih delcev ali koščkov, kombiniranih s sintetično smolo ali z drugim primernim vezivom ter medsebojno povezanih pod vplivom toplote in pritiska v vroči stiskalnici, v postopku, kjer je celotna vez med delci ustvarjena z vezivi. Za izboljšanje lastnosti ivernih plošč se lahko dodajajo drugi materiali, kot so hidrofobna, insekticidna in fungicidna sredstva.

Za izdelavo ivernih plošč uporabljamo predvsem urea-formaldehidna lepila (UF) (85–90 %), melamin-formaldehidna (MF) (5–10 %), fenol-formaldehidna (FF) (5–10 %), modificirana in izocianatna lepila (3 %). Problem zadnjih je, da so draga in strupena ter da pri tankih slojih prihaja do preboja lepila.

2.2 LASTNOSTI

Na lastnosti plošče v določeni meri vplivajo vsi vgrajeni materiali (iveri, lepilo, aditivi) in proizvodni proces, odločilen vpliv pa ima uporabljena surovina. Od drevesne vrste je odvisno, kakšne bodo iveri (vitkost, dolžina, debelina celičnih sten, faktor oblepljanja ...), vpliva pa tudi na vse spremenljivke, povezane s postopkom izdelave ivernih plošč. Poleg vrste lesa na kakovost iveri vplivata tudi vlažnost lesa in tehnološki postopek iverjenja, tako da lahko ob neprimerni tehnologiji tudi iz zelo kakovostne surovine pridobimo nekakovostne iveri. Na splošno se priporoča uporaba iveri iglavcev za zunanji sloj in iveri listavcev za srednji sloj ivernih plošč. Iverci iglavcev so bolj stisljive, zato lahko tvorijo kompaktnjši sloj plošče z boljšimi mehanskimi lastnostmi.

Ključni faktor, s katerim vplivamo na kakovost gotovih plošč med procesom izdelave, pa je tlak. S tlakom namreč uravnavamo gostoto plošče, nadzorujemo lahko gostotni profil plošče in nekatere od mehanskih lastnosti. Gostotni profil je posledica mehanizma stiskanja plošče, nastane zaradi njenega postopka izdelave in se spreminja po celotni debelini plošče. Mehanizmi, ki nastanejo pri stiskanju iverne plošče, pa so:

A. PREHOD SNOVI (tok vlage), ki lahko nastane na dva načina:

- **DIFUZIJA** je prenos snovi iz območja z višjo koncentracijo snovi v območje z nižjo koncentracijo. To izenačevanje koncentracij je zelo redko, ker se snovi v pogači med stiskanjem ne izenačujejo s tistimi v okolju. Do difuzije pride le pri postopnem odpiranju stiskalnice, in to le v plošči.
- **KONVEKCIJA** je, ko stalni tlačni gradient potiska vlago skozi material. Pri tem tok vlage teče iz dela večje vlažnosti v del z nižjo vlažnostjo. Vlažnost je na zunanem delu visoka, v sredini pa nizka. Enako je s temperaturo, ki je na zunanem sloju višja kot v sredini.

B. PREHOD TOPLOTE, ki ga lahko opišemo na dva načina:

- **KONVEKCIJA** Pri konvekciji toplota prehaja z mesta telesa z višjo temperaturo na mesto telesa z nižjo temperaturo. Medij za prenos toplote je vroč zrak. Zaradi vlažne površine se ustvari razlika med potencialnimi parnimi tlaki, zato vroča para prodre v sredino in tako segreje srednji sloj plošče.
- **KONDUKCIJA** Grelne plošče prek stika grejejo pogačo. Voda iz delcev se uparja in para sili proti sredini, kjer je nižja vsebnost vlage in temperature, pri tem se ob stiku s hladnimi delci kondenzira in vpija v hladnejše delce. Ker je para toplejša od iveri, jih segreva in s tem tudi plastificira. Topel zrak vlago povleče naprej in postopek se ponovi. Ko ploščo segrejemo do sredine, gre toplota iz sistema. Ko pride do hladne površine, kondenzira, kar lahko vidimo kot paro.

C. PLASTIFIKACIJA DELCEV IN ZGOSTITEV

Sistem se zgoščuje ob naraščanju temperature. Višja temperatura privede do uparjanja vode. Para, ki pri tem nastane, potuje proti srednjemu sloju in na svoji poti segreva in plastificira delce. Najprej se segreje in plastificira zunanji sloj, ki ga zgostimo do gostote celične stene s pomočjo tlaka stiskanja. Takrat se zgoščevanje zunanjega sloja zaključi in začne se zgoščevanje srednjega sloja, ki se zaključi ob odprtju stiskalnice. Po odprtju stiskalnice se sproži spring-back efekt. Do tega pride, ker so iveri v srednjem sloju še prožne, saj se lepilo še ni dokončno utrdilo. Sprosti se okoli 10 % napetosti, takrat iveri v srednjem sloju pritisnejo na iveri v zunanjem sloju, kar jih še dodatno zgosti. Zaradi raztezanja se zmanjša gostotni profil v srednjem sloju.

D. NASTANEK LEPILNE VEZI

Dejavniki, ki vplivajo na nastanek lepilne vezi, so: čas, temperatura, tlak, vrsta lepila, lesna vrsta, velikost in oblika delcev.

E. DEJAVNIKI, KI VPLIVAJO NA GOSTOTNI PROFIL

- **Lesna vrsta oz. gostota lesne vrste** – mehkejše drevesne vrste lažje zgostimo z nižjim tlakom.
- **Velikost iveri** – večji delci se zgoščevanju bolj upirajo kot manjši delci.
- **Vezivno sredstvo** – od vrste veziva je odvisna povezanost delcev in velikost spring-back efekta. Gostejše lepilo poveča zgostitev in elastično zmanjša spring-back efekt.
- **Struktura plošče** – pri večslojnih ivernih ploščah striktno ločujemo med zunanjim slojem (SL) in srednjim slojem (CL), zato je gostotni profil bolj izrazit.
- **Tlak stiskanja** – na površini je tlak bistveno večji kot v sredini. Odvisen je tudi od velikosti delcev, saj se manjši delci lažje zgostijo, zato je tudi zunanji sloj plošče bolj zgoščen. Med stiskanjem se delež praznih prostorov zmanjša, poveča pa se delež stičnih površin.

- **Temperatura stiskanja** – pri visoki temperaturi bi se CL hitreje zgostil, ker bi para hitreje izhlapevala, vendar bi se obenem SL preveč izsušil in hitreje reagiral, kar bi privedlo do velike razslojne trdnosti. Pri nižji temperaturi dosežemo veliko počasnejši prehod temperature skozi ploščo in s tem bolj enakomeren profil plošče.
- **Vlažnost oz. vlažnostni gradient** – vlažnost je v CL nižja zato, da se ustvari razlika v parnih tlakih. Temperatura deluje v povezavi z vlago, in sicer tako, da para prenaša temperaturo skozi SL v CL in naprej v SL.
- **Hitrost zapiranja stiskalnice** – pri počasnem zapiranju stiskalnice je temperatura bolj enakomerna in lažje prehaja v CL, gostotni profil je bolj izenačen. Pri hitrem zapiranju bi se prehitro segreval zunanji sloj plošče, lepilo bi se utrdilo in prehod pare v CL bi bil otežen.

3.2 PREGLED LITERATURE

Prve urea smole so se na trgu pojavile leta 1930. Zaradi odlične adhezije z lesom in bolj ali manj nizke cene so se na trgu uveljavile in se še danes uporabljajo kot ene izmed najbolj pogostih veziv pri obdelovanju lesa; še posebej pri izdelavi ivernih plošč in MDF-plošč. Kemizem UF-smol temelji na postopni vezavi uree in formaldehida, sinteza je odvisna od njunega molarnega razmerja, pH vrednosti, temperature in časa reakcije, ki lahko poteka v kislem ali bazičnem pH. Utrjevanje UF-lepil je kemijski in fizikalni proces. Kemijski proces je nadaljevanje pri izdelavi lepila, zaustavljanje reakcije kondenzacije, fizikalni pa je oddajanje disperznega sredstva in pri reakciji nastale vode. Pri proizvodnji UF-lepil lahko kondenzacijo na želeni stopnji prekinejo in produkte stabilizirajo. Molarno razmerje uree in formaldehida je v mejah od 1 : 1,1 do 1 : 2,5. Prednosti urea-formaldehidnega lepila so predvsem: brezbarvni spoji, preprosti so za pripravo, dobro se mešajo z lepili in dodatki, lepljenje je mogoče v hladnem, toplem in vročem okolju, ne povzročajo madežev na lesu, odporni so proti glivam in insektom ter so poceni. Slabosti pa so: gre za krhka in trda lepila, niso odporna proti visoki temperaturi, vodi in spreminjajoči se klimi, sproščajo formaldehid in so škodljiva zdravju.

Melaminske smole so se na trgu pojavile v začetku petdesetih let, v proizvodnji ivernih plošč. Do reakcije melamina s formaldehidom pride pod podobnimi pogoji kot pri urei, le da je dodatek formaldehida bolj preprost in dovršen kot pri urei. Osnovna sestavina teh lepil je heterociklična dušikova spojina melamin, sodijo pa v skupino aminoplastov. Njihova izdelava je draga in zahtevna, lepila pa so kakovostna in veliko v uporabi. Proces kondenzacije melamina in formaldehida je podoben kot pri urea-formaldehidnem lepilu. Pri pH 5–6 kondenzira en mol melamina s 3–4 moli formaldehida. Utrjevanje MF-lepil je kemijski in fizikalni proces, rezultat pa je tridimenzionalna povezava molekul in termoneplasten lepilni spoj. Prednosti melamin-formaldehidnega lepila so: vsestranska uporabnost, trdni spoji, ki so odporni proti vlagi in ostri klimi, brezbarvni spoji. Slabosti so: topijo rezila, kratka doba skladiščenja, visoka cena zaradi zahtevne proizvodnje.

Ker na naravne lastnosti lesa ne moramo vplivati, se moramo toliko bolj posvetiti postopku izdelave plošč in njihove predelave v končne izdelke. Nepravilnosti se lahko pojavijo že med procesom izdelave, bodisi zaradi neenakomernega natresenja tepiha, nepravilnega predstiskanja ali stiskanja, slabe tehnologije ali neenakomernega brušenja gotovih plošč, zaradi česar je v pohištveni industriji nujen nadzor vhodne surovine.

Maloney (1993, str. 620–622) trdi, da so lesni produkti nagnjeni h krivljenju zaradi neuravnovešene sestave, ki je bodisi posledica naravnih lastnosti uporabljene surovine, kot je razlika v krčenju in nabrekanju med ranim in kasnim lesom, bodisi posledica proizvodnega procesa. Pri ivernih in vlaknenih ploščah je to na primer nesimetričnost vertikalne porazdelitve prostorninskih mas po debelini plošče. Gostotni profil pri OSB-ploščah sta raziskovala Wang in Winistorfer in ugotovila, da nastane zaradi različne velikosti iveri v posameznih slojih ter zaradi delovanja tlaka. Ugotovila sta tudi, da se gostotni profil tvori tako med zapiranjem stiskalnice kot tudi potem, ko je stiskalnica dosegla željeni tlak in debelino plošče. Proces stiskanja sta zato razdelila na dve stopnji:

Stopnja 1: Čas zgoščevanja – stiskalnica se zapira in plošča se zgoščuje. Ta čas delimo na dve fazi:

1. Faza enakomernega zgoščevanja: iz tepiha večinoma odstranjujemo le odvečni zrak in o gostotnem profilu še ni sledu.
2. Faza neenakomernega zgoščevanja: ko se stiskalnica približa maksimalnemu tlaku, se zunanja sloja zaradi spremembe temperature in vlažnosti začeta zgoščevati hitreje kot sredica plošče.

Stopnja 2: Čas stiskanja – začne se, ko stiskalnica doseže maksimalni tlak oz. želeno debelino plošče, in traja do konca stiskanja. Delimo ga na tri faze:

3. Faza zgostitve zunanjega sloja: visoka temperatura in tlak povzročata nadaljnje zgoščevanje zunanjega sloja, ki posledično zmanjša tlak, medtem ko se hladna sredica obnaša kot vzmet, ki še dodatno pripomore k zgostitvi zunanjega sloja kljub zmanjšanju tlaka zaradi relaksacije. Ta faza se zaključí, ko je razlika med temperaturo zunanjega sloja in temperaturo sredice maksimalna.
4. Faza zgostitve srednjega sloja: prehod pare iz zunanjega sloja v sredico in višanje temperature povzročita zgoščevanje sredice kljub nizkemu tlaku stiskanja, k temu pa pripomore zelo zgoščen zunanji sloj, ki se ob znižanem tlaku začne relaksirati.
5. Spring-back efekt: relaksacija celotne plošče po odprtju stiskalnice, ko izide odvečna para. Po odprtju stiskalnice je debelina plošče nekoliko večja kot v 4. fazi. Efekt pa zaradi razlik v temperaturi, vlagi, gostoti in kohezijski trdnosti med posameznimi sloji ni enakomeren po celotni debelini. Vpliv časa stiskanja na nastanek gostotnega profila je pogojen predvsem s hitrostjo zapiranja stiskalnice in maksimalnim tlakom stiskanja. Hitrejše zapiranje in višji tlak povečata vpliv časa stiskanja na nastanek gostotnega profila (Wang in Winistorfer, 2000).

Geimer et al. (1975) so v svoji raziskavi ugotovili, da obstaja linearna povezava med gostoto srednjega sloja iverne plošče in modulom elastičnosti pri tenzijski obremenitvi ter nelinearna povezava med gostoto zunanjega sloja in modulom elastičnosti. Uporabili so plošče z različno usmerjenimi ivermi v zunanjem sloju, in sicer z naključno usmerjenimi ivermi in z usmerjenimi ivermi, zadnje so testirali vzporedno in pravokotno na potek iveri.

Krivulje, ki prikazujejo odvisnosti modula elastičnosti od gostote zunanjšega sloja so bile v vseh treh primerih podobne, le da je plošča z usmerjenimi ivermi dosegla v smeri iveri nekajkrat boljše rezultate, v smeri pravokotno na potek iveri pa nekajkrat slabše rezultate kot plošča z naključno usmerjenimi ivermi v zunanjem sloju. Ugotovili so še, da gostota zunanjih slojev plošče narašča s količino materiala, uporabljenega za zunanji sloj, in z debelino plošče ter da razmerje med gostoto zunanjšega in srednjega sloja ostane nespremenjeno ne glede na končno gostoto plošč, če ostane nespremenjeno razmerje med količino materiala, uporabljenega za zunanji in srednji sloj.

Xu in Winistorfer (1995) sta ugotovila korelacijo med gostoto posameznega sloja in debelinskim nabrekom, in sicer navajata, da gostejši zunanji sloj nabreka bolj kot srednji sloj z znatno nižjo gostoto, kar lahko pripišemo dejstvu, da je v bolj stisnjem zunanjem sloju na voljo manj praznih prostorov, ki bi jih lahko zapolnil nabrekajoči material.

Plošče se med stiskanjem v vroči stiskalnici tudi nekoliko osušijo, zato jih je treba kondicionirati v temu namenjenih komorah z visoko zračno vlažnostjo, da ponovno dosežejo normalno vlažnost, in sicer 5–8 %, s čimer se izognemo krivljenju. Občutljivost plošče za spremembo zračne vlažnosti in s tem krivljenje plošče pa lahko zmanjšamo tudi z uporabo druge vrste lepila. UF-lepilo, ki ga najpogosteje uporabljamo, ker je najcenejše in obenem najbolj občutljivo za vlago, lahko zamenjamo z MF- ali PF-lepilom, kar zelo izboljša lastnosti plošče v spreminjajoči se klimi.

Lynam (1959) in Plath (1963) sta z eksperimenti dokazala, da je gostotni profil najvišji v zunanjem sloju plošče ter da proti srednjemu delu počasi upada.

Walter in Wiechmann (1961) pa sta izpostavila, da višina gostotnega profila v zunanjem sloju iverne plošče, poveča mehaske lastnosti plošče.

4 MATERIALI IN METODE

4.1 MATERIALI

Za izdelavo diplomske naloge smo v laboratorijskih pogojih izdelali 20 trislojnih ivernih plošč, velikih 500 x 500 x 16 mm. Zanje smo uporabljali 2 različna tipa lepil, urea- in melamin-formaldehidno lepilo, in 5 različnih faktorjev oblepljanja. Iveri smo dobili neposredno iz proizvodnje, zato smo jim morali vedno pred izdelavo izmeriti vlago.

4.1.2 Les

Iverni plošči daje osnovno značilnost iverje, ki ga proizvajamo s posebnimi stroji. Način proizvodnje iverja določajo številni dejavniki:

- vrsta surovine: glede na homogenost jo lahko direktno režemo v iverje oziroma jo moramo predhodno drobiti, kadar surovina ni homogena;
- kakovost in vrsta iverne plošče;
- proizvodni postopek.

Glede na uporabnost proizvajamo predvsem trislojne iverne plošče, za katere ločeno proizvajamo iverje za zunanji in srednji sloj. Zunanji, tanjši sloj proizvajamo iz bolj ali manj enotne surovine v enofazni proizvodnji, ki jo direktno režemo v iverje. Srednji, debelejši sloj pridobivamo predvsem iz heterogenih lesnih ostankov, ki jih najprej predelamo v sekalnikih, v drugi fazi pa sekance režemo v iverje zahtevanih dimenzij. V naših raziskavah smo uporabili ploščato mešano iverje, ki smo ga dobili neposredno iz proizvodnje.

Sestava iverja:

- listavci 75 %
- iglavci 25 %

4.1.3 Lepilo

Lepilo je skupaj z lesno surovino glavna komponenta ivernih plošč in pomembno vpliva na mehanske lastnosti, kakovost in ekonomičnost proizvodnje. Njegova naloga je, da ob prisotnosti visoke temperature in tlaka zlepi iverje. V industriji ivernih plošč se je najbolj uveljavilo urea-formaldehidno lepilo, in sicer zaradi dobrih lastnosti, predvsem pa zaradi bolj ali manj nizke cene v primerjavi z drugimi lepili. Količina porabljenega lepila je odvisna od geometrije iverja; splošno je nekoliko večja pri iverju, ki je pripravljeno iz lesa listavcev. Količina porabljenega lepila v proizvodnji ivernih plošč se preračunava na osnovi količine absolutno suhega iverja. Porabo običajno podajamo s faktorjem oblepljanja, ki je v odstotkih izraženo razmerje med količino dozirane suhe substance lepila in količinsko enoto absolutno suhega iverja. Za trislojno iverno ploščo je faktor oblepljanja 11–13 % za zunanji sloj in 7–9 % za srednji sloj. Lepilna mešanica je pripravljena iz lepila, parafinske emulzije, utrjevalca, zadrževalnika in vode. Pri oblepljanju iverja poskušamo doseči neprekinjen lepilni film, zato

lepilo nanašamo v razpršeni obliki skozi številne šobe, ki lepilno mešanico brizgajo pod pritiskom 1,5–2 bara, medtem ko lopatice omogočajo dobro mešanje iverja.

Pri izvedbi naloge smo uporabili lepilno mešanico urea- in melamin-formaldehidnega lepila, ki smo jo zmešali po točno določenem receptu.

- **Priprava UF-lepila**

Uporabili smo UF-lepilo v tekoči obliki. Lepilni mešanici za zunanji sloj smo dodali vodo in parafin (60 % emulzija), lepilni mešanici za notranji sloj pa smo poleg vode in parafina dodali utrjevalec NH_4Cl . Utrjevalec smo dodali, da bi pospešili postopek utrjevanja, saj srednji sloj ni v neposrednem stiku z grelno ploščo, zato utrjevanje dlje traja. Zmešali smo ga z destilirano vodo v takšnem razmerju, da je nastala 20 % raztopina NH_4Cl . Razmerje pri pripravi lepila smo določali s pomočjo elektronske tehtnice. Lepilo smo pripravili po predpisanem receptu vsakokrat posebej, saj smo hoteli, da je lepilna mešanica vedno sveže pripravljena. Lepilno mešanico smo zmešali v majhni čaši z očiščeno stekleno palčko.

- **Priprava MF-lepila**

Uporabili smo MF-lepilo v tekoči obliki. Lepilni mešanici za zunanji sloj smo dodali vodo in parafin (60 % emulzija), lepilni mešanici za notranji sloj pa smo poleg vode in parafina dodali utrjevalec NH_4Cl . Utrjevalec smo dodali, da bi pospešili postopek utrjevanja, saj srednji sloj ni v neposrednem stiku z grelno ploščo, zato utrjevanje dlje traja. Zmešali smo ga z destilirano vodo v takšnem razmerju, da je nastala 20 % raztopina NH_4Cl . Razmerje pri pripravi lepila smo določali s pomočjo elektronske tehtnice. Lepilo smo pripravili po predpisanem receptu vsakokrat posebej, saj smo hoteli, da je lepilna mešanica vedno sveže pripravljena. Lepilno mešanico smo zmešali v majhni čaši z očiščeno stekleno palčko.

4.2 METODE DELA

4.2.1 Izdelava ivernih plošč

V laboratoriju za iverna in lesna tvoriva smo izdelali trislojne iverne plošče, velike 500 x 500 x 16mm. Za izdelavo smo uporabljali ploščato iverje, mešanico iglavcev in listavcev. Pred izdelavo smo mu morali vedno izmeriti vlažnost, zaradi faktorja oblepljanja. Vlažnost smo merili tako, da smo v čašo natehtali 10 g iverja za zunanji sloj in mu izmerili vlažnost; enako smo storili z iverjem za notranji sloj. Za merjenje smo uporabili napravo MOISTURE METER / BALANCE UM 200, ki deluje na gravimetrijskem principu (slika 2). Nato smo na navadni tehtnici natehtali zahtevano količino iverja za zunanji in notranji sloj plošče. V stroj za oblepljanje smo stresli natehtano količino iverja za zunanji sloj plošče in mu dodali lepilno mešanico ter pustili mešati 5 min; enako smo storili z iverjem za notranji sloj. Na ravno železno ploščo smo postavili plast posebnega papirja, odpornega proti visoki temperaturi, nanjo položili kalup v velikosti 500 x 500 mm in približno 200 mm višine. Oblepljeno iverje smo ročno natresli v kalup. Natresali smo čim bolj enakomerno in v vseh treh slojih (SL–CL–SL). Pogačo smo še ročno stisnili, da je bila bolj trdna. Na koncu smo na njen vrh položili še plast papirja in jo postavili v stiskalnico. Kot distančnik za končno debelino plošče smo uporabili 2 železni letvi (debeline 16 mm + debelina spodnje natresne pločevine), da smo preprečili, da bi se plošči preveč približali. Pogoji za izdelavo plošč so bili:

- čas stiskanja 4 minute;

- tlak stiskanja 90 barov;
- temperatura stiskanja zgornje plošče stiskalnice je bila 180 °C, temperatura spodnje plošče pa 190 °C.



Slika 1: Naprava za merjenje vlažnosti iverja

4.2.2 Merjenje temperature

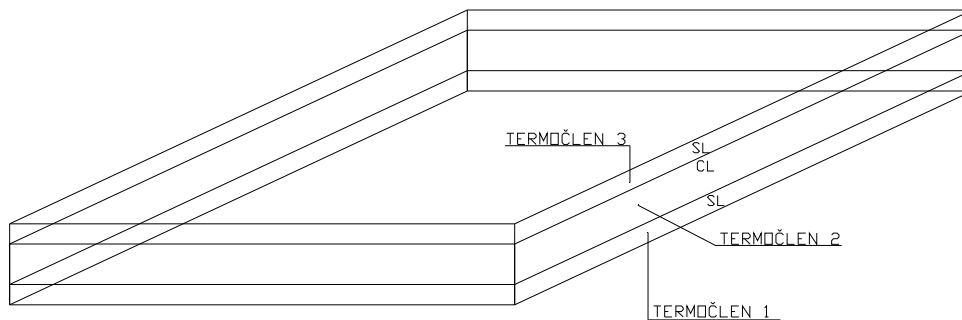
Merili smo spremembo temperature med stiskanjem ivernih plošč in spremembo gostotnega profila po debelini plošče glede na različen faktor oblepljanja.



Slika 2: AGILENT 34970A, naprava za merjenje temperature

Med izdelavo ivernih plošč oz. med stiskanjem v stiskalnici smo merili tudi temperaturo segrevanja plošče. Merili smo jo z napravo AGILENT 34970A Data acquisition/switch unit (slika 1) in po metodi s termočleni. Merjenje temperature s termočleni je ena od najpomembnejših električnih metod merjenja temperature, ki se uporablja zelo široko, od kriogenih temperatur z nekaj K pa vse do temperature 2600 °C. Glavna pomanjkljivost termočlenov pa je bolj ali manj šibek izhodni signal. Mi smo uporabljali termočlen tipa "J", ki je sestavljen iz železa (Fe) in konstantana ($\text{Cu}_{60}\text{Ni}_{40}$). Na začetku smo z nožem prerezali skupno vlaknasto oblogo in ločili oba vodnika. Iz posameznih vodnikov smo odstranili izolacijo ter ju zvili v navoj tako, da smo dobili točko sklenitve. Navoj smo ovili z lepilnim trakom in ga vstavili v pogačo. Termočleni so bili povezani prek Data acquisition / switch unit (AGILENT 34970A), ki je v časovnem zaporedju ene sekunde izmeril dejansko temperaturo ter shranil podatke v program VEE PRO 7.0. Podatke smo po končani meritvi obdelali in dobili graf temperature v odvisnosti od časa. Uporabljali smo tri termočlene, ki smo jih

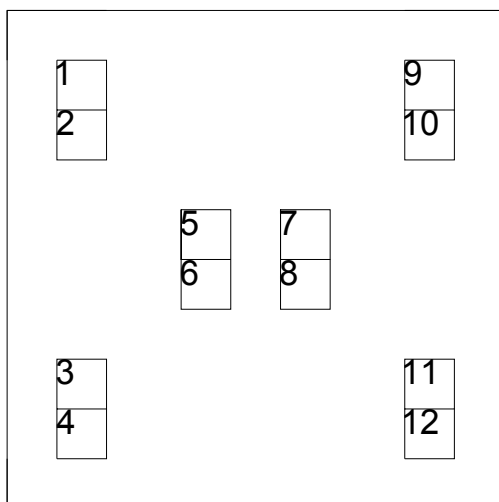
vstavili med natresanjem pogače, in sicer na spodnji zunanji sloj plošče, sredino srednjega sloja plošče in začetek zgornjega zunanjskega sloja plošče, kot prikazuje slika 3:



Slika 3: Razporeditev termočlenov v plošči med stiskanjem

4.2.3 Porazdelitev gostote

Za merjenje porazdelitev gostote oz. gostotnega profila smo uporabili 120 vzorcev velikosti 50 x 50 x 16 mm, ki smo jih razžagali na formatnem krožnem žagalnem stroju iz 20 ivernih plošč.



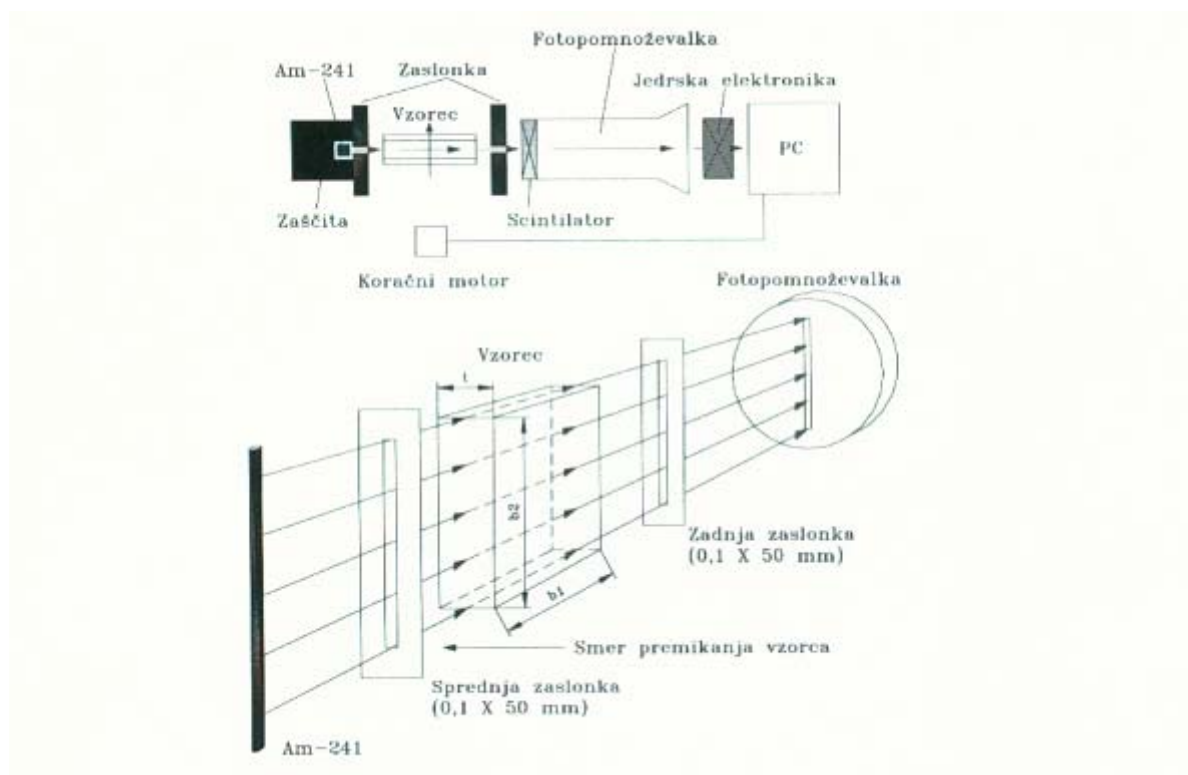
Slika 4: Shema razžaganja

Gostotni profil plošč smo merili z merilnikom gostotnih profilov MGP-201 na Katedri za iverna in lesna tvoriva (sl. 5).



Slika 5: Merilnik gostotnih profilov MGP-201

Naprava je zasnovana na principu presevanja vzorca z ozko usmerjenim snopom gama žarkov radioaktivnega izvora (Am^{241}), ki imajo energijo 60 keV in aktivnost 3,7 GBq. Vir sevanja je nameščen v svinčnem ovoju. Žarki potujejo proti vzorcu in fotopomnoževalki skozi zaslonki z režo, široko 0,1 mm in visoko 50 mm. Ko žarki potujejo skozi vzorec, se v njem delno absorbirajo, zaradi česar pade njihova intenziteta. Preostali žarki v fotopomnoževalki s scintilatorjem povzročijo elektronski plaz, ki ga obdelamo z jedrsko elektroniko in shranimo v računalniku za nadaljnjo obdelavo. Izmerjena intenziteta žarkov, ki pridejo skozi vzorec, je merilo za prostorninsko maso vzorca na izbranem mestu. Vzorec koračno premikamo s hitrostjo 0,1 mm/s in vsako sekundo izmerimo gostoto, tako da dobimo celoten gostotni profil.



Slika 6: Shema merilnika gostotnih profilov MGP-201 (Benedičič, 2007)

5 REZULTATI

V preglednici 1 so predstavljeni vsi podatki in parametri, ki smo jih uporabili pri izdelavi ivernih plošč.

Preglednica 1: Parametri pri izdelavi ivernih plošč

Plošča	Tip lepila	Iverje [%]		Fak.obl. [%]		P.E. [%]		Utrjevalec [%]		U _{iv.} [%]		U _{obl.iv.} [%]	
		ZS	SS	ZS	SS	ZS	SS	ZS	SS	ZS	SS	ZS	SS
C	UF	40,00	60,00	10,00	7,50	1,00	1,00	0,000	0,275	1,04	0,69	10,60	7,48
Č	UF	40,00	60,00	10,00	7,50	1,00	1,00	0,000	0,275	1,04	0,69	10,60	7,48
D	UF	40,00	60,00	11,50	7,50	1,00	1,00	0,000	0,275	1,06	1,29	10,60	7,39
E	UF	40,00	60,00	11,50	7,50	1,00	1,00	0,000	0,275	1,06	1,29	10,60	7,39
F	UF	40,00	60,00	13,00	7,50	1,00	1,00	0,000	0,275	1,06	1,29	10,40	7,39
G	UF	40,00	60,00	13,00	7,50	1,00	1,00	0,000	0,275	1,06	1,29	10,40	7,39
H	UF	40,00	60,00	13,00	6,00	1,00	1,00	0,000	0,275	1,11	0,65	8,72	7,60
I	UF	40,00	60,00	13,00	6,00	1,00	1,00	0,000	0,275	1,11	0,65	8,72	7,60
J	UF	40,00	60,00	11,50	9,00	1,00	1,00	0,000	0,275	2,83	3,06	9,39	7,47
K	UF	40,00	60,00	11,50	9,00	1,00	1,00	0,000	0,275	2,83	3,06	9,39	7,47
L	UF	40,00	60,00	11,50	7,50	1,00	1,00	0,000	0,275	1,95	1,49	10,70	8,08
M	UF	40,00	60,00	11,50	7,50	1,00	1,00	0,000	0,275	1,95	1,49	10,70	8,08
N	MF	40,00	60,00	10,00	7,50	1,00	1,00	0,000	0,275	2,07	2,16	10,05	7,22
O	MF	40,00	60,00	10,00	7,50	1,00	1,00	0,000	0,275	2,07	2,16	10,05	7,22
P	MF	40,00	60,00	13,00	7,50	1,00	1,00	0,000	0,275	2,07	2,16	11,60	8,07
R	MF	40,00	60,00	13,00	7,50	1,00	1,00	0,000	0,275	2,07	2,16	11,60	8,07
S	MF	40,00	60,00	11,50	6,00	1,00	1,00	0,000	0,275	3,48	2,88	9,22	7,87
Š	MF	40,00	60,00	11,50	6,00	1,00	1,00	0,000	0,275	3,48	2,88	9,22	7,87
T	MF	40,00	60,00	11,50	9,00	1,00	1,00	0,000	0,275	3,48	2,88	10,70	8,27
U	MF	40,00	60,00	11,50	9,00	1,00	1,00	0,000	0,275	3,48	2,88	10,70	8,27

V preglednici 2 so podani časi, pri katerih je prenehalo linerano naraščanje temperature.

Preglednica 2: Dosežen čas pri prenehanju linearne naraščanja temperature ter prikaz naklonskih kotov gostotnih profilov, ki so nastali med stiskanjem ivernih plošč.

Oznaka plošče	Tip lepila	Čas [s]			Naklonski kot [°]	
		ZS _{sp}	ZS _{zg}	SS	Sp.	Zg.
C	UF	65	25	98	47	50
D, E	UF	83,5	24,5	102,5	49	47
F, G	UF	61	19	105,5	44,5	44
H, I	UF	85,5	21	112,5	50,5	47,5
J, K	UF	70	26,5	113	44,5	42,5
L, M	UF	61,5	19,5	101,5	50	48
N, O	MF	84	20	104	47,5	48,5
P, R	MF	55	16,5	95	53,5	52,5
S, Š	MF	104	20	114	48	48,5
T, U	MF	53,5	23,5	99	54	50

V spodnji preglednici so podane povprečne vrednosti časov, kjer je prenehalo linearno naraščanje temperature glede na različen faktor oblepljanja.

Preglednica 3: Dosežene povprečne vrednosti posameznih plošč glede na faktor oblepljanja

Oznaka plošče	Tip lepila	Povprečni čas (s)		Pov. naklonski koti [°]		Pov. faktor obl. (%)	
		ZS _{zg.}	SS	Sp.	Zg.	ZS	SS
C	UF	25	98	47	50	10,00	7,50
D, E	UF	24,5	102,5	49	47	11,50	7,50
F, G	UF	19	105,5	44,5	44	13,00	7,50
H, I	UF	21	112,5	50,5	47,5	13,00	6,00
J, K	UF	26,5	113	44,5	42,5	11,50	9,00
L, M	UF	19,5	101,5	50	48	11,50	7,50
N, O	MF	20	104	47,5	48,5	10,00	7,50
P, R	MF	16,5	95	53,5	52,5	13,00	7,50
S, Š	MF	20	114	48	48,5	11,50	6,00
T, U	MF	23,5	99	54	50	11,50	9,00

V preglednici 4 so podane povprečne vrednosti časov in temperatur, pri katerih je prenehalo linerano naraščanje temperatur.

Preglednica 4: Dosežena čas in temperatura pri prenehanju linearne naraščanja temperature med stiskanjem ivernih plošč

Oznaka plošče	Tip lepila	Čas [s]			Temp. [°C]		
		ZS _{sp.}	ZS _{zg.}	SS	ZS _{sp.}	ZS _{zg.}	SS
C	UF	56	26	95	100,26	105,50	101,18
D, E	UF	64,5	19,5	94,5	93,85	101,20	99,15
F, G	UF	45	17	103	92,46	101,58	104,97
H, I	UF	54	17	104,5	93,93	97,91	103,75
J, K	UF	47,5	23	85,5	93,31	100,89	95,46
L, M	UF	39,5	17,5	96,5	93,14	102,30	103,22
N, O	MF	54	18,5	99	94,35	100,29	99,99
P, R	MF	40,5	15,5	76,5	93,55	101,78	98,91
S, Š	MF	67,5	18	107,5	87,42	100,05	98,87
T, U	MF	34,5	22,5	94	92,12	102,59	100,11

Preglednica 5: Dosežena povprečna čas in temperatura glede na različen faktor oblepljanja

Oznaka plošče	Tip lepila	Povprečni čas (s)		Povprečna temp. [°C]		Pov. faktor obl. (%)	
		ZS _{zg.}	SS	ZS _{zg.}	SS	ZS	SS
C	UF	26	95	105,50	101,18	10,00	7,50
D, E	UF	19,50	94,50	101,20	99,15	11,50	7,50
F, G	UF	17	103	101,58	104,97	13,00	7,50
H, I	UF	17	104,50	97,91	103,75	13,00	6,00
J, K	UF	23	85,50	100,89	95,46	11,50	9,00
L, M	UF	17,50	96,50	102,30	103,22	11,50	7,50
N, O	MF	18,50	99	100,29	99,99	10,00	7,50
P, R	MF	15,50	76,50	101,78	98,91	13,00	7,50
S, Š	MF	18	107,50	100,05	98,87	11,50	6,00
T, U	MF	22,50	94	102,59	100,11	11,50	9,00

Za oba tipa lepil smo določili tudi njune parametre: iztočni čas lepila, pH lepila, vsebnost suhe snovi, čas želiranja in pH iverja. Rezultati so razvidni iz naslednjih preglednic.

pH lepila smo opravili s pH metrom, ki je obenem meril temperaturo lepila. Rezultati te raziskave nam povedo, ali je lepilo kislo ali bazično oz. celo nevtralnno. pH lepila vpliva na utrjevanje lepila.

Preglednica 6: pH in temperatura lepil UF in MF

pH LEPILA				
tip lepila	UF-lepilo		MF-lepilo	
št. meritev	pH	temp. (°C)	pH	temp. (°C)
1	7,70	21,60	9,05	23,10
2	7,39	21,70	9,12	22,60
3	7,46	21,70	9,17	22,50
pov. vrednost	7,52	21,67	9,11	22,73

Razlik v temperaturi lepila, kot lahko vidimo, skorajda ni oz. je razlika 1,06 °C, kar je zanemarljivo. Razlika se pokaže pri pH lepila. Očitno je urea-formaldehidno lepilo povprečno precej bolj nevtralnno kot melamin-formaldehidno lepilo, ki je bolj bazično.

Pri merjenju vsebnosti suhe snovi v lepilu smo najprej ovili stekla z aluminijasto folijo in jih stehali, nato smo vanje vlili 2 g lepila in jih za 2 uri položili v sušilnik pri 120 °C. Po dveh urah smo stekla vzeli iz sušilnika, počakali, da so se ohladila, nato smo jih ponovno stehali. Z razliko v masah smo dobili vsebnost suhe snovi v lepilu, saj so hlapne komponente lepila izhlapele.

Preglednica 7: Vsebnost suhe snovi urea- in melamin-formaldehidnega lepila

VSEBNOST SUHE SNOVI		
tip lepila	UF-lepilo	MF-lepilo
št. meritev	vsebnost suhe snovi (%)	vsebnost suhe snovi (%)
1	68,00	67,00
2	66,60	66,30
3	67,50	66,30
pov. vrednost	67,00	67,00

Suha snov v lepilu nam pove, koliko lepila v lepilni mešanici bo utrnilo. Rezultati nam pokažejo, da je v povprečju vsebnost suhe snovi v obeh lepilih enaka.

Iztočni čas lepila smo določali s Fordovo čašo, katere volumen je 100 ml, premer reže pa 4 mm.

Preglednica 8: Iztočni čas urea- in melamin-formaldehidnega lepila

IZTOČNI ČAS LEPILA		
tip lepila	UF-lepilo	MF-lepilo
št. meritev	čas (s)	čas (s)
1	84,13	51,93
2	84,97	50,82
3	85,49	49,70
pov. vrednost	84,86	50,82

Iz rezultatov je razvidno, da je iztočni čas urea-formaldehidnega lepila precej daljši kot iztočni čas melamin-formaldehidnega lepila, kar pomeni, da je UF-lepilo precej gostejše kot MF-lepilo.

Pri ugotavljanju časa želiranja lepila smo morali pripraviti lepilno mešanico, ki je bila za oba tipa lepila enaka: 56 g lepila + 8 g utrjevalca (4 g NH_4Cl + 16 g dest. H_2O). Čas želiranja dosežemo tako, da lepilno mešanico segrevamo v vroči vodni kopeli – ko dosežemo pravo temperaturo, se lepilna mešanica spremeni v gel. Zanima nas, v kolikšnem času bomo to dosegli.

Preglednica 9: Čas želiranja urea- in melamin-formaldehidnega lepila

ČAS ŽELIRANJA LEPILA		
tip lepila	UF-lepilo	MF-lepilo
št. meritev	čas (s)	čas (s)
1	79,77	100,17
2	76,53	98,21
3	77,55	97,14
pov. vrednost	77,95	98,51

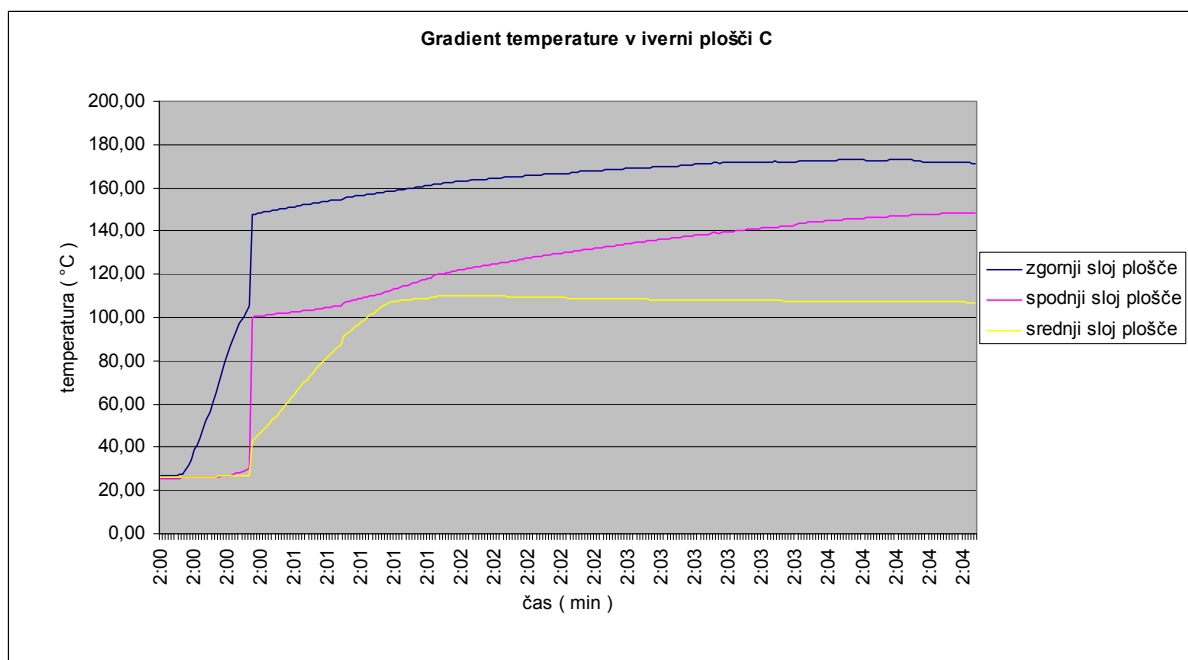
Razvidno je, da urea-formaldehidno lepilo precej hitreje doseže točko, ko se mešanica spremeni v gel, kot melamin-formaldehidno lepilo. Načelno je UF-lepilo hitrejše pri utrjevanju, vendar imata obe lepili točko utrditve pri 100–120 °C.

Pri ugotavljanju pH iverja smo v čašo natehtali 25 g iverja za zunanji in srednji sloj ter ga prelili s 300 ml destilirane H_2O . Iverje smo pustili v vodi 24 ur, nato smo jim izmerili pH z isto napravo, s katero smo izmerili pH lepila.

Preglednica 10: pH iverja in temperatura raztopine

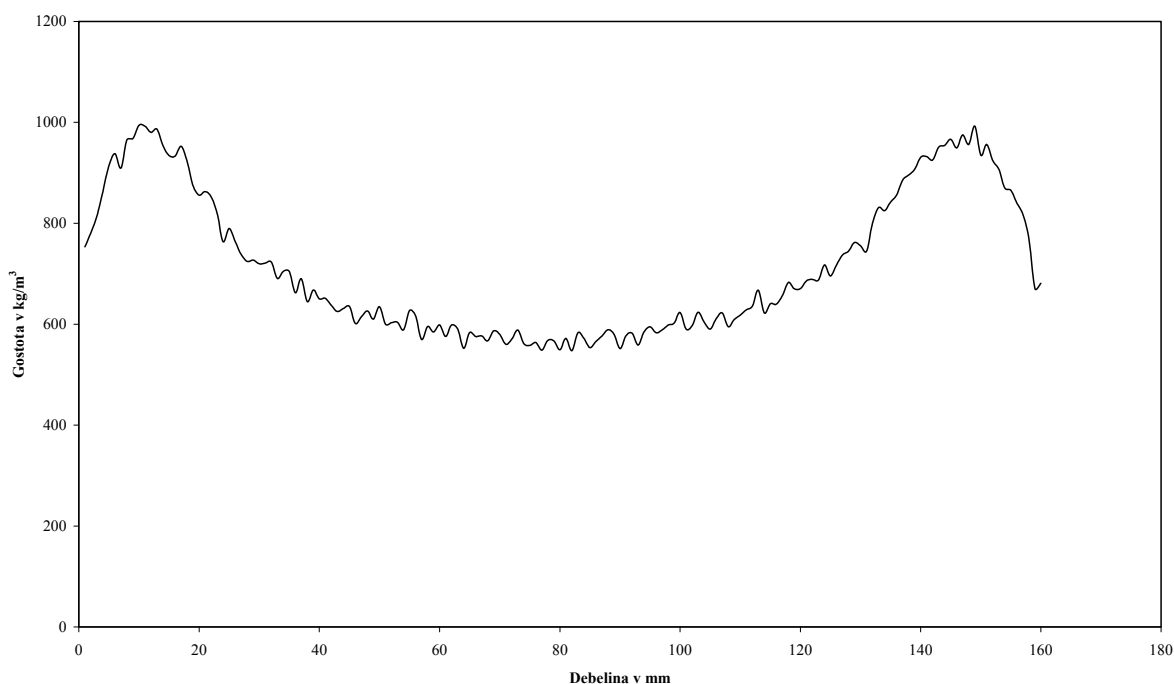
pH IVERJA				
tip iverja	ZUNANJI SLOJ		SREDNJI SLOJ	
št. meritev	pH	temp. (°C)	pH	temp. (°C)
1	7,72	22,80	7,30	22,20
2	7,56	22,70	7,14	22,40
3	7,49	22,80	7,10	22,50
pov. vrednost	7,59	22,67	7,18	22,37

Iz preglednice 10 je razvidno, da je pH iverja zunanjega sloja skoraj enak pH-ju iverja srednjega sloja oziroma je razlika zanemarljivo majhna. Tudi pri temperaturi raztopine ni razlik. Razvidno pa je tudi, da je pH urea-formaldehidnega lepila enak pH-ju zunanjega in srednjega sloja iverja. V našem primeru pH iverja nima ključnega pomena, saj smo uporabljali le dve vrsti iverja. pH iverja je pomemben le, če uporabljamo več vrst iverja.



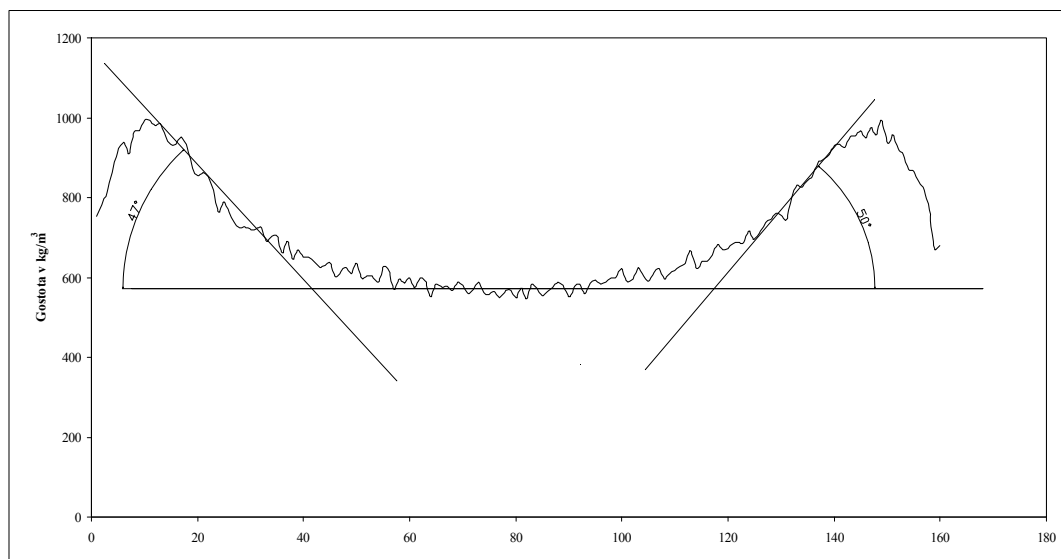
Slika 7: Gradient temperature v iverni plošči C

Iz slike 7 je dobro razvidno, da temperatura v zgornjem in spodnjem sloju hitreje narašča kot temperatura v srednjem sloju. Na začetku temperatura v zgornjem sloju strmo naraste do približno 140 °C, kjer se umiri in počasi narašča do končne temperature 180 °C. V spodnjem sloju se prvih 45 sekund nič ne dogaja, po 45 sekundah pa začne temperatura strmo naraščati do 100 °C, kjer se zopet umiri in konstantno raste do 150 °C. V sredini plošče se skoraj minuto po zaprtju stiskalnice nič ne dogaja, po določenem času pa začne temperatura počasi in konstantno naraščati do 110 °C.



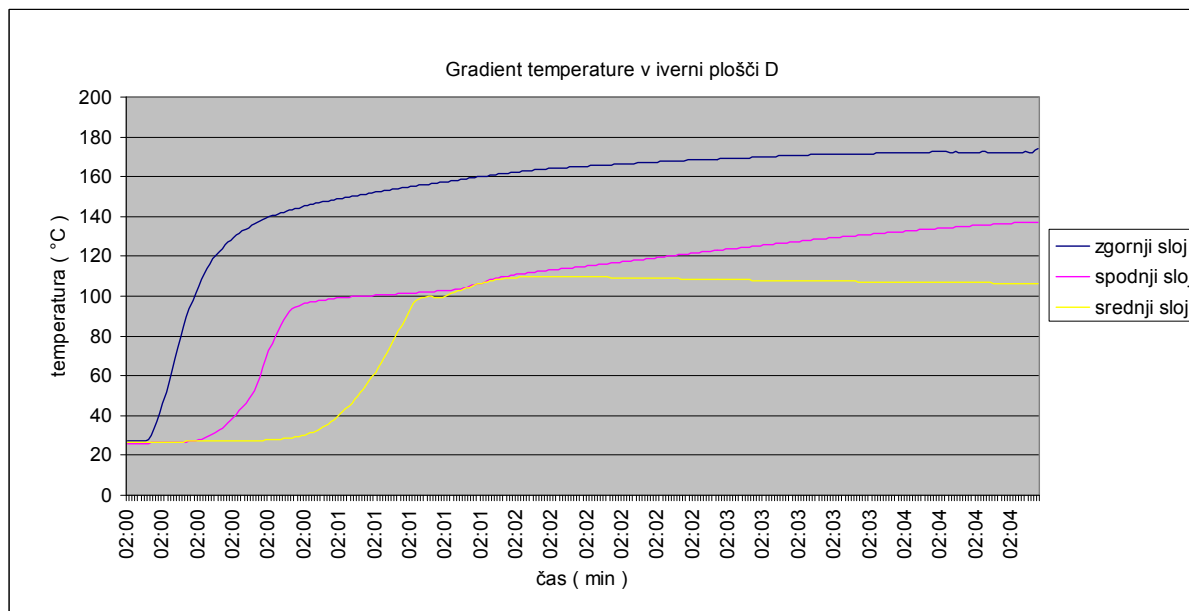
Slika 8: Gostotni profil iverne plošče C

Na sliki 8 lahko vidimo, da je izmerjeni gostotni profil plošče C v zunanjem sloju med 750 in 1000 kg/m³ ter 550 in 750 kg/m³ v srednjem sloju. Debelina plošče je bila 160 mm.



Slika 9: Naklonski koti gostotnega profila v plošči C

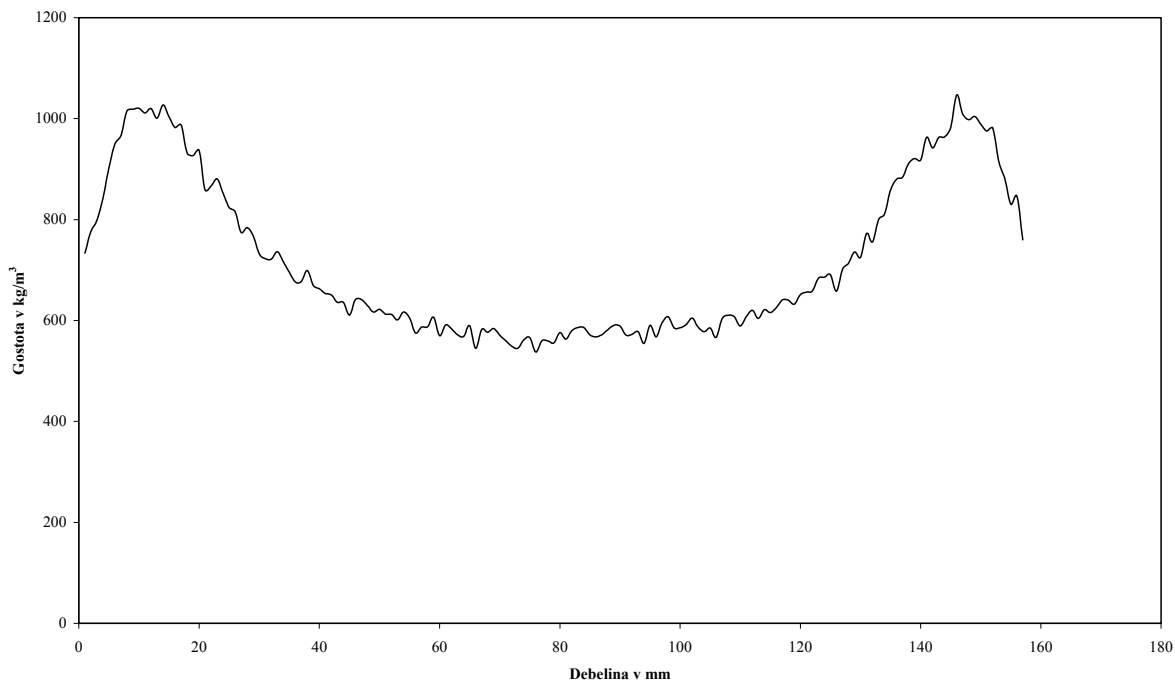
Z merjenjem naklonskih kotov gostotnega profila smo dokazali, da je temperatura približno enako naraščala tako v zgornjem kot v spodnjem sloju plošče. Slika 9 nam to tudi prikazuje, saj vidimo, da je razlika v kotih minimalna. Debelina plošče je bila 160 mm.



Slika 10: Gradient temperature v iverni plošči D

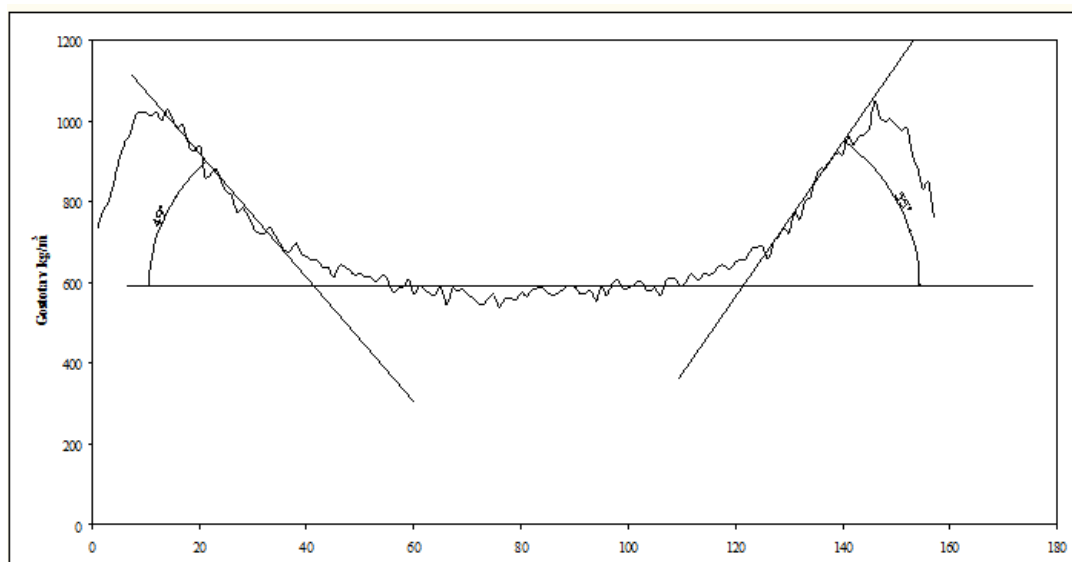
Na sliki 10 vidimo, da začne temperatura v zgornjem sloju strmo naraščati takoj po zaprtju stiskalnice in da v približno 30 sekundah doseže temperaturo 120 °C. Tam se umiri in počasi narašča do 170 °C. V spodnjem sloju se prvih 45 sekund nič ne dogaja, nato pa

temperatura strmo naraste na 100 °C, kjer se zopet umiri in konstantno narašča do 140 °C. V srednjem sloju se minuto po zaprtju stiskalnice nič ne dogaja, potem pa začne temperatura strmo naraščati do 100 °C, kjer se umiri in do konca stiskanja doseže 107 °C.



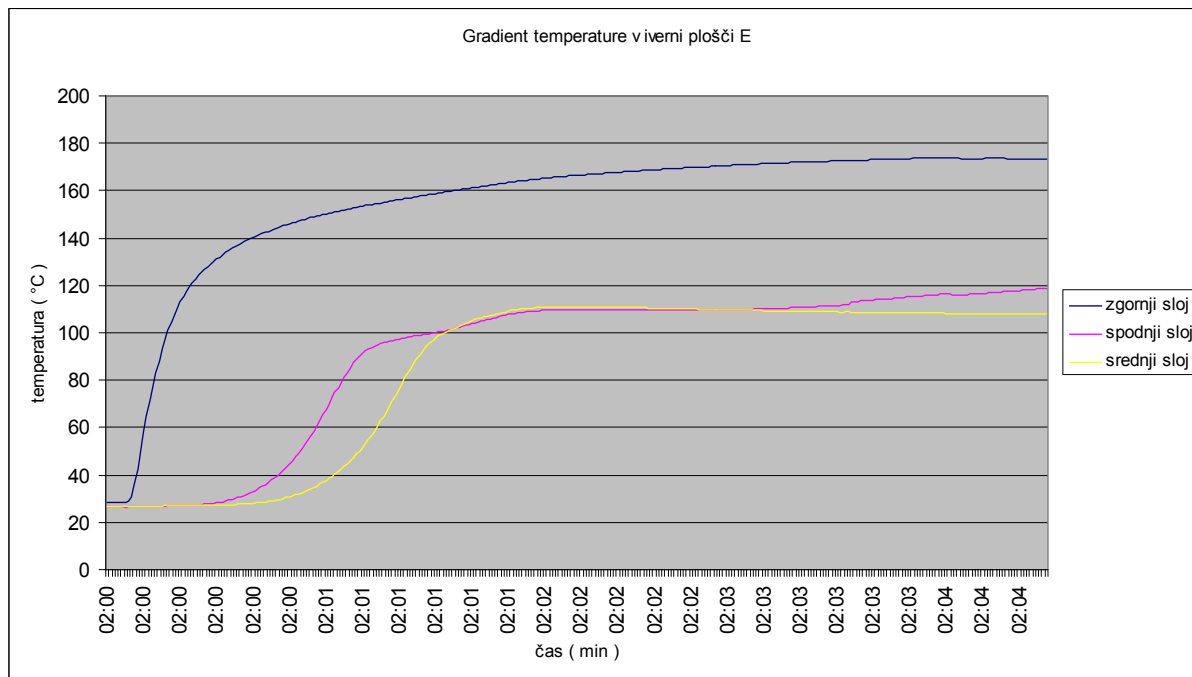
Slika 11: Gostotni profil iverne plošče D

Na sliki 11 lahko vidimo, da je gostotni profil zunanega sloja plošče D med 730 in 1050 kg/m³, srednjega sloja pa med 540 in 730 kg/m³. Debelina plošče je bila 160 mm.



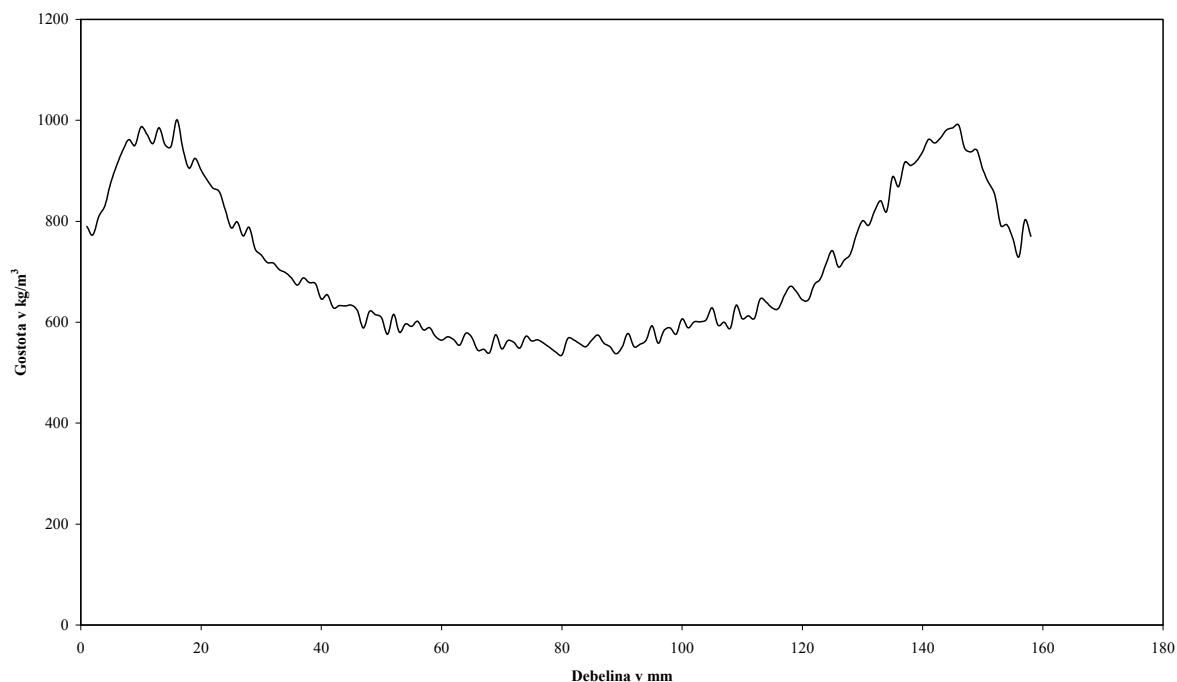
Slika 12: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče D

Na sliki 12 lahko vidimo, da je naklonski kot zgornjega sloja malo bolj strm, in sicer 55°, medtem ko je pri spodnjem sloju kot 49°. To nam pove, da je temperatura v zgornjem sloju rahlo hitreje naraščala kot temperatura v spodnjem.



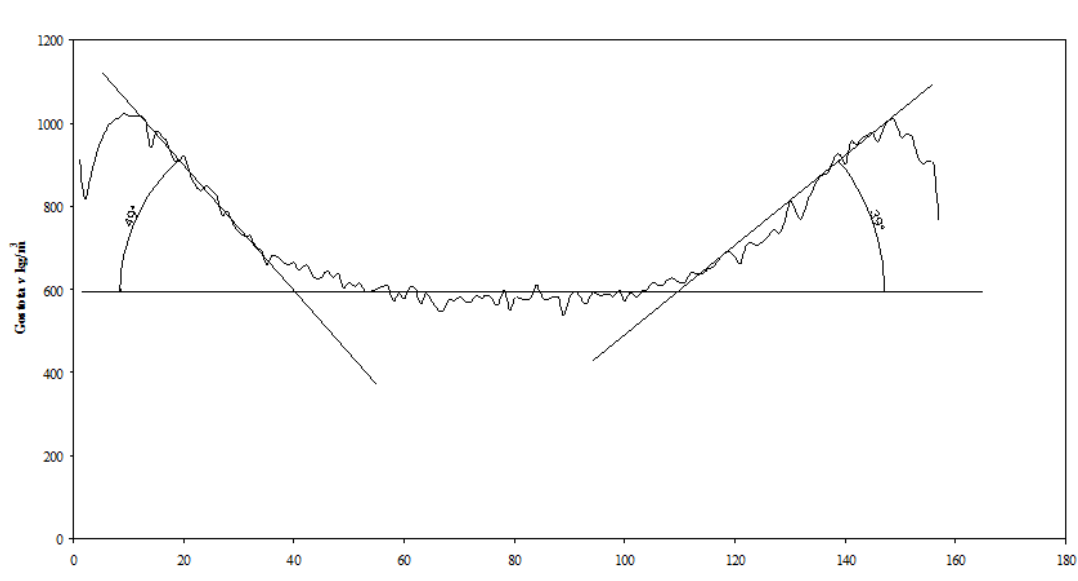
Slika 13: Gradient temperature v iverni plošči E

Na sliki 13 vidimo, da temperatura takoj po zaprtju stiskalnice strmo naraste do približno 120 °C. Na tej točki se umiri in konstantno, počasi narašča do približno 170 °C. V spodnjem sloju se prvih 45 sekund ne dogaja nič, nato pa temperatura strmo naraste na približno 100 °C, kjer se umiri in nato do konca stiskanja počasi naraste do 120 °C. V srednjem sloju se približno minuto po zaprtju stiskalnice ne dogaja nič, potem pa začne temperatura konstantno naraščati do 100 °C, kjer se umiri in počasi doseže približno 110 °C, ki jih ohrani vse do odprtja stiskalnice.



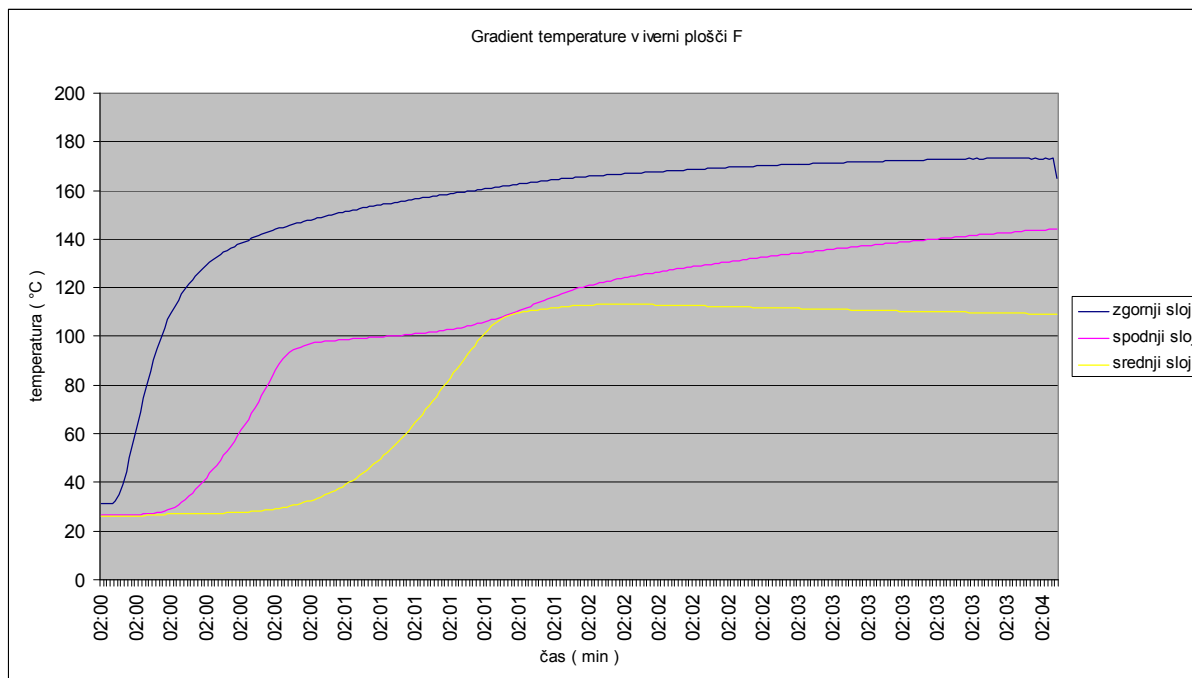
Slika 14: Gostotni profil plošče E

Na sliki 14 lahko vidimo, da je izmerjeni gostotni profil plošče E v zunanjem sloju med 770 in 1000 kg/m³, v srednjem sloju pa med 530 in 770 kg/m³. Debelina plošče je bila 160 mm.



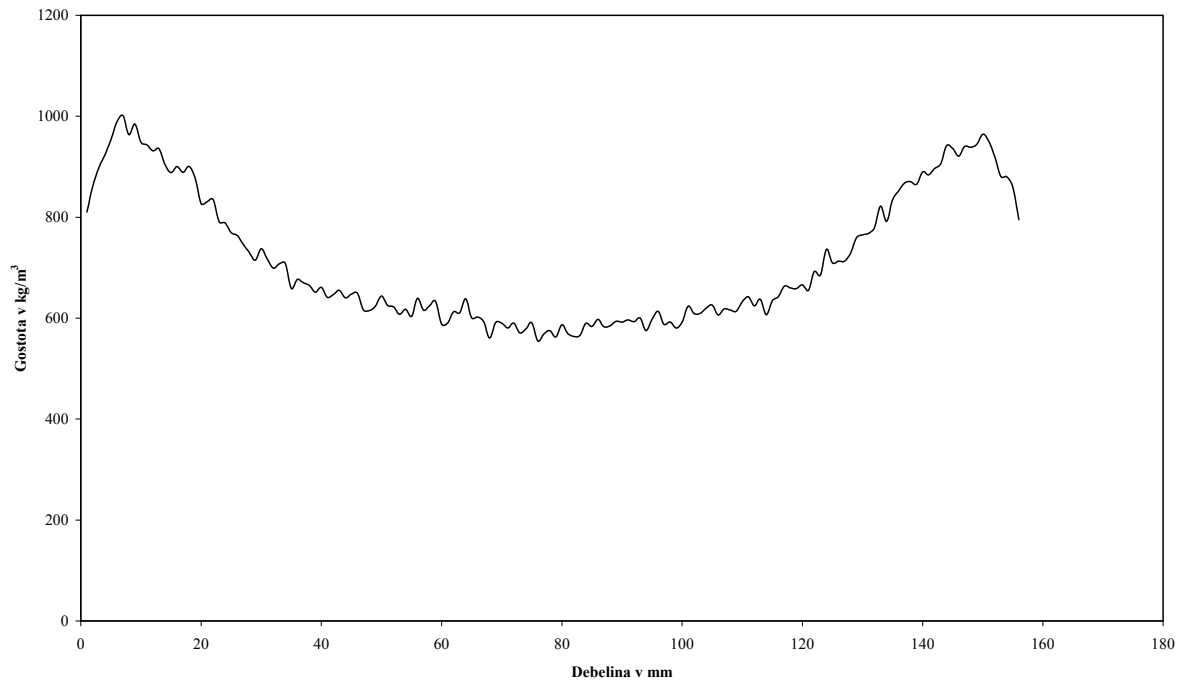
Slika 15: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče E

Na sliki 15 vidimo, da je naklonski kot profila za zgornji sloj 39°, za spodnji pa 49°. Razlika je 10°, kar pomeni, da bi morala v tem primeru temperatura v spodnjem sloju hitreje naraščati kot v zgornjem sloju plošče. To pa se seveda ni zgodilo. Predvidevamo lahko, da je prišlo do napake, in sicer porušitve termočlenov med premikom tepiha k stiskalnici.



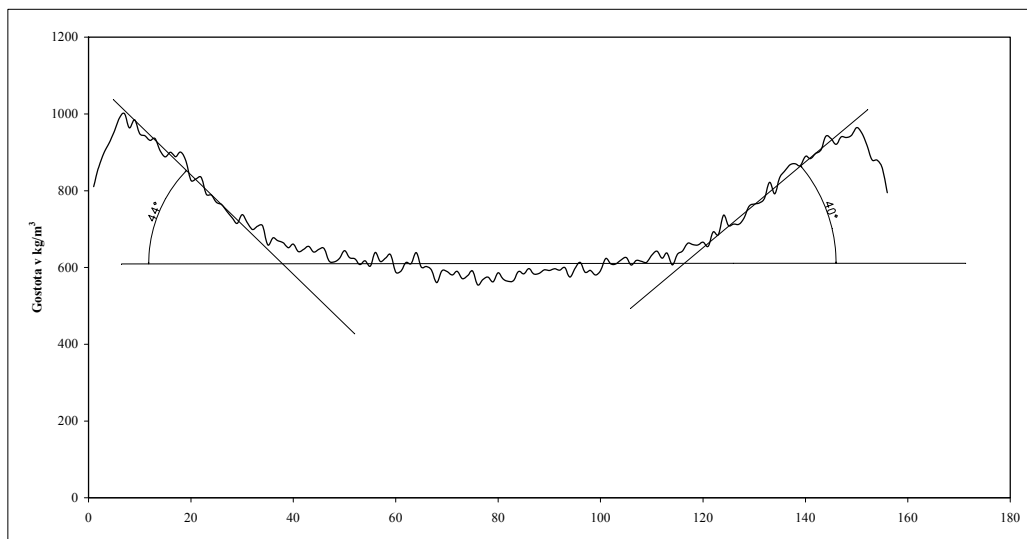
Slika 16: Gradient temperature v iverni plošči F

Kot prikazuje slika 16, vidimo, da temperatura v zgornjem sloju takoj po zaprtju stiskalnice strmo naraste na približno 120 °C, potem pa konstantno narašča do približno 170 °C. V spodnjem sloju se prvih 30 sekund nič ne dogaja, nato pa temperatura strmo naraste do približno 100 °C, kjer se umiri in počasi narašča do približno 140 °C. V srednjem sloju se skoraj minuto po zaprtju stiskalnice nič ne dogaja, potem pa začne temperatura strmo naraščati do približno 105 °C, kjer se umiri in ostane takšna do odprtja stiskalnice.



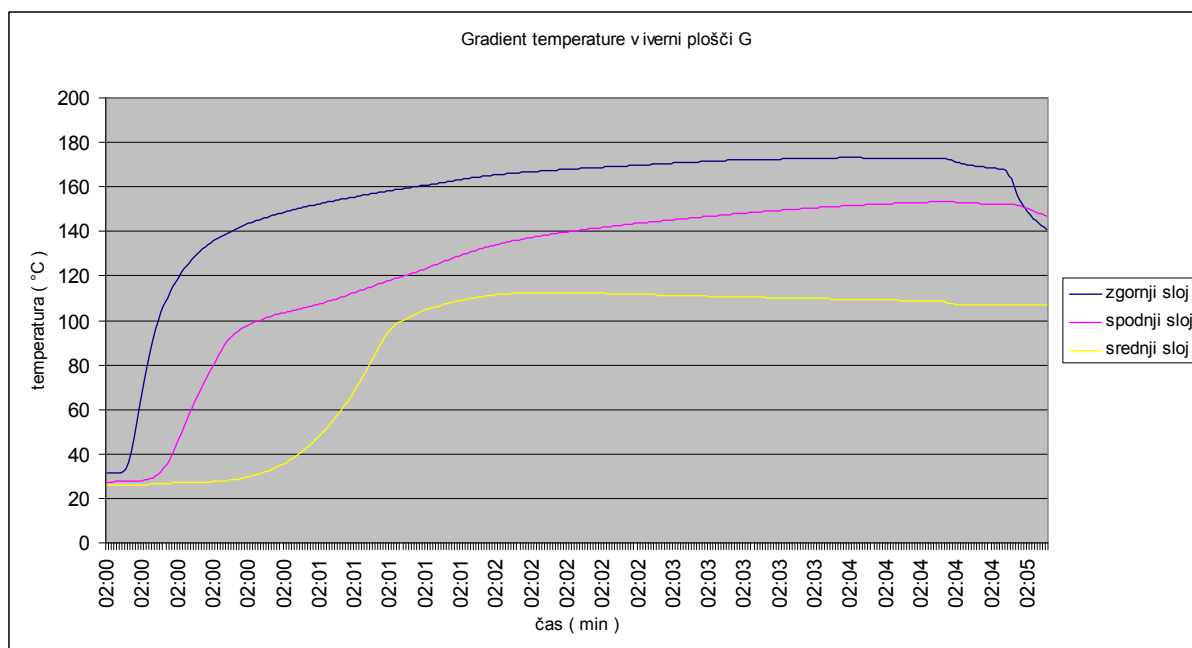
Slika 17: Gostotni profil iverne plošče F

Na sliki 17 lahko vidimo, da je izmerjeni gostotni profil zunanjega sloja med 800 in 1000 kg/m³, srednjega sloja pa med 550 in 800 kg/m³. Debelina plošče je bila 160 mm.



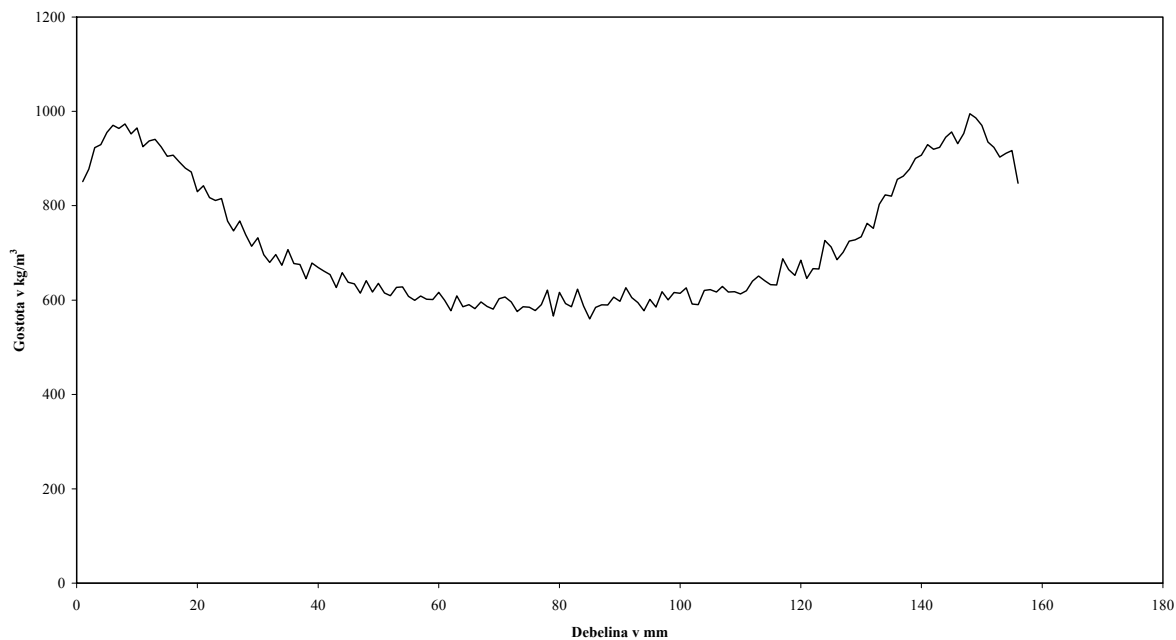
Slika 18: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče F

Na sliki 18 vidimo, da je razlika med obema naklonskima kotoma zanemarljiva (4°), kar pomeni, da je temperatura zgornjega in spodnjega sloja naraščala približno enako hitro.



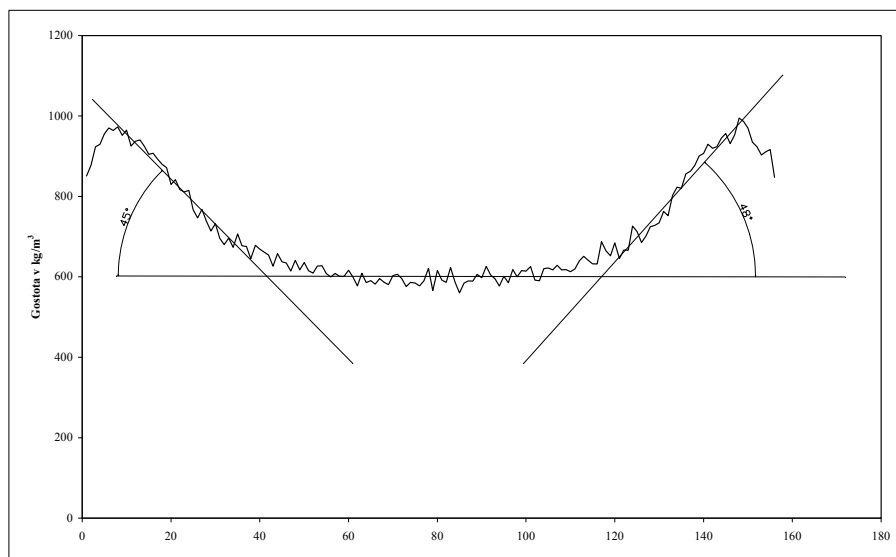
Slika 19: Gradient temperature v iverni plošči G

Na sliki 19 vidimo, da temperatura v zgornjem sloju takoj po zaprtju stiskalnice strmo naraste na približno 110°C , od tu pa je njeno naraščanje bolj umirjeno in konstantno. V spodnjem sloju se prvih 20 sekund nič ne dogaja, nato temperatura strmo naraste na 100°C . Do konca stiskanja, torej do temperature 150°C , pa narašča vidno počasneje. V srednjem sloju se skoraj minuto po zaprtju stiskalnice nič ne dogaja, potem pa začne temperatura strmo naraščati do 100°C , kjer se umiri in do konca stiskanja počasi doseže 110°C .



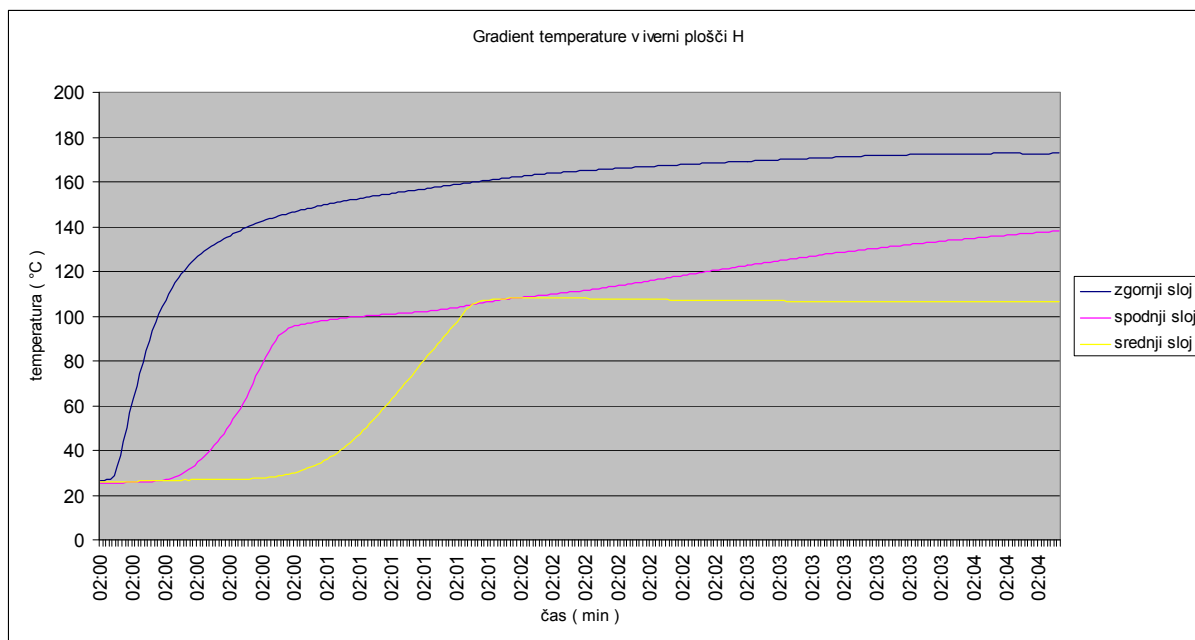
Slika 20: Gostotni profil iverne plošče G

Pri merjenju gostotnega profila vzorcev plošče G smo ugotovili, da je za zunanji sloj med 850 in 1000 kg/m^3 , za srednji sloj pa med 560 in 850 kg/m^3 . Debelina vzorca je bila 160 mm.



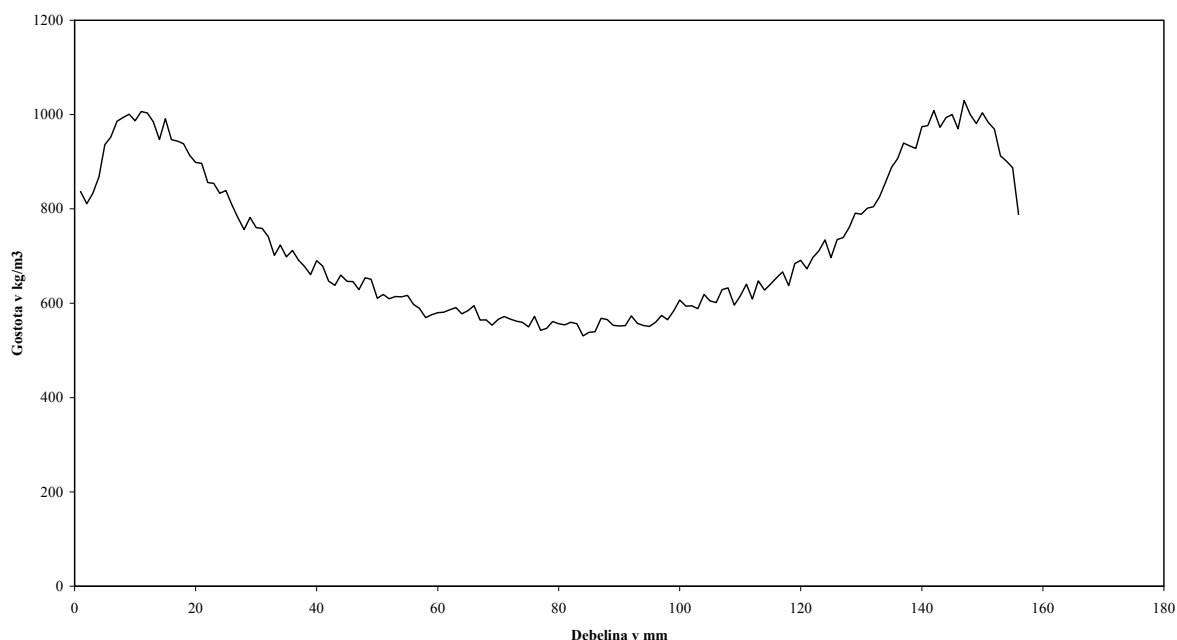
Slika 21: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče G

Na sliki 21 vidimo, da je razlika med naklonskima kotoma gostotnega profila zanemarljiva, kar pomeni, da sta temperaturi zgornjega in spodnjega sloja približno enako naraščali. Malce hitreje je naraščala temperatura v zgornjem sloju plošče.



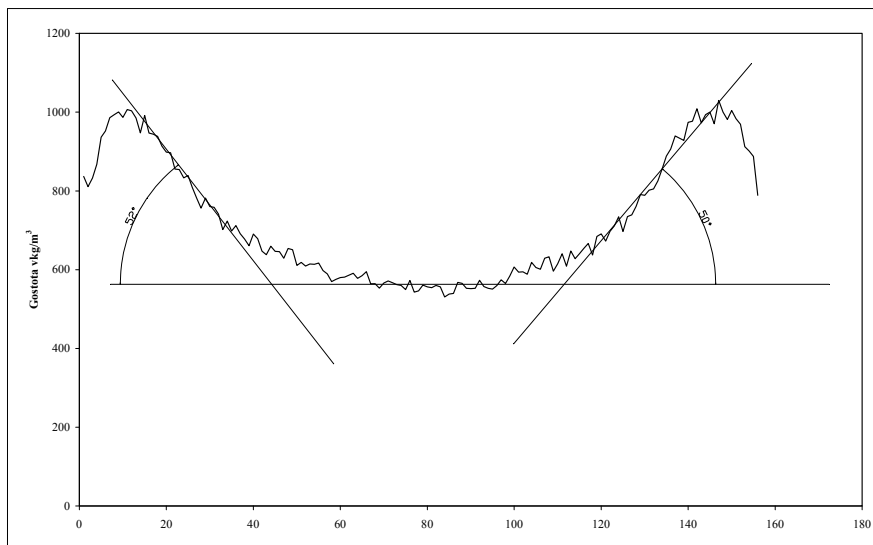
Slika 22: Gradient temperature v iverni plošči H

Na sliki 22 vidimo, da temperatura v zgornjem sloju plošče skokovito naraste do 120 °C takoj po zaprtju stiskalnice. Tu se umiri in do konca stiskanja počasi doseže končno temperaturo 170 °C. V spodnjem sloju se približno prvih 30 sekund nič ne dogaja, nato temperatura strmo naraste do približno 100 °C. Na tej točki se umiri in do konca stiskanja počasi doseže temperaturo 140 °C. V srednjem sloju vidimo, da se s temperaturo približno minuto po stiskanju nič ne dogaja, po približno eni minuti pa strmo naraste do 100 °C, kakršna ostane do konca stiskanja.



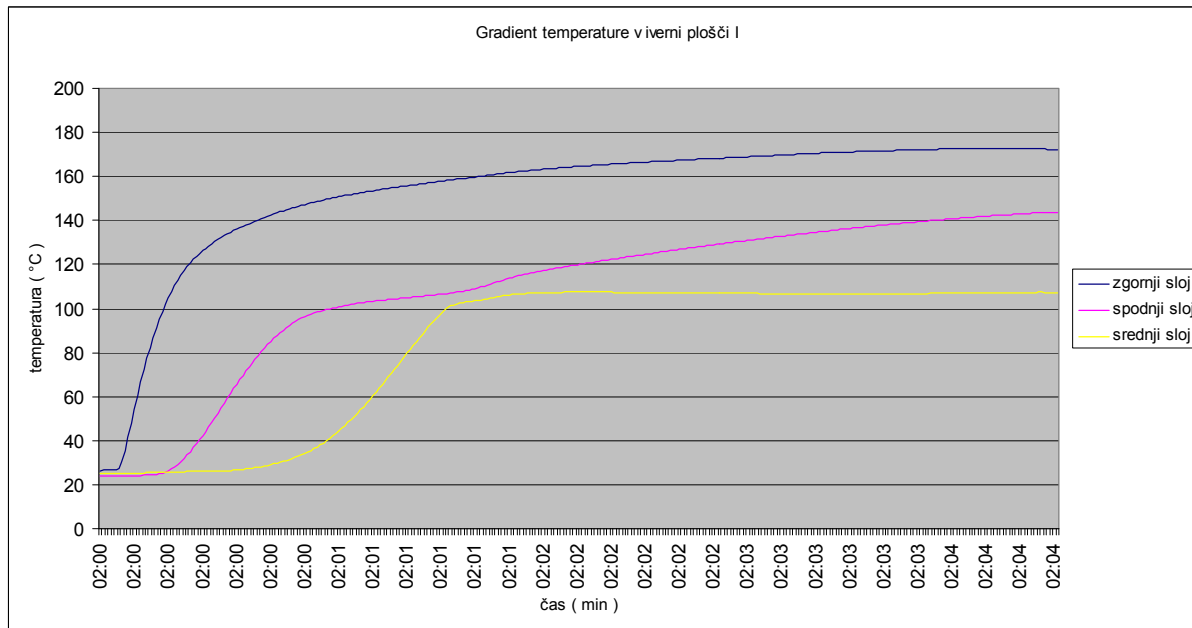
Slika 23: Gostotni profil iverne plošče H

Pri merjenju gostotnega profila vzorcev plošče H smo ugotovili, da je v zunanjem sloju med 810 in 1030 kg/m³, v srednjem sloju pa med 530 in 810 kg/m³. Debelina plošče je bila 160 mm.



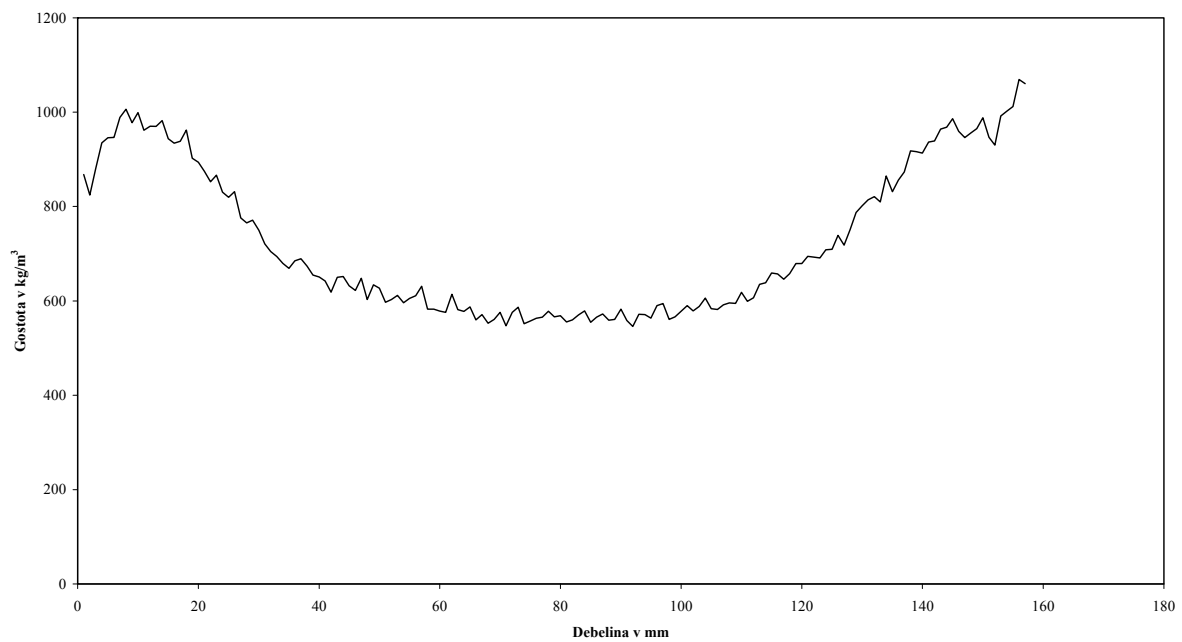
Slika 24: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče H

Na sliki 24 vidimo, da je razlika med naklonskima kotoma zanemarljiva, kar pomeni, da sta temperaturi v obeh slojih naraščali približno enako hitro.



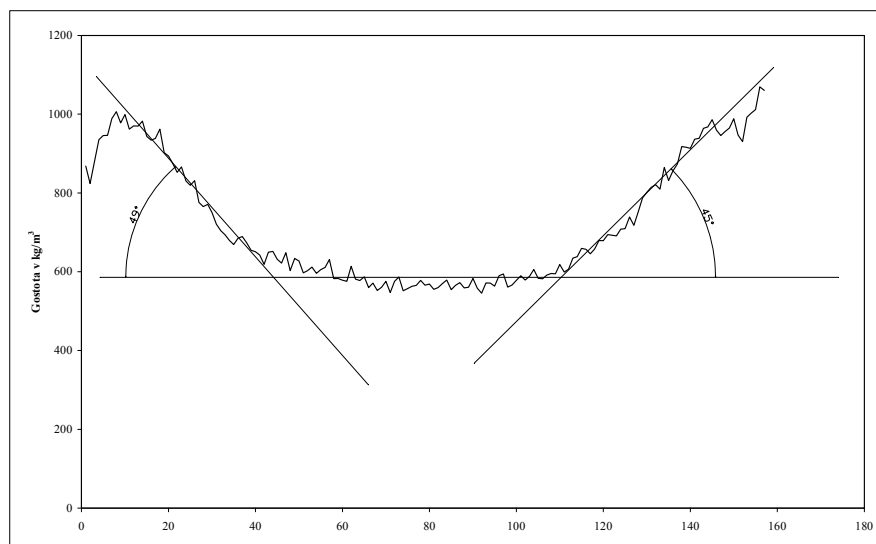
Slika 25: Gradient temperature v iverni plošči I

Na sliki 25 vidimo, da temperatura zgornjega sloja tako kot v prejšnjih primerih strmo naraste do približno 120 °C takoj po zaprtju stiskalnice, do konca stiskanja pa potem počasi doseže temperaturo 170 °C. Tudi v spodnjem sloju je enako. Približno prvih 30 sekund se ne dogaja nič, nato temperatura strmo naraste na približno 100 °C, kjer se umiri in do konca stiskanja počasi narašča do 140 °C. V srednjem sloju se približno minuto po zaprtju stiskalnice nič ne dogaja, potem pa temperatura strmo naraste na 105 °C, kjer ostane do konca stiskanja.



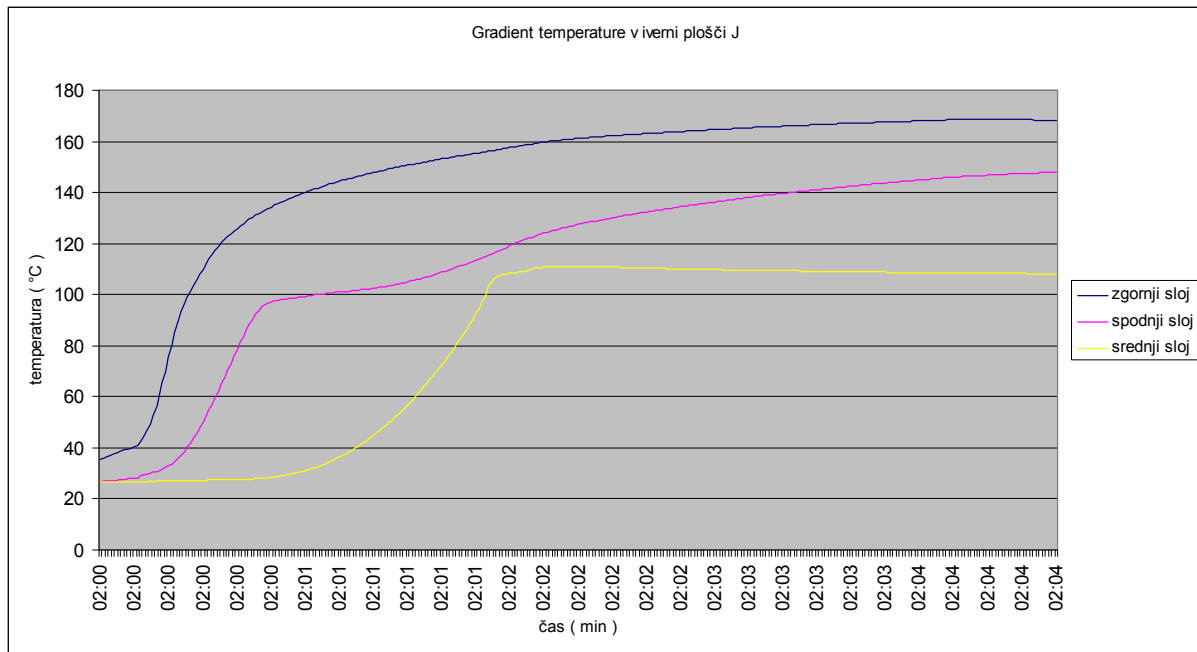
Slika 26: Gostotni profil iverne plošče I

Pri merjenju gostotnega profila vzorcev plošče I smo ugotovili, da je v zunanjem sloju med 820 in 1070 kg/m³, v srednjem sloju pa med 540 in 820 kg/m³. Debelina plošče je bila 160 mm.



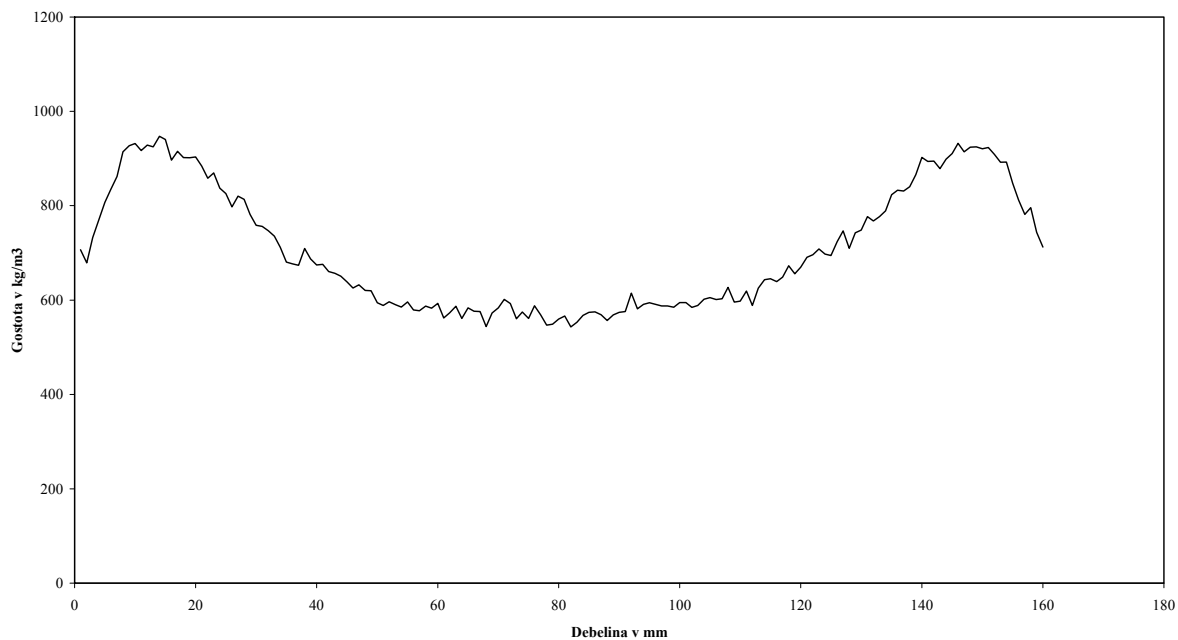
Slika 27: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče I

Na sliki 27 vidimo, da je razlika med naklonskima kotoma gostotnega profila zanemarljiva, kar pomeni, da sta temperaturi v obeh slojih naraščali približno enako hitro.



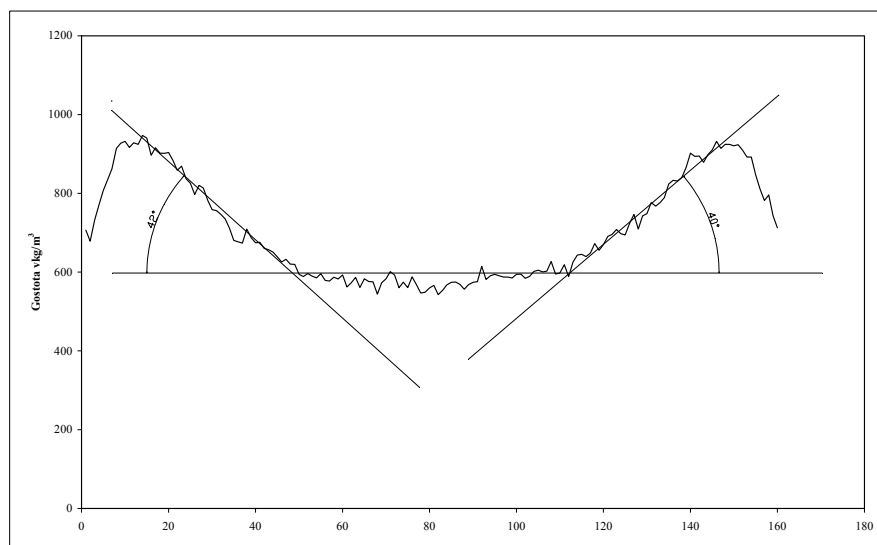
Slika 28: Gradient temperature v iverni plošči J

Na sliki 28 vidimo, da temperatura v zgornjem sloju takoj po zaprtju stiskalnice strmo naraste na približno 120 °C, potem pa počasi in konstantno naraste na 170 °C. V spodnjem sloju se približno prvih 30 sekund po zaprtju stiskalnice nič ne dogaja, nato temperatura strmo naraste na 100 °C, kjer se umiri in med nadaljnjim stiskanjem počasi naraste do končne temperature 150 °C. V srednjem sloju se minuto po zaprtju stiskalnice temperatura ne spreminja, po minuti pa strmo naraste na 110 °C, kakršna ostane do konca stiskanja.



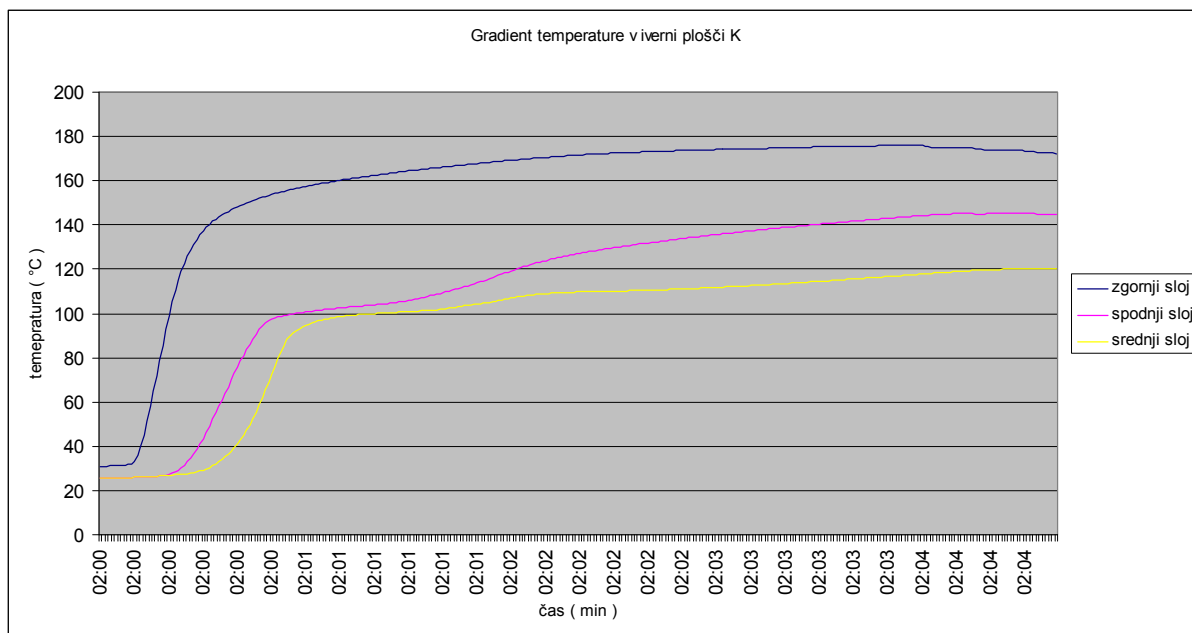
Slika 29: Gostotni profil iverne plošče J

Pri merjenju gostotnega profila vzorcev iverne plošče J smo ugotovili, da je v zunanjem sloju med 680 in 950 kg/m³, v srednjem sloju pa med 540 in 680kg/m³. Debelina plošče je bila 160 mm.



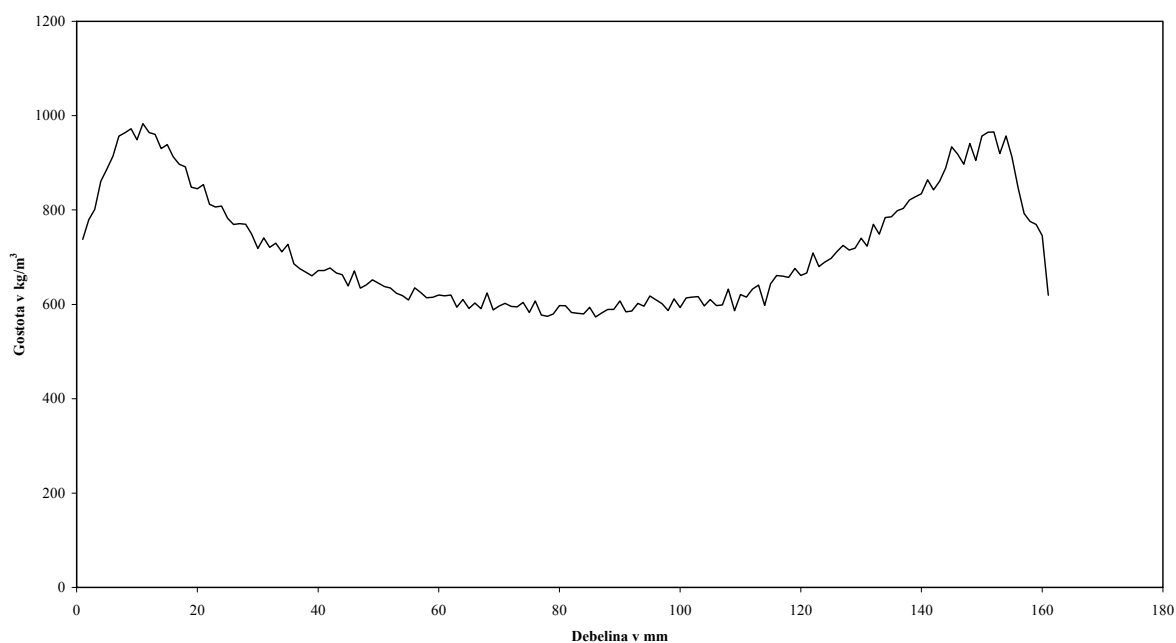
Slika 30: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče J

Na sliki 30 vidimo, da je razlika med naklonskima kotoma gostotnega profila v iverni plošči J zanemarljiva, kar pomeni, da sta temperaturi v obeh slojih naraščali približno enako hitro.



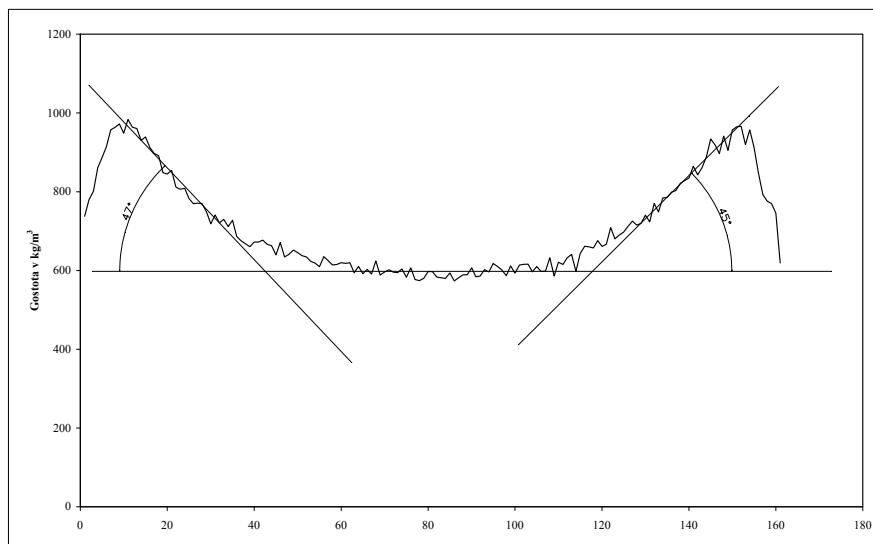
Slika 31: Gradient temperature v iverni plošči K

Na sliki 31 vidimo, da temperatura v zgornjem sloju takoj po zaprtju stiskalnice strmo naraste na približno 140 °C, potem pa počasi in konstantno na 170 °C. V spodnjem sloju se približno prvih 30 sekund po zaprtju stiskalnice nič ne dogaja, nato temperatura strmo naraste na 100 °C, kjer se umiri in med nadaljnjim stiskanjem počasi naraste do končne temperature 140 °C. V srednjem sloju se minuto po zaprtju stiskalnice temperatura ne spreminja, po minuti pa strmo naraste na 100 °C, kjer se umiri in počasi naraste do končne temperature 120 °C.



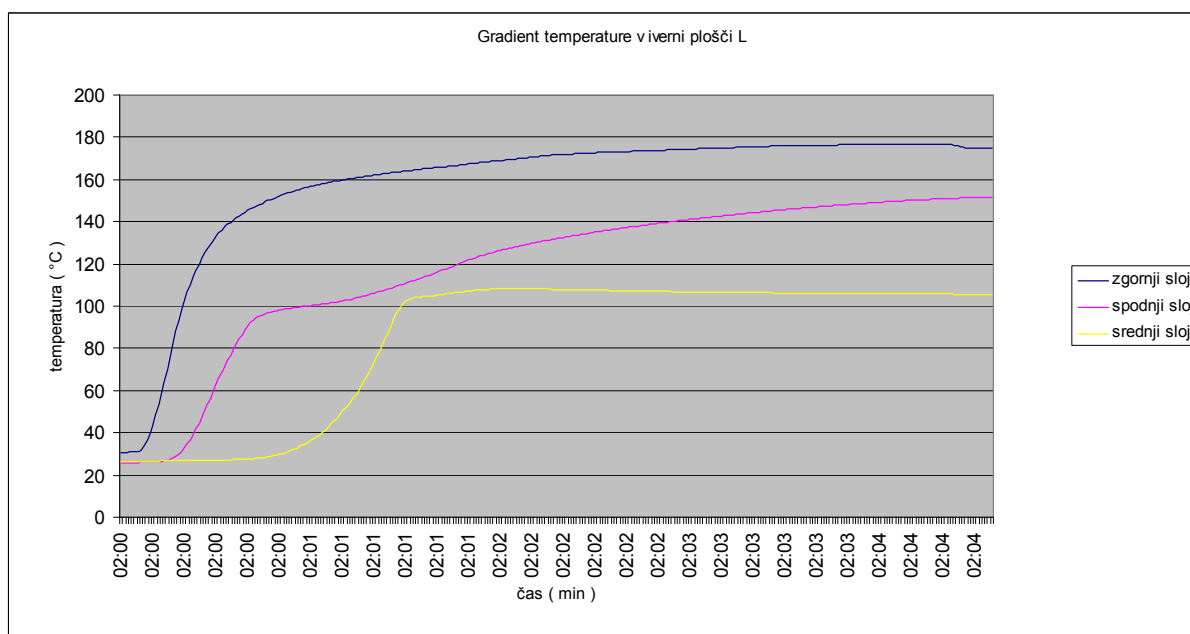
Slika 32: Gostotni profil iverne plošče K

Pri merjenju gostotnega profila vzorcev plošče K smo ugotovili, da je v zunanjem sloju med 740 in 980 kg/m³, v srednjem sloju pa med 570 in 740 kg/m³. Debelina plošče je bila 16 0mm.



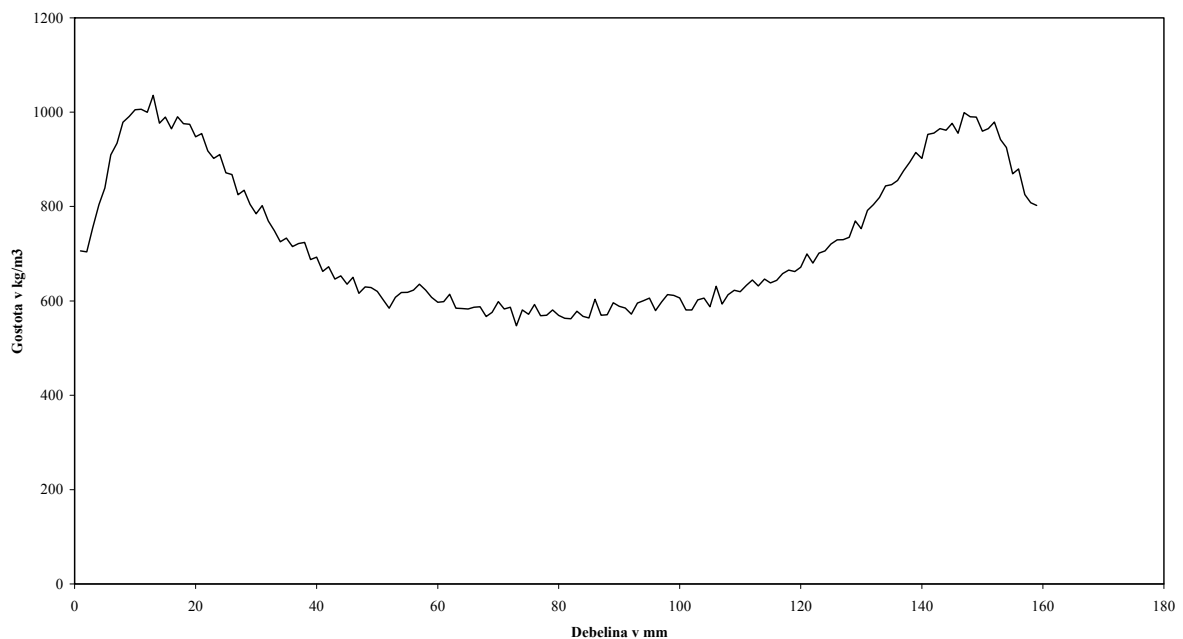
Slika 33: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče K

Na sliki 33 vidimo, da je razlika med naklonskima kotoma gostotnega profila v iverni plošči K zanemarljiva, kar pomeni, da sta temperaturi v obeh slojih naraščali približno enako hitro.



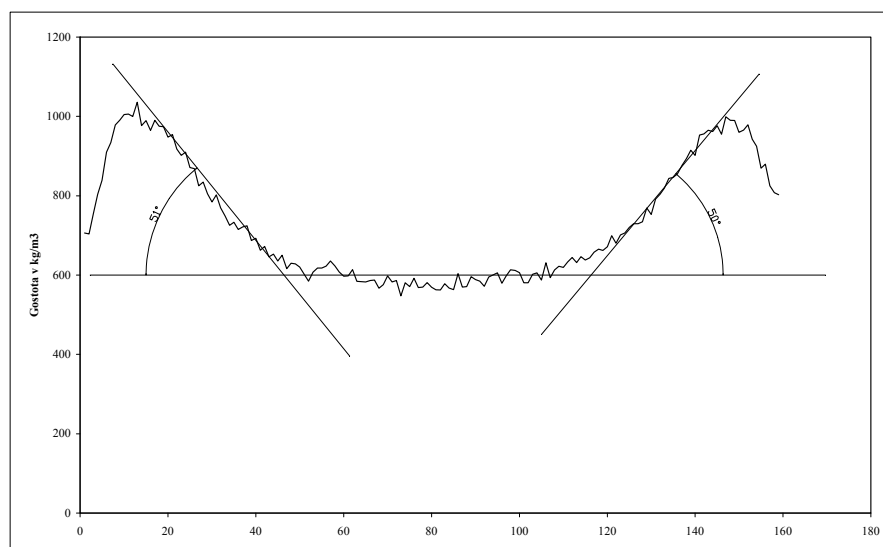
Slika 34: Gradient temperature v iverni plošči L

Na sliki 34 vidimo, da temperatura v zgornjem sloju takoj po zaprtju stiskalnice strmo naraste na približno 120 °C, potem pa počasi in konstantno na 180 °C. V spodnjem sloju se približno prvih 30 sekund po zaprtju stiskalnice nič ne dogaja, nato temperatura strmo naraste na 100 °C, kjer se umiri in med nadaljnjim stiskanjem počasi naraste do končne temperature 150 °C. V srednjem sloju se minuto po zaprtju stiskalnice temperatura ne spreminja, po minuti pa strmo naraste na 105 °C. Na tej točki ostane do konca stiskanja.



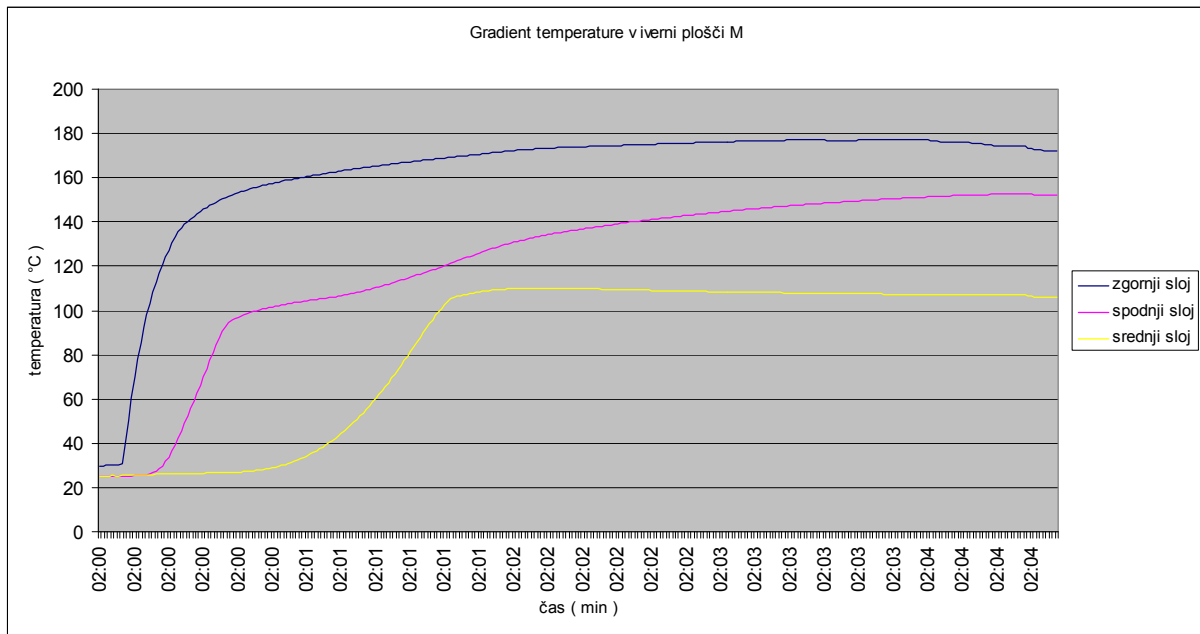
Slika 35: Gostotni profil iverne plošče L

Pri merjenju gostotnega profila vzorcev plošče L smo ugotovili, da je v zunanjem sloju med 700 in 1040 kg/m³, v srednjem pa med 550 in 700 kg/m³. Debelina plošče je bila 160mm.



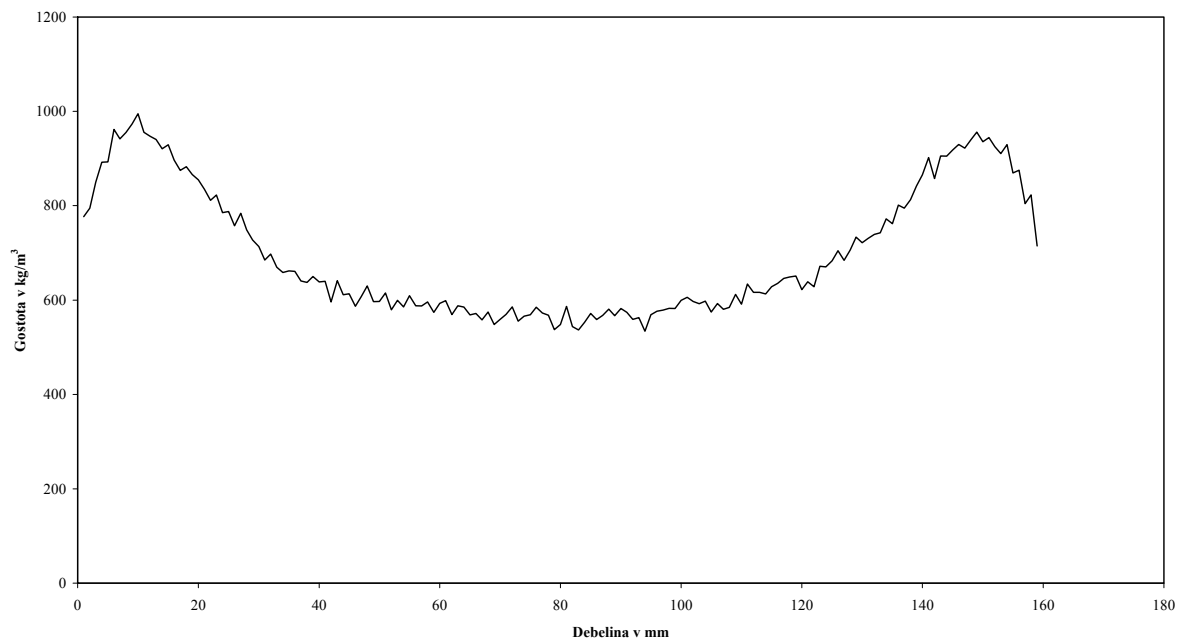
Slika 36: Naklonski koti v gostotnem profilu iverne plošče L

Tudi v tem primeru lahko trdimo, da temperaturi v zgornjem in spodnjem sloju naraščata enako hitro, kar nam prikazuje slika 36, saj lahko vidimo, da je razlika v naklonskih kotih le minimalna.



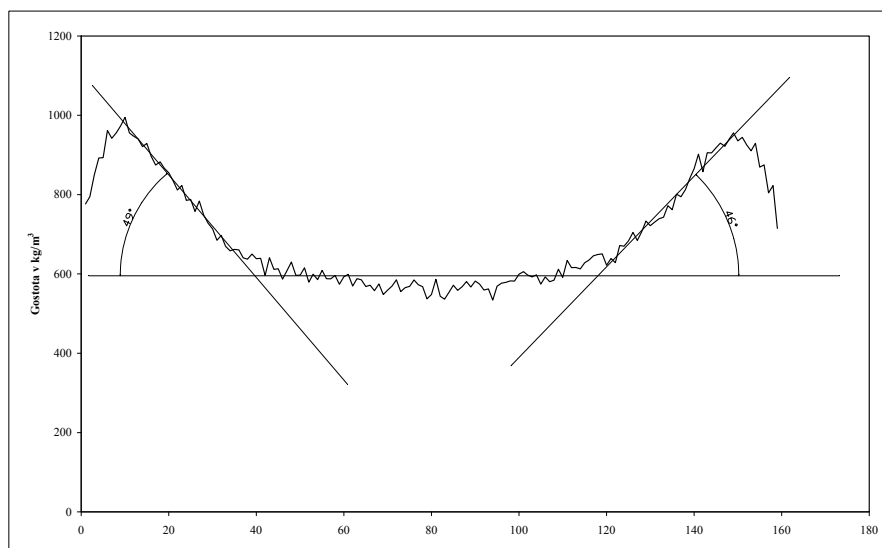
Slika 37: Gradient temperature v iverni plošči M

Na sliki 37 vidimo, da temperatura v zgornjem sloju takoj po zaprtju stiskalnice strmo naraste na približno 140 °C, potem pa počasi in konstantno na 180 °C. V spodnjem sloju se približno prvih 20 sekund po zaprtju stiskalnice nič ne dogaja, nato temperatura strmo naraste na 100 °C, kjer se umiri in med nadaljnjim stiskanjem počasi naraste do končne temperature 150 °C. V srednjem sloju se minuto po zaprtju stiskalnice temperatura ne spreminja, po minuti pa strmo naraste na 110 °C. Na tej točki ostane do konca stiskanja.



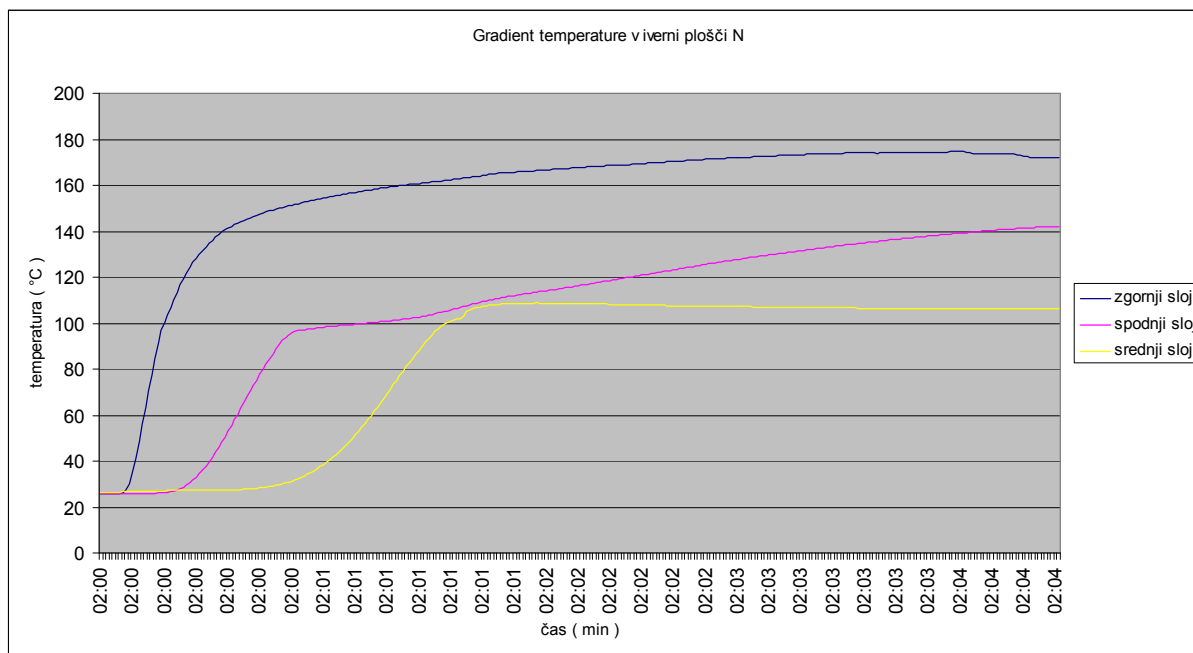
Slika 38: Gostotni profil iverne plošče M

Pri merjenju gostotnega profila vzorcev plošče M smo ugotovili, da je v zunanjem sloju med 780 in 1000 kg/m³, v srednjem pa med 530 in 780 kg/m³. Debelina plošče je bila 160mm.



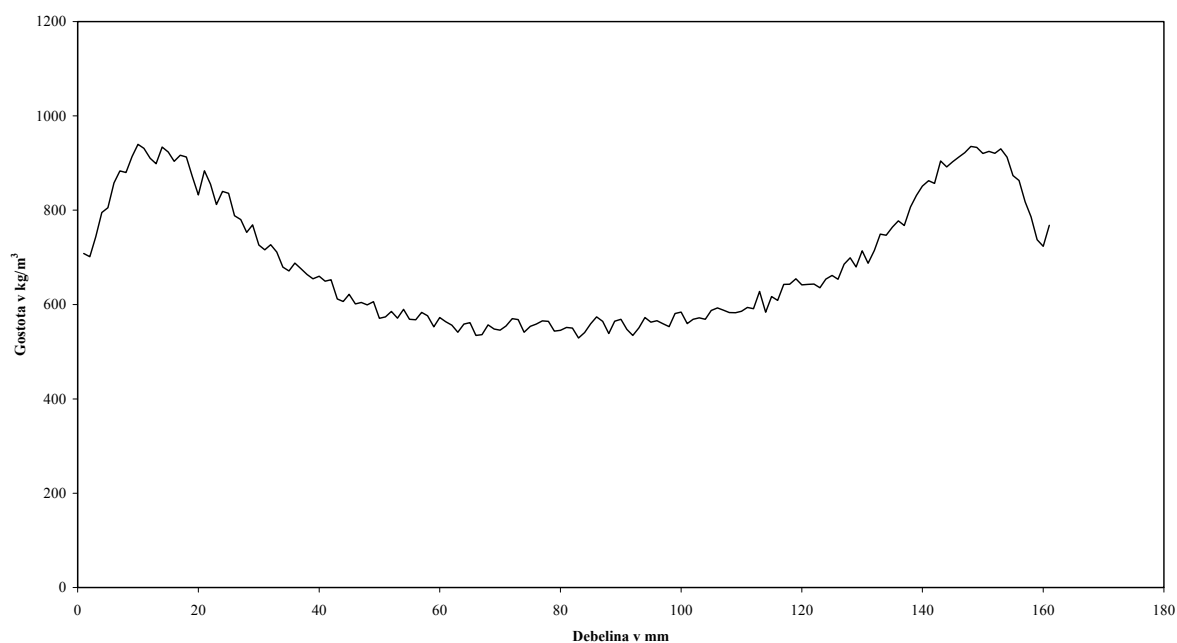
Slika 39: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče M

Na sliki 39 vidimo, da je razlika med naklonskima kotoma gostotnega profila v iverni plošči M zopet zanemarljiva, kar pomeni, da sta temperaturi v obeh slojih naraščali približno enako hitro.



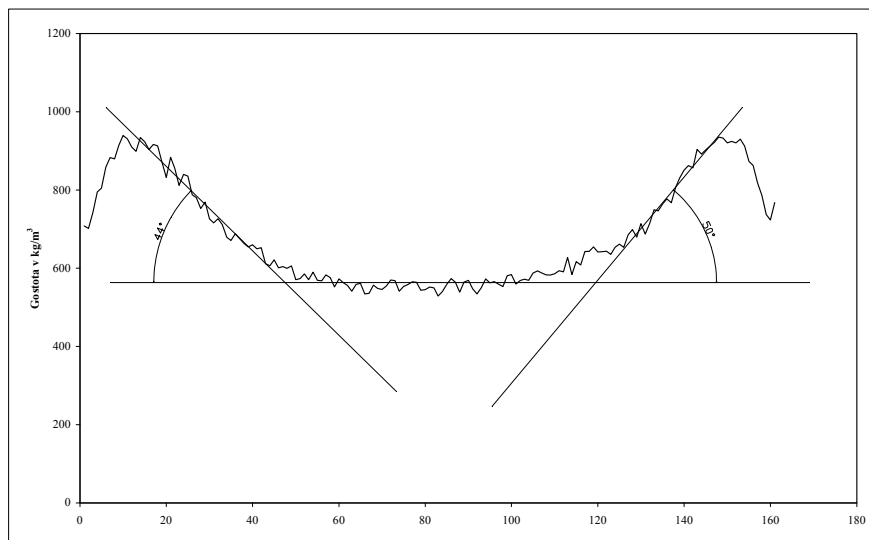
Slika 40: Gradient temperature v iverni plošči N

Na sliki 40 vidimo, da temperatura v zgornjem sloju takoj po zaprtju stiskalnice strmo naraste na približno 140 °C, potem pa počasi in konstantno na 180 °C. V spodnjem sloju se približno prvih 20 sekund po zaprtju stiskalnice nič ne dogaja, nato temperatura strmo naraste na 100 °C, kjer se umiri in med nadaljnjim stiskanjem počasi naraste do končne temperature 140 °C. V srednjem sloju se minuto po zaprtju stiskalnice s temperaturo nič ne dogaja, po minuti pa strmo naraste na 110 °C. Na tej točki ostane do konca stiskanja.



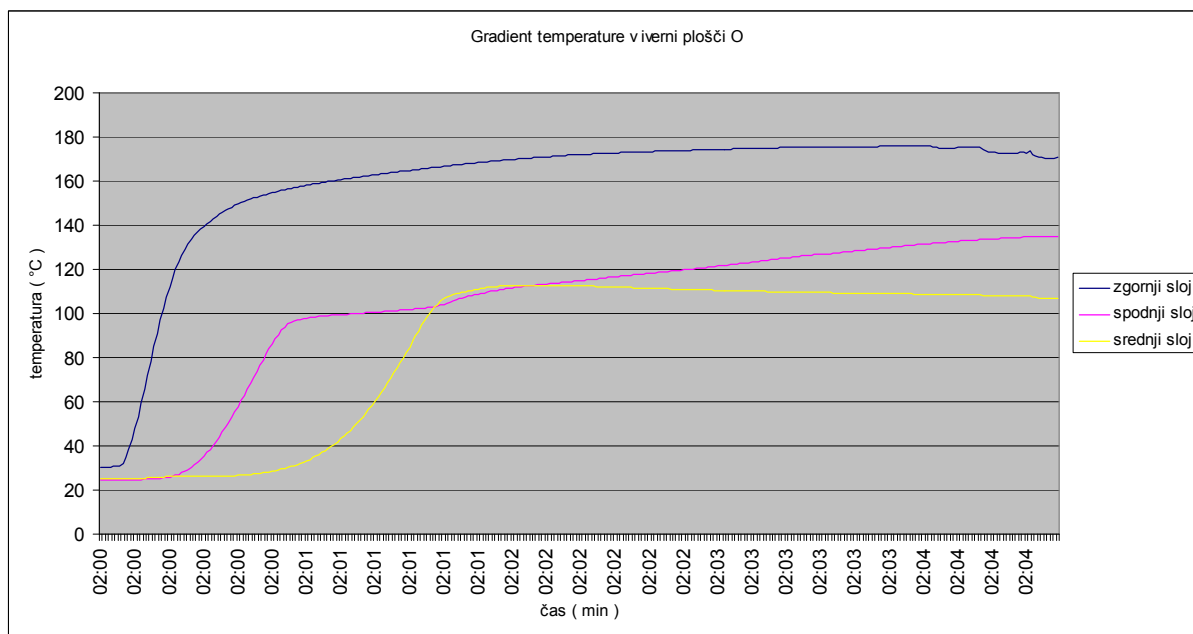
Slika 41: Gostotni profil iverne plošče N

Pri merjenju gostotnega profila vzorcev plošče N smo ugotovili, da je v zunanjem sloju med 700 in 940 kg/m³, v srednjem pa med 530 in 700 kg/m³. Debelina plošče je bila 160 mm.



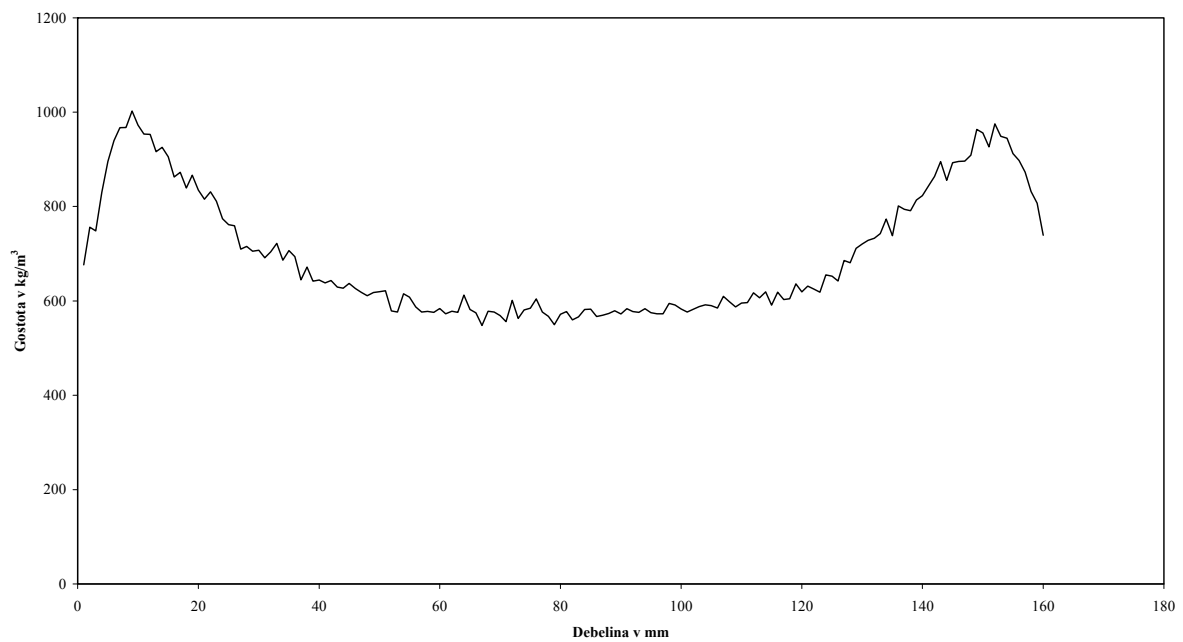
Slika 42: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče N

Na sliki 42 vidimo, da je naklonski kot v zgornjem sloju za 6° večji od naklonskega kota v spodnjem sloju. Sklepamo lahko, da je temperatura v zgornjem sloju rahlo hitreje naraščala kot temperatura v spodnjem sloju plošče.



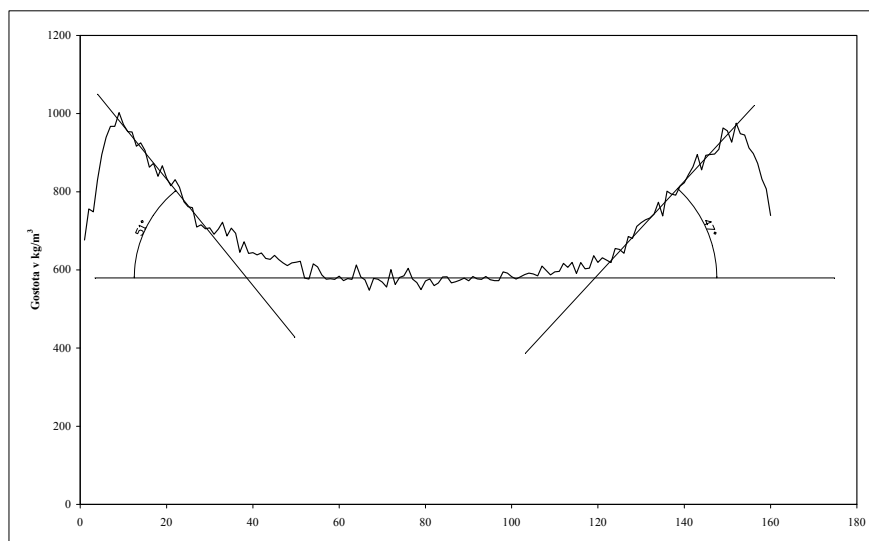
Slika 43: Gradient temperature v iverni plošči O

Na sliki 43 vidimo, da temperatura v zgornjem sloju takoj po zaprtju stiskalnice strmo naraste na približno 140 °C, potem pa počasi in konstantno na 180°C. V spodnjem sloju se približno prvih 20 sekund po zaprtju stiskalnice nič ne dogaja, nato temperatura strmo naraste na 100 °C, kjer se umiri in med nadaljnjim stiskanjem počasi naraste do končne temperature 140 °C. V srednjem sloju se minuto po zaprtju stiskalnice s temperaturo nič ne dogaja, potem pa strmo naraste na 110 °C. Na tej točki ostane do konca stiskanja.



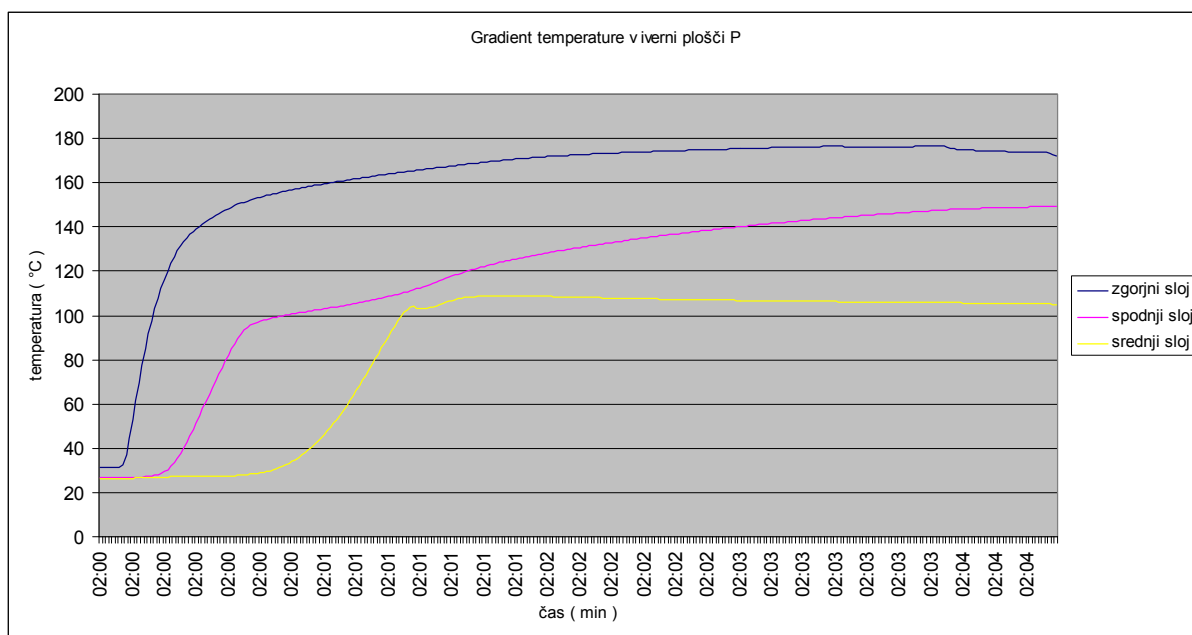
Slika 44: Gostotni profil iverne plošče O

Pri merjenju gostotnega profila vzorcev plošče O smo ugotovili, da je v zunanjem sloju med 670 in 1000 kg/m³, v srednjem pa med 550 in 670 kg/m³. Debelina plošče je bila 160 mm.



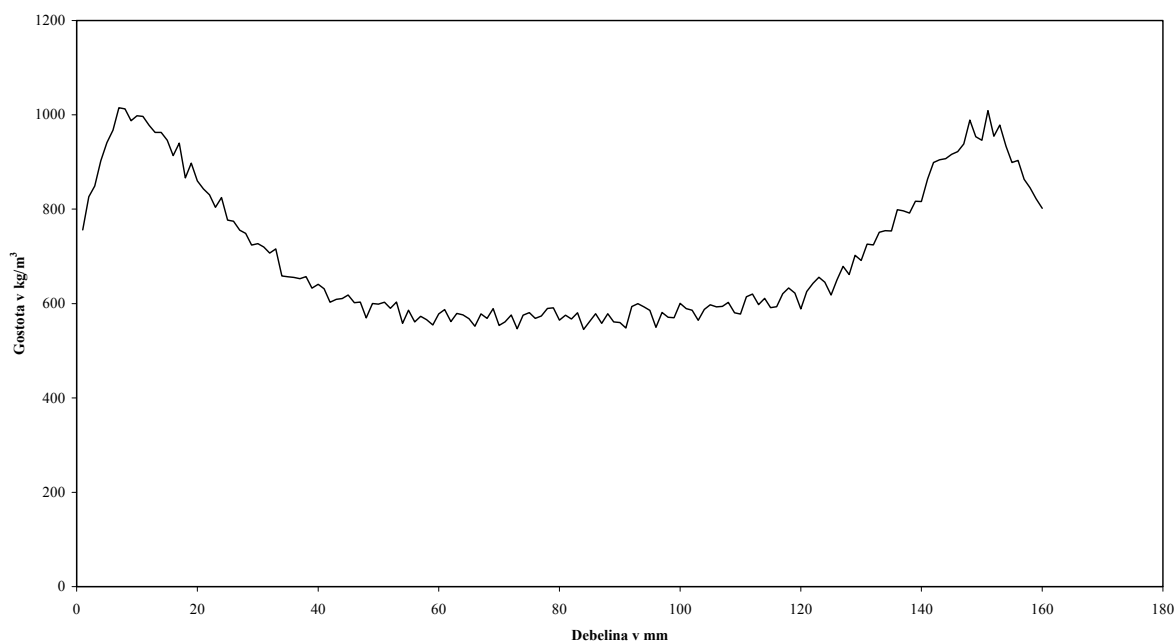
Slika 45: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče O

Na sliki 45 vidimo, da je razlika med naklonskima kotoma gostotnega profila v iverni plošči O zanemarljiva, kar pomeni, da sta temperaturi v obeh slojih naraščali približno enako hitro.



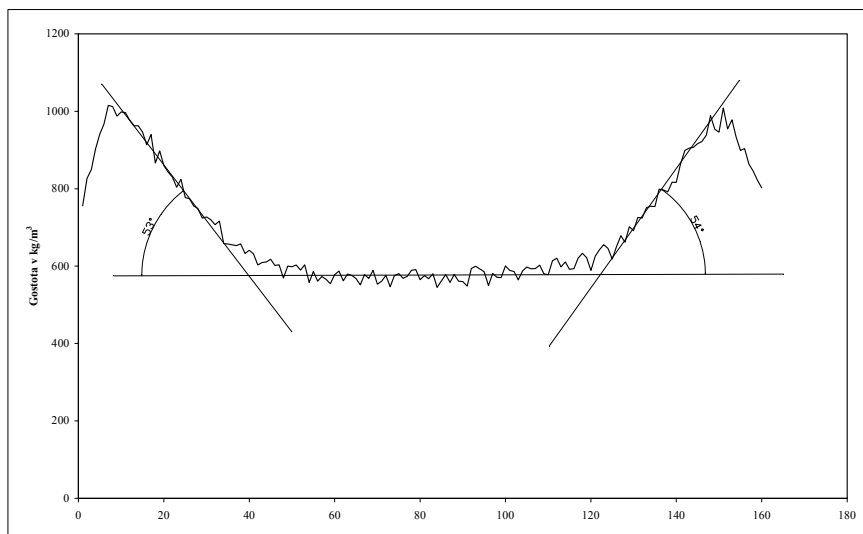
Slika 46: Gradient temperature v iverni plošči P

Na sliki 46 vidimo, da temperatura v zgornjem sloju takoj po zaprtju stiskalnice strmo naraste na približno 130 °C, potem pa počasi in konstantno na 180°C. V spodnjem sloju se približno prvih 20 sekund po zaprtju stiskalnice nič ne dogaja, nato temperatura strmo naraste na 100 °C, kjer se umiri in med nadaljnjim stiskanjem počasi naraste do končne temperature 150 °C. V srednjem sloju se minuto po zaprtju stiskalnice temperatura ne spreminja, pote pa strmo naraste na 105 °C. Na tej točki ostane do konca stiskanja.



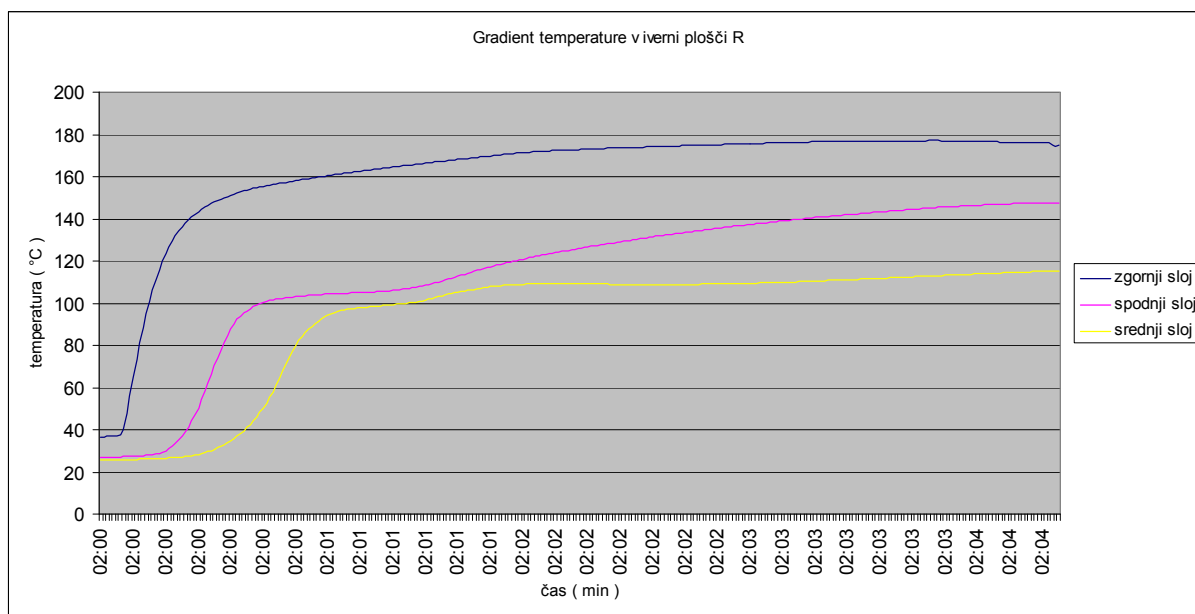
Slika 47: Gostotni profil iverne plošče P

Pri merjenju gostotnega profila vzorcev plošče P (slika 47) smo ugotovili, da je v zunanem sloju med 760 in 1015 kg/m^3 , v srednjem pa med 540 in 760 kg/m^3 . Debelina plošče je bila 160 mm.



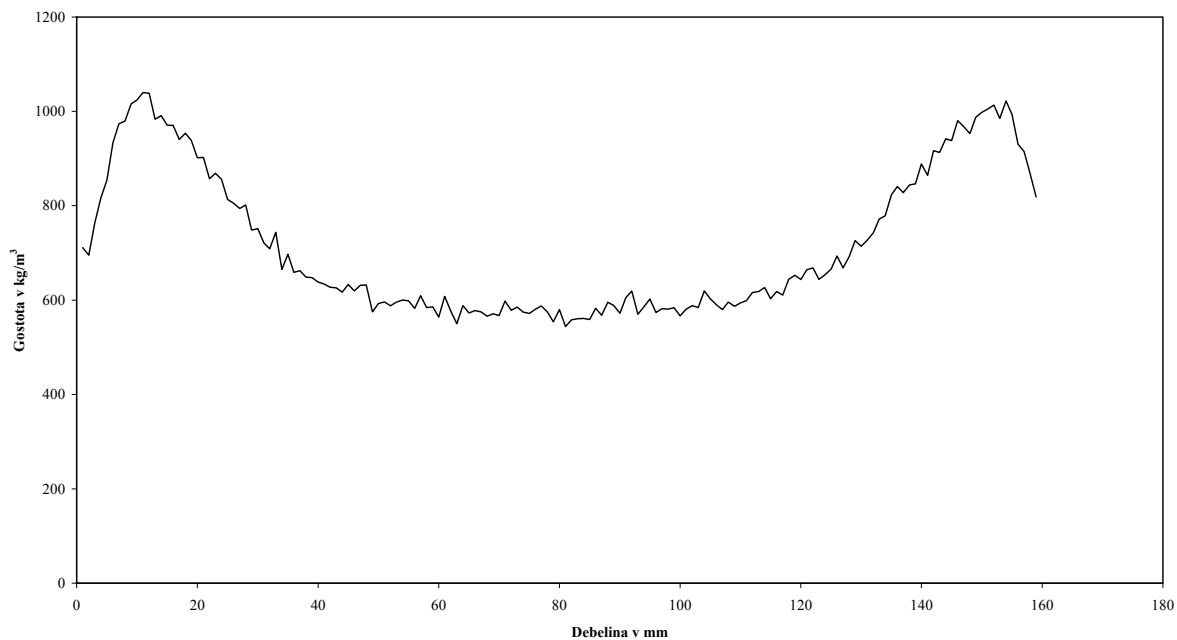
Slika 48: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče P

Na sliki 48 vidimo, da je razlika med naklonskima kotoma gostotnega profila v iverni plošči P zanemarljiva, kar pomeni, da sta temperaturi v obeh slojih naraščali približno enako hitro.



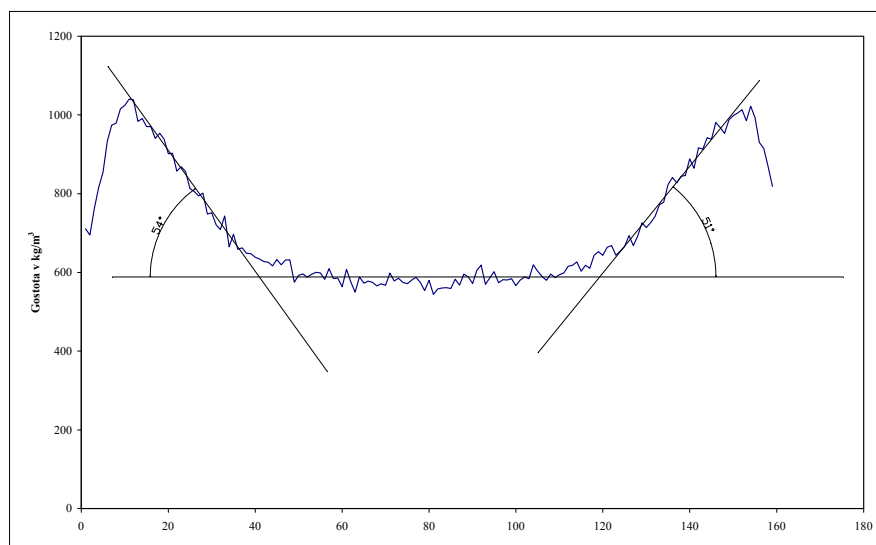
Slika 49: Gradient temperature v iverni plošči R

Na sliki 49 vidimo, da temperatura v zgornjem sloju takoj po zaprtju stiskalnice strmo naraste na 130 °C, potem pa počasi in konstantno na 180 °C. V spodnjem sloju se približno prvih 20 sekund po zaprtju stiskalnice nič ne dogaja, nato temperatura strmo naraste na 100 °C, kjer se umiri in med nadaljnjim stiskanjem počasi naraste do končne temperature 150 °C. V srednjem sloju se minuto po zaprtju stiskalnice temperatura ne spreminja, nato pa strmo naraste na 100 °C, kjer se umiri in zelo počasi naraste do končnih 120 °C.



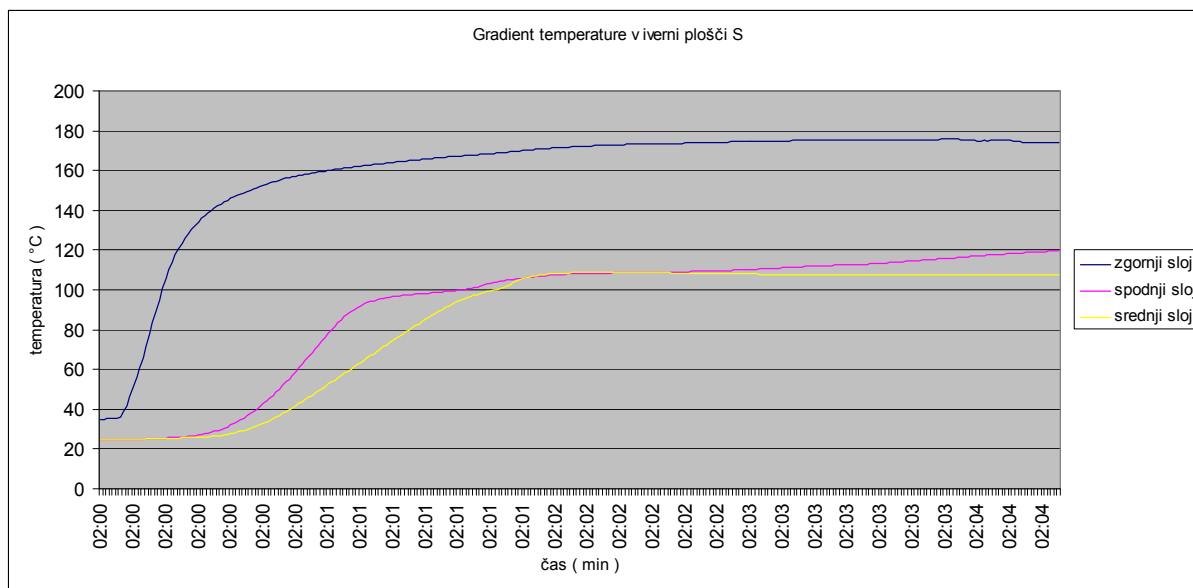
Slika 50: Gostotni profil iverne plošče R

Pri merjenju gostotnega profila vzorcev iverne plošče R smo ugotovili, da je v zunanjem sloju med 700 in 1040 kg/m³, v srednjem pa med 540 in 700 kg/m³. Debelina plošče je bila 160 mm.



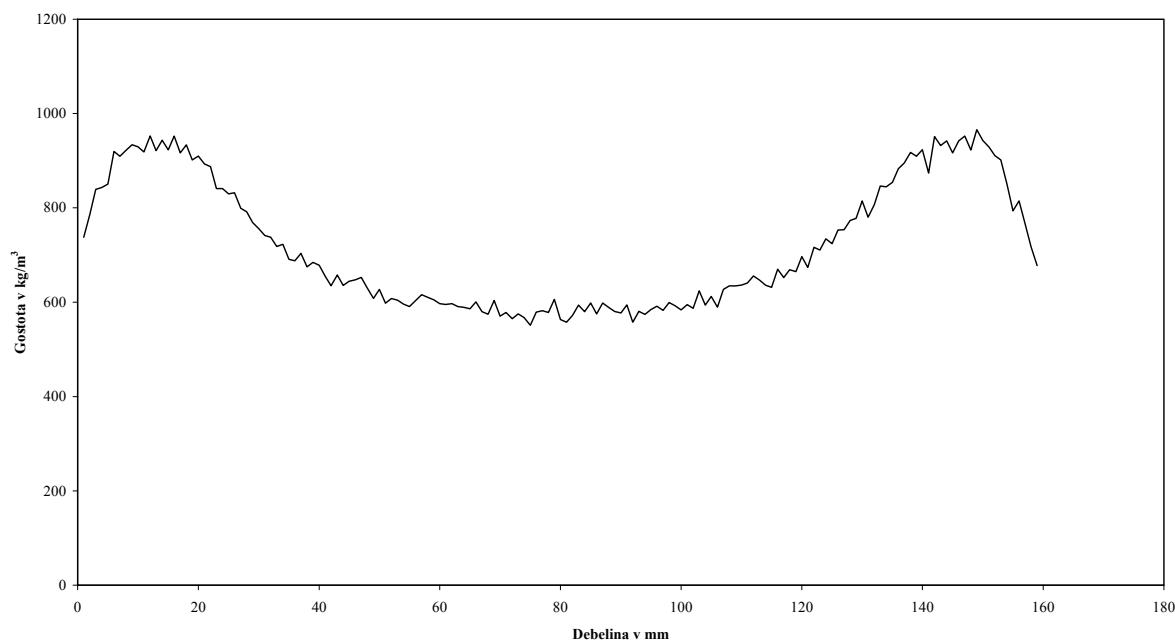
Slika 51: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče R

Na sliki 51 vidimo, da je razlika med naklonskima kotoma gostotnega profila v iverni plošči R zanemarljiva, kar pomeni, da sta temperaturi v obeh slojih naraščali približno enako hitro.



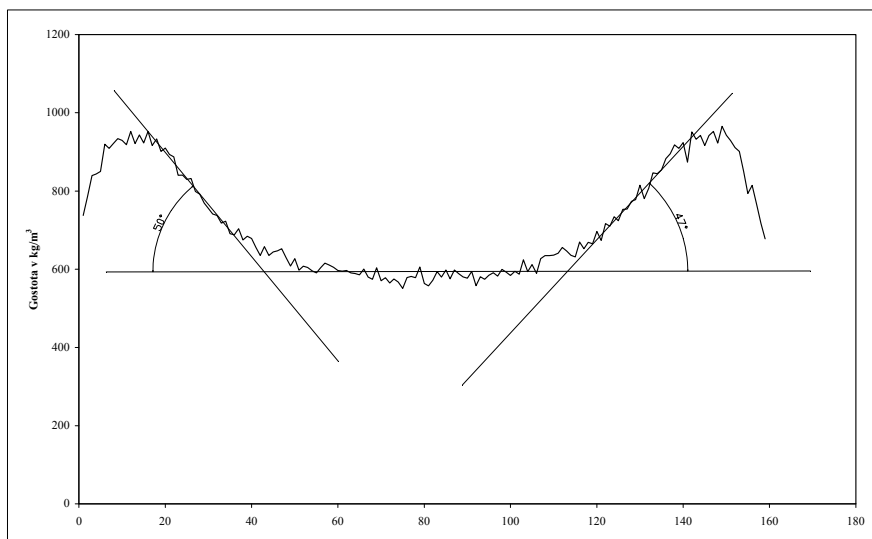
Slika 52: Gradient temperature v iverni plošči S

Na sliki 52 vidimo, da temperatura v zgornjem sloju takoj po zaprtju stiskalnice strmo naraste na 130 °C, potem pa počasi in konstantno na 180 °C. V spodnjem sloju se približno prvih 45 sekund po zaprtju stiskalnice nič ne dogaja, nato temperatura strmo naraste na 100 °C, kjer se umiri in med nadaljnjim stiskanjem počasi naraste do končne temperature 120 °C. V srednjem sloju se minuto po zaprtju stiskalnice temperatura ne spreminja, potem pa strmo naraste na 110 °C, kakršna ostane do konca stiskanja.



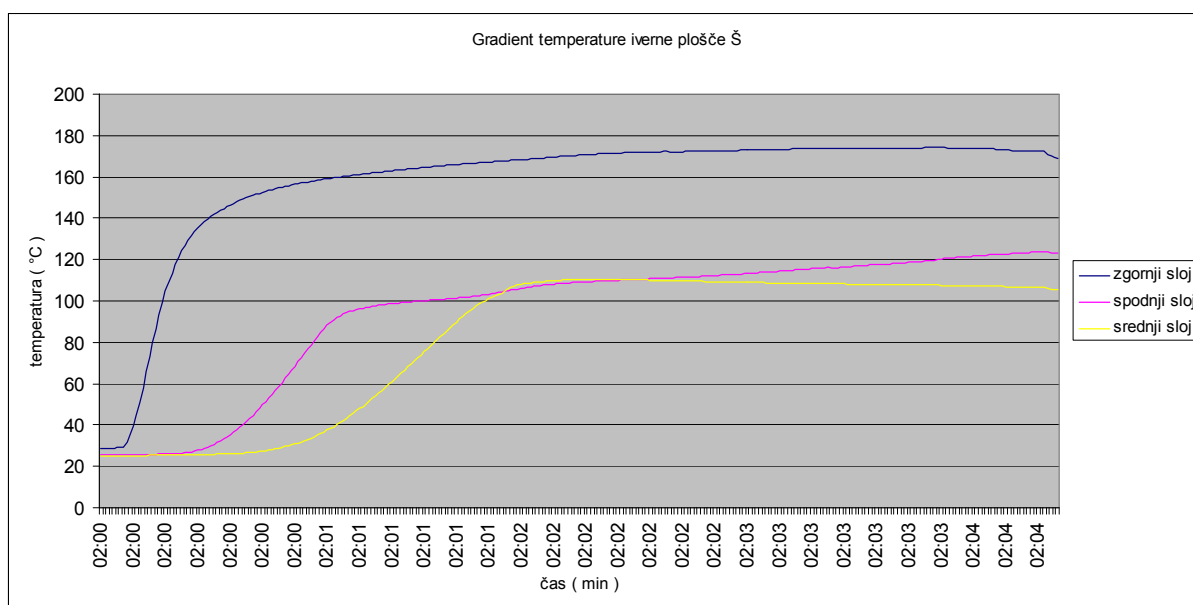
Slika 53: Gostotni profil iverne plošče S

Pri merjenju gostotnega profila vzorcev iverne plošče S smo ugotovili, da je v zunanjem sloju med 740 in 970 kg/m³, v srednjem pa med 550 in 740 kg/m³. Debelina plošče je bila 160mm.



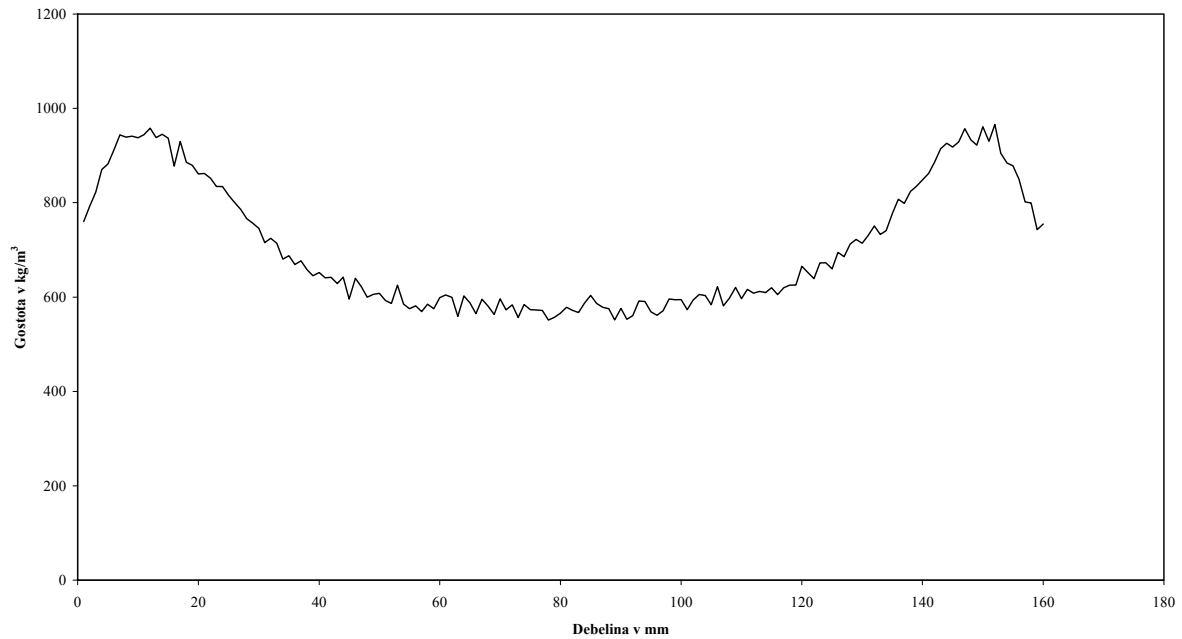
Slika 54: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče S

Na sliki 54 vidimo, da je razlika med naklonskima kotoma gostotnega profila v iverni plošči S zanemarljiva, kar pomeni, da sta temperaturi v obeh slojih naraščali približno enako hitro.



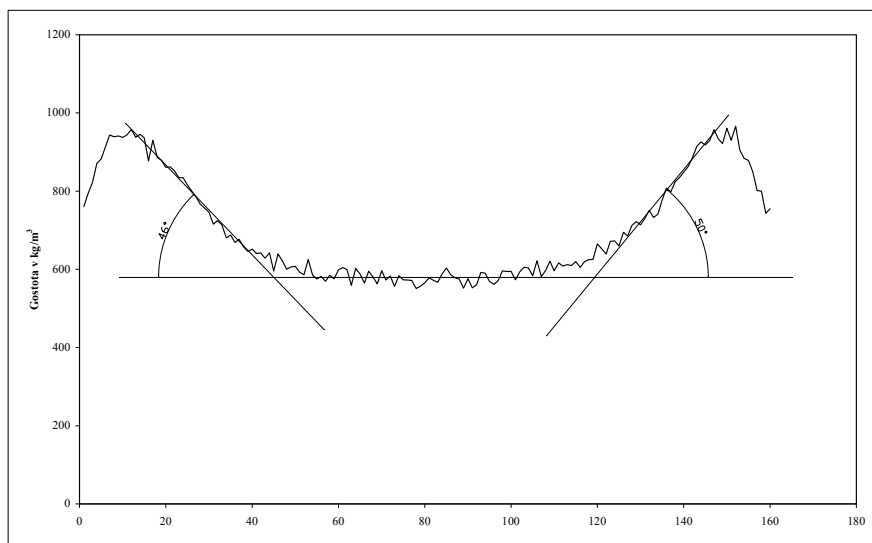
Slika 55: Gradient temperature v iverni plošči Š

Na sliki 55 vidimo, da temperatura v zgornjem sloju takoj po zaprtju stiskalnice strmo naraste na 130 °C, potem pa počasi in konstantno na 180 °C. V spodnjem sloju se približno prvih 30 sekund po zaprtju stiskalnice nič ne dogaja, nato temperatura strmo naraste na 100 °C, kjer se umiri in med nadaljnjim stiskanjem počasi naraste do končne temperature 120 °C. V srednjem sloju se minuto po zaprtju stiskalnice temperatura ne spreminja, po minuti pa strmo naraste na 110 °C, kakršna ostane do konca stiskanja.



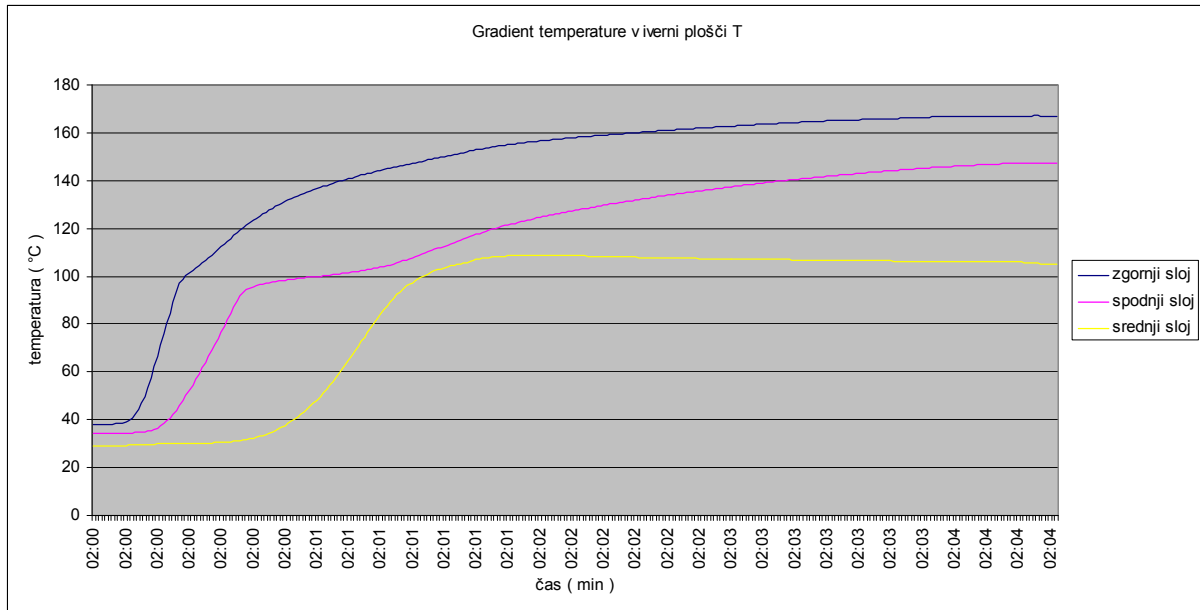
Slika 56: Gostotni profil iverne plošče Š

Pri merjenju gostotnega profila vzorcev plošče Š smo ugotovili, da je v zunanjem sloju med 760 in 970 kg/m³, v srednjem pa med 550 in 760 kg/m³. Debelina plošče je bila 160 mm.



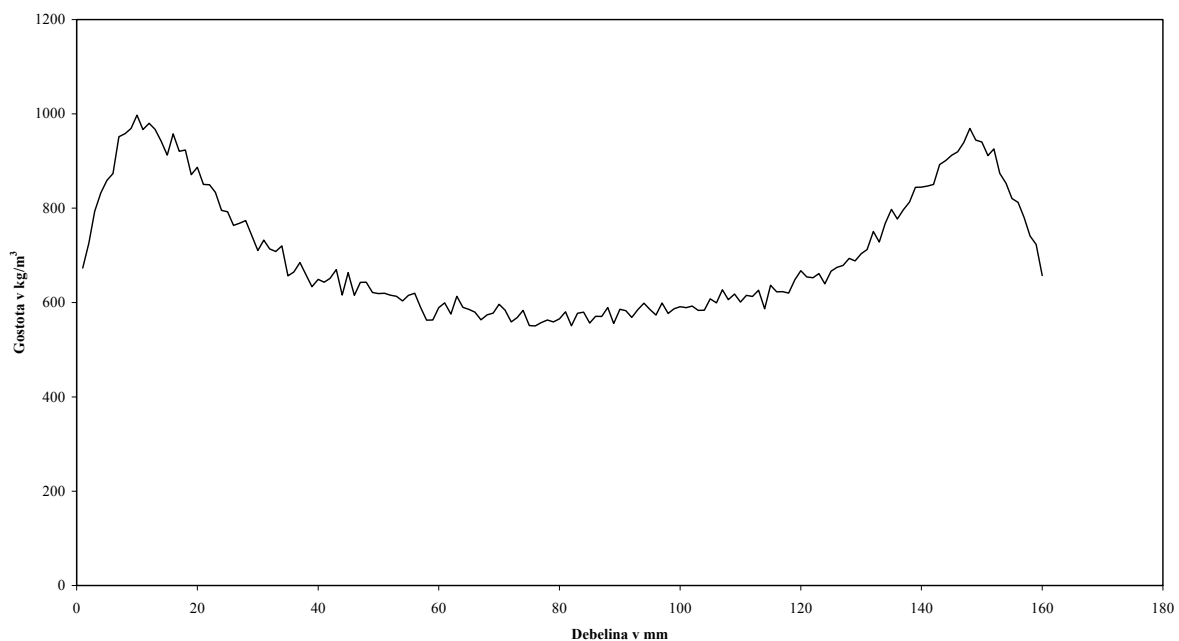
Slika 57: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče Š

Na sliki 57 vidimo, da je razlika med naklonskima kotoma gostotnega profila v iverni plošči Š zanemarljiva, kar pomeni, da sta temperaturi v obeh slojih naraščali približno enako hitro.



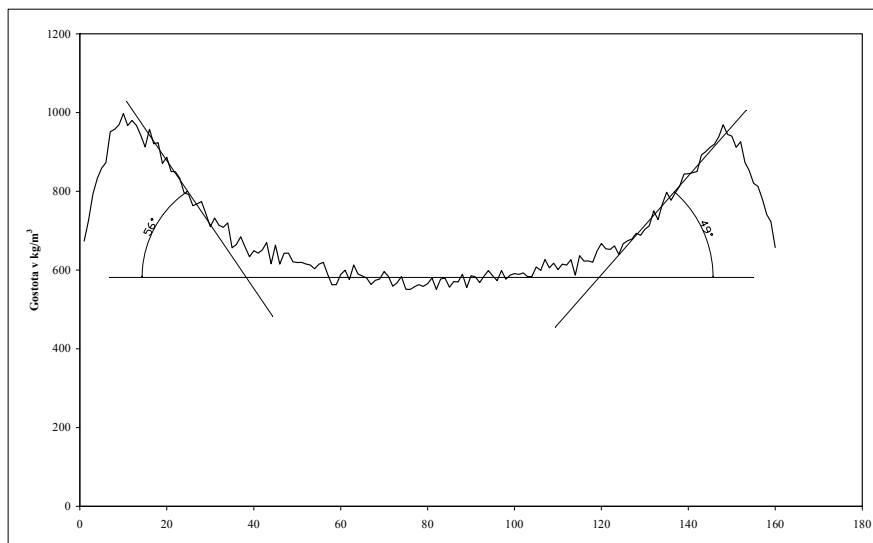
Slika 58: Gradient temperature v iverni plošči T

Na sliki 58 vidimo, da temperatura v zgornjem sloju takoj po zaprtju stiskalnice strmo naraste na 100 °C, potem pa počasi in konstantno na 160 °C. V spodnjem sloju se približno prvih 30 sekund po zaprtju stiskalnice nič ne dogaja, nato temperatura strmo naraste na 100 °C, kjer se umiri in med nadaljnjim stiskanjem počasi naraste do končne temperature 140 °C. V srednjem sloju se minuto po zaprtju stiskalnice temperatura ne spreminja, potem pa strmo naraste na 110 °C, kjer ostane do konca stiskanja.



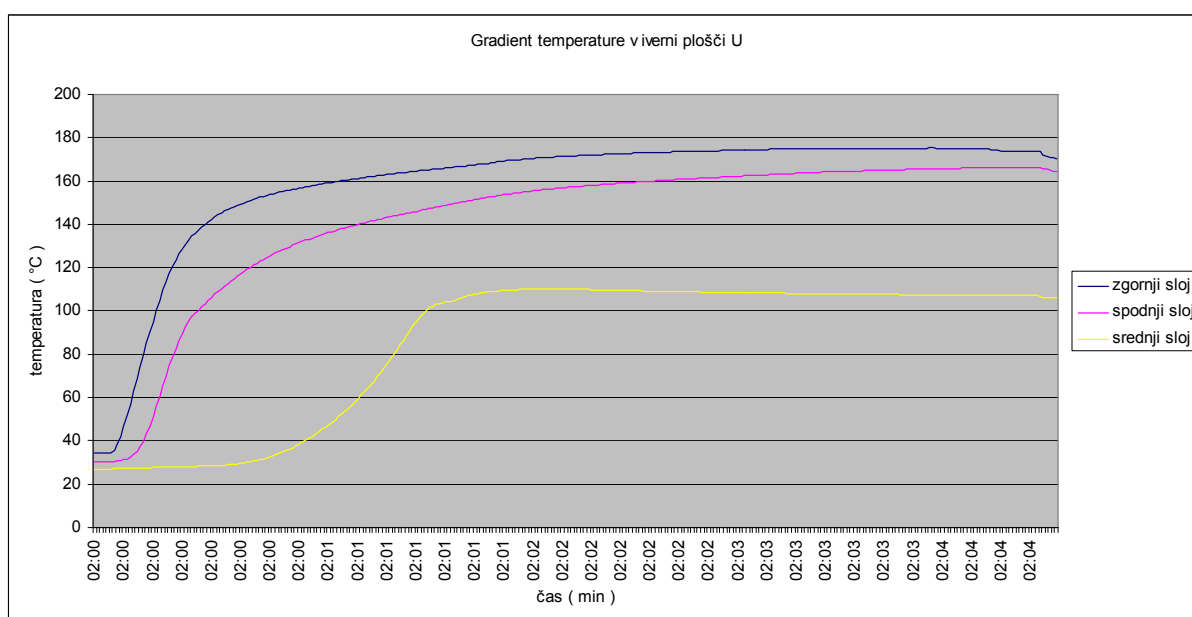
Slika 59: Gostotni profil iverne plošče T

Pri merjenju gostotnega profila vzorcev iverne plošče T smo ugotovili, da je v zunanjem sloju med 670 in 1000 kg/m³, v srednjem sloju pa med 550 in 670 kg/m³. Debelina plošče je bila 160 mm.



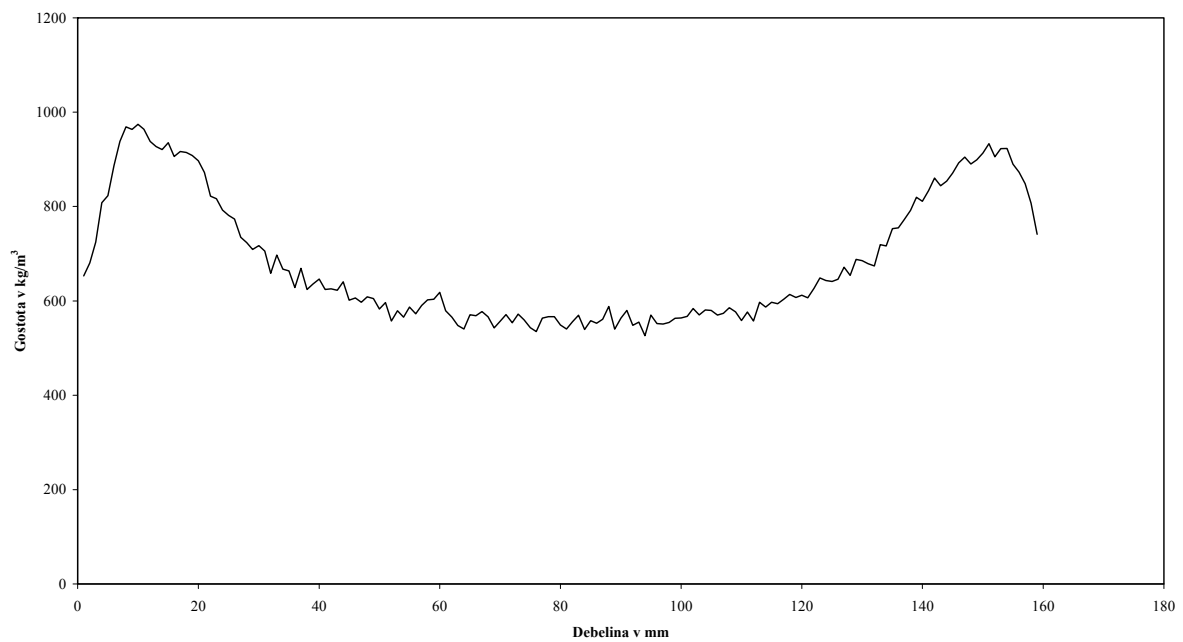
Slika 60: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče T

Na sliki 60 opazimo, da je naklonski kot gostotnega profila v spodnjem sloju plošče malo večji kot naklonski kot zgornjega sloja. Sklepamo lahko, da bi morala temperatura v spodnjem sloju hitreje naraščati kot v zgornjem sloju plošče. To seveda ne drži, kar je razvidno iz slike 58. Nepravilnost je verjetno nastala zaradi premikanja termočlenov pred stiskanjem.



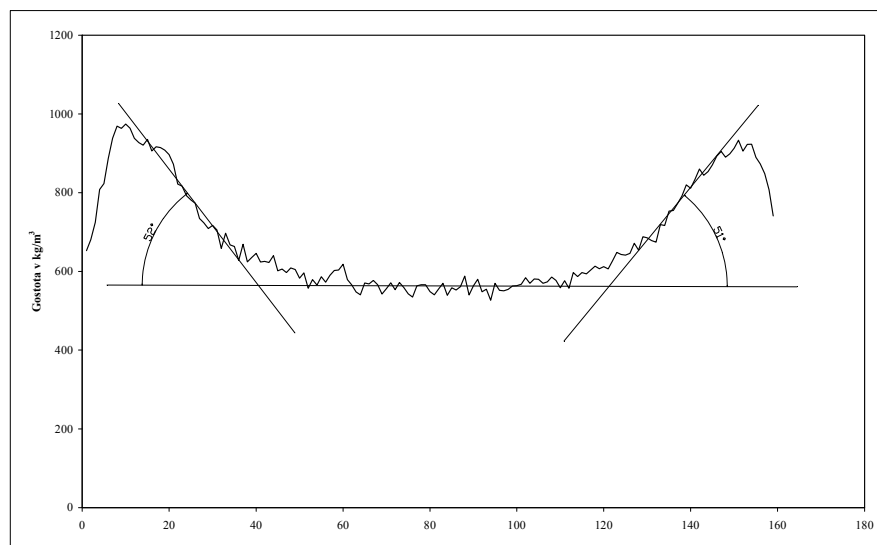
Slika 61: Gradient temperature v iverni plošči U

Na sliki 61 vidimo, da temperatura v zgornjem sloju takoj po zaprtju stiskalnice strmo naraste na 130 °C, potem pa počasi in konstantno na 180 °C. V spodnjem sloju se približno prvih 20 sekund po zaprtju stiskalnice nič ne dogaja, nato temperatura strmo naraste na 100 °C, kjer se umiri in med nadaljnjim stiskanjem počasi naraste do končne temperature 160 °C. V srednjem sloju se minuto po zaprtju stiskalnice temperatura ne spreminja, potem pa strmo naraste na 110 °C, kakršna ostane do konca stiskanja.



Slika 62: Gostotni profil iverne plošče U

Pri merjenju gostotnega profila vzorcev iverne plošče U smo ugotovili, da je v zunanjem sloju med 650 in 970 kg/m³, v srednjem sloju pa med 530 in 650 kg/m³. Debelina plošče je bila 160 mm.



Slika 63: Naklonski koti gostotnega profila iverne plošče U

Na sliki 63 vidimo, da je razlika med naklonskima kotoma gostotnega profila v iverni plošči U zanemarljiva, kar pomeni, da sta temperaturi v obeh slojih naraščali približno enako hitro.

6 RAZPRAVE

6.1 ČAS, KO TEMPERATURA V POSAMEZNEM SLOJU PLOŠČE DOSEŽE 100 °C

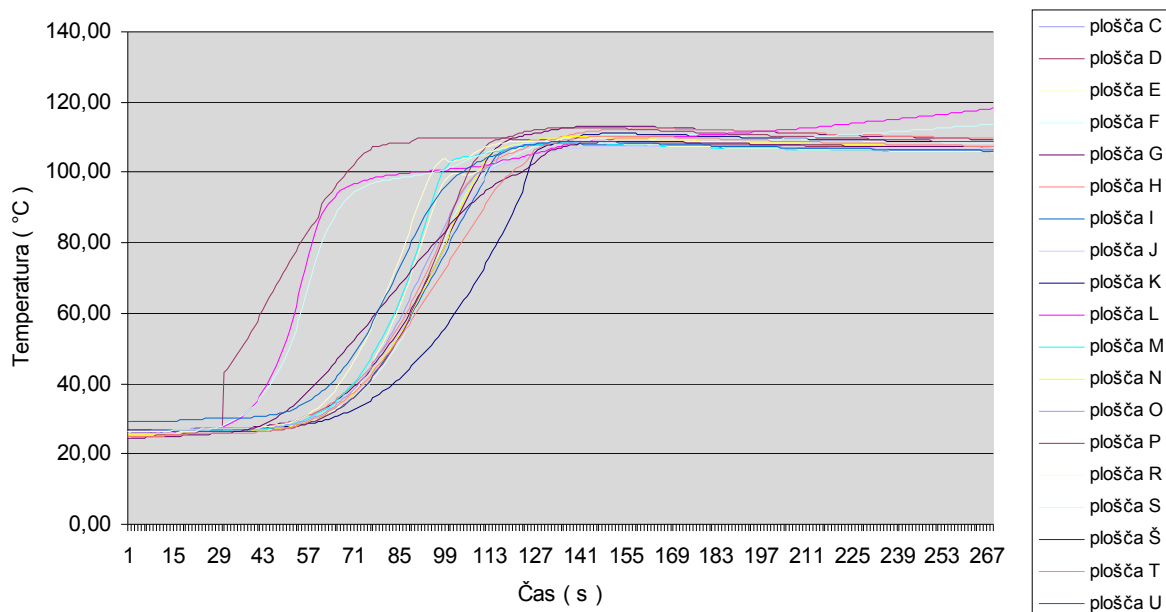
Pri stiskanju iverne plošče so vidne razlike v hitrosti segrevanja pogače (preglednica 4). Vidimo, da na merilnem mestu, ki predstavlja prehod med iverno ploščo in ploščo stiskalnice, temperatura doseže želeno vrednost v 15 do 26 sekundah. Mogoče bi bilo, da bi razlike nastale zaradi različne oblepljenosti iverja, vendar menimo, da bi bile v tem primeru bistveno manjše. Glavni razlog za takšna odstopanja je postavitev merilne celice v pogači plošče, kjer jo je nemogoče čvrsto pritrditi in se je najverjetneje premaknila med premikanjem pogače k stiskalnici. V sredini iverne plošče temperatura doseže želeno vrednost v 76 do 107 sekundah. V prehodu med spodnjim slojem iverne plošče in ploščo stiskalnice pa temperatura želeno vrednost doseže v 54 do 140 sekundah. Razlika v hitrosti segrevanja med zgornjim in spodnjim slojem plošče je nastala, ker smo med stiskanjem za zgornji sloj uporabili papir za peko, tako da je temperatura veliko hitreje prodrla do pogače kot pri spodnjem sloju, kjer smo uporabili pločevino.

6.2 ČASI UTRJEVANJA PRI UREA- IN MELANIN-FORMALDEHIDNIH LEPILIH

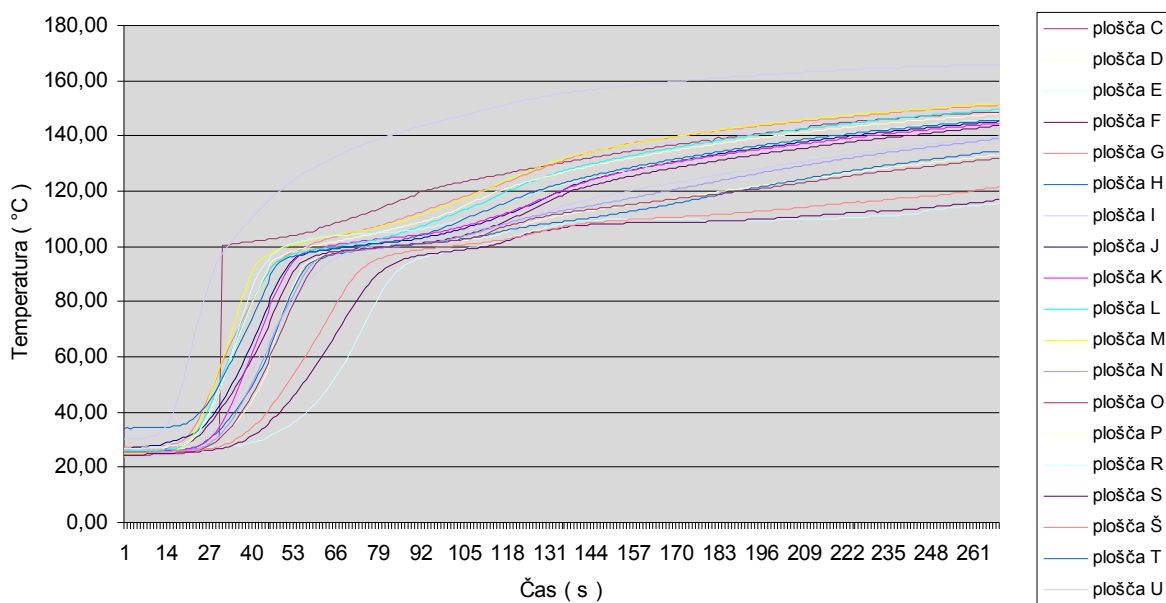
Postavljena je bila hipoteza, pri kateri smo predpostavili, da bomo ob uporabi melamin-formaldehidnega lepila dobili bolj enakomeren gostotni profil in daljše čase utrjevanja. Postavljeno hipotezo lahko delno sprejmemo in delno ovržemo. Pri uporabi zgoraj navedenega lepila smo res dobili enakomeren gostotni profil. Pri določanju parametrov lepil smo ugotovili, da melamin-formaldehidno lepilo potrebuje daljši čas utrjevanja kot urea-formaldehidno lepilo (preglednica 9). Vendar pri izdelavi ivernih plošč teh časovnih razlik ni oz. so zanemarljive (preglednica 2).

6.3 REAKTIVNOST LEPILA NE VPLIVA NA GOSTOTNI PROFIL

Ugotovili smo, da lepilo kljub različni reaktivnosti ni vplivalo na razliko med zunanjim in srednjim slojem gostotnega profila. Temperatura segrevanja v zgornjem in srednjem sloju je bila ob uporabi obeh lepil približno enaka, kar je razvidno na spodnjih slikah.



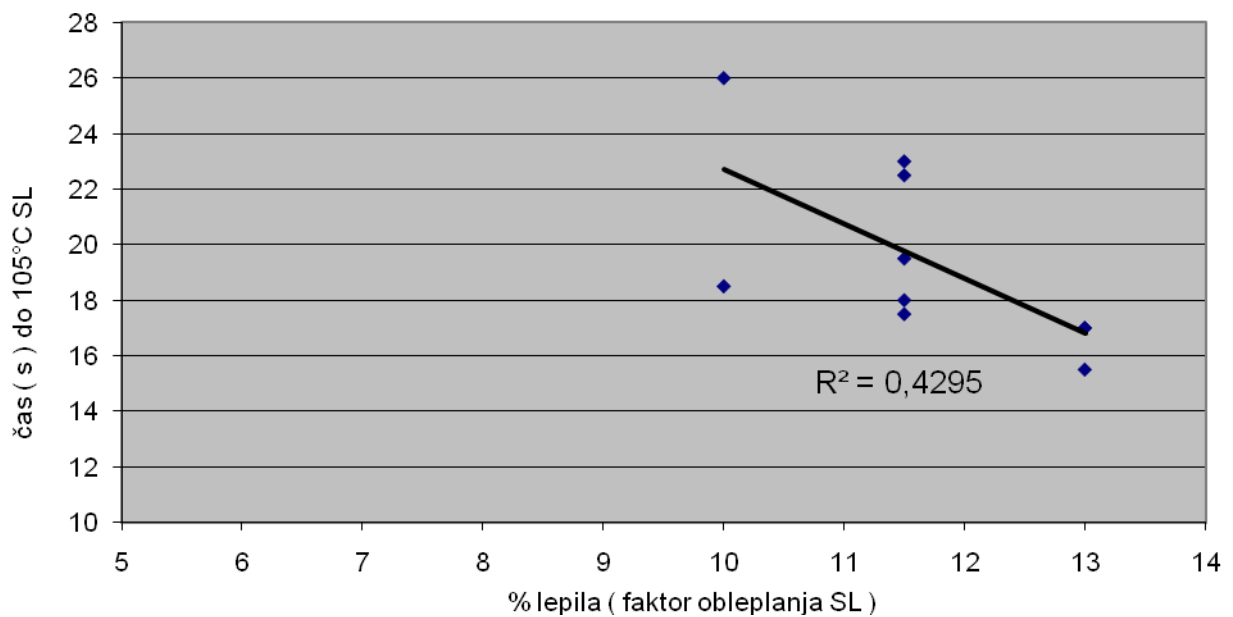
Slika 64: Temperature segrevanja v zgornjem sloju plošč



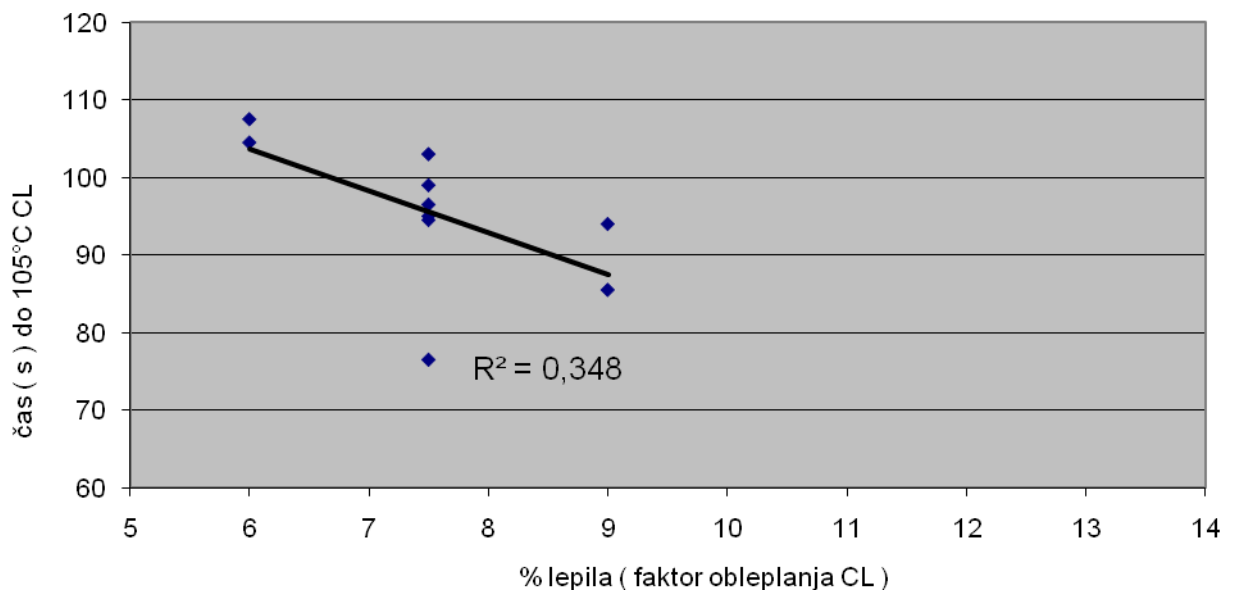
Slika 65: Temperatura segrevanja v srednjem sloju plošč

6.4 ODVISNOST MED ČASOM SEGREVANJA IN FAKTORJEM OBLEPLJENJA

Kljub različni oblepljenosti in posredno različni vsebnosti vlage oblepljenega iverja se razlike v profilih ne razlikujejo signifikantno (preglednici 4 in 5). Korelacija med časom segrevanja in faktorjem oblepljenja je linearna in rahlo padajoča, tako pri srednjem kot tudi pri zunanem sloju, kar je razvidno iz spodnjih slik.



Slika 66: Odvisnost med časom in faktorjem oblepljenja pri zunanem sloju



Slika 67: Odvisnost med časom in faktorjem oblepljenja pri srednjem sloju

Na slikah 66 in 67 vidimo, da pride do manjšega odstopanja določenih vrednosti, ki sta ga povzročila dejavnika, nastala med procesom izdelave ivernih plošč.

Prvi dejavnik so različne temperature pločevine, ki smo jo uporabljali v procesu izdelave ivernih plošč. Pločevina je bila na spodnji strani tepiha, kot podlaga, bila je tudi v neposrednem stiku z grelno ploščo stiskalnice in nam je služila za prenos toplote. Na dan smo izdelali tri plošče in le pri prvi je bila pločevina hladna, pred naslednjem stiskanjem pa je nismo ohlajali, zato je ostala vroča, kar je povzročilo odstopanje.

Drugi dejavnik je premik termočlenov, do katerega je prišlo pri premiku tepiha k stiskalnici.

6.5 VPLIV HITROSTI ZAPIRANJA STISKALNICE NA MAKSIMALNE GOSTOTE

Maksimalne gostote so dosežene v približno enakem obsegu, kar potrjujejo tudi ugotovitve nekaterih avtorjev. Po Maloneyu je pri počasnem zapiranju stiskalnice temperatura bolj enakomerna in lažje prehaja v CL, gostotni profil je bolj izenačen. Pri hitrem zapiranju pa bi prišlo do prehitrega segrevanja zunanjšega sloja plošče, lepilo bi utrdilo in prehod pare v Cl bi bil otežen.

PLOŠČA	MAX. GOSTOTA
C	994
D	1001
E	1047
F	1001
G	995
H	1030
I	1070
J	984
K	986
L	988
M	984
N	988
O	989
P	988
R	986
S	987
Š	987
T	987
U	988

Preglednica 11: Maksimalne gostote ivernih plošč

Ugotovili smo, da se s povečanjem faktorja oblepljanja (preglednica 1) oz. vsebnosti lepila v iverni plošči poveča tudi gostota iverne plošče.

7 SKLEP

Raziskali smo vpliv vrste in deleža lepila na nastanek gostotnega profila pri izdelavi ivernih plošč. Za izdelavo smo uporabili industrijsko iverje ter UF- oziroma MF-lepilo. Plošče smo izdelali pri laboratorijskih pogojih s 6,00–9,00 % deleži lepila v srednjem in 10,00–13,00 % v zunanjem sloju. Med stiskanjem smo merili spremembo temperature v sredini, med zunanjim in srednjim slojem plošče ter med iverno in grelno ploščo stiskalnice. Gostotni profil smo določevali z metodo merjenja porazdelitve gostote, za kar smo uporabili merilnik gostotnih profilov MGP-201. Ugotovili smo, da vrsta lepila ne vpliva na prehod toplote med posameznimi ploščami in da z lepilom ne vplivamo na spremembo gostotnega profila. Ugotovili smo tudi, da reaktivnost lepila ne vpliva na gostotni profil v zunanjem in srednjem sloju plošče. S povečanjem faktorja oblepljanja vplivamo na hitrost segrevanja in s tem posledično na spremembo gostote oz. gostotnega profila.

8 VIRI IN LITERATURA

- Bandel A. 1995. Gluing wood. London, Catas. 301 str.
- Benedičič J. 2007. Vpliv gostotnega profila in sorpcijskih karakteristik na krivljenje MDF plošč. Ljubljana: Biotehniška fakulteta: 34 str.
- Geimer R.L., Montrey H.M., Lehmann W.F. 1975. Effects of layer characteristics on the properties of three-layer particle-boards. Forest Products Journal, 25, 3:19-29
- Kollmann F, Friedrich P. 1975. Principless of wood science and tecnology. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag. 703 str.
- Kous B. 1989. Vpliv velikosti epruvete na debelinsko nabrekanje in vpijanje vode pri trislojni iverni plošči tipa TP 20. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 31 str.
- Maloney T. M. 1993. Modern particleboard dry-process fiberboard manufacturing. San Francisco, Miller Freeman: 681 str.
- Medved S., Pirkmaier S. 1997. Vpliv prostorninske mase srednjega sloja ivernih plošč na celotno prostorninsko maso iverne plošče. Ljubljana: Gozdarski vestnik, 53: 141–158
- Medved S., Gorišek Ž., Straže A. 2005. Utjecaj profila gustoće MDF ploča na vlačnu čvrstoću: Drvo u graditeljstvu – postojanost i kakvoća građevnih proizvoda od drva, Zagreb: Šumarski fakultet. 128 str.
- Pirkmaier S. 1992. Odvisnost deleža lepila od velikosti iverja v postopku oblepljanja. Ljubljana, Zveza društev inženirjev in tehnikov gozdarstva in lesarstva v Sloveniji: 11–12
- Resnik J. 1997. Lepila in lepljenje lesa. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 103 str.
- Schneider M. H., Chui Y. H., Ganev S. B. 1976. Properties of particleboard made with a polyfurfuryl-alcohol/urea-formaldehyde adhesive. Forrest products Journal, 26, 9: 79–83
- Xu W., Winistorfer M. 1995. Layer thickness swell and layer internal bond of medium density fiberboard and oriented strandboard. Forest Products Journal, 45, 10: 67-71
- Wang S., Winistorfer P.M. 2000. Fundamentals of vertical density profile formation in wood composites. Part 2. Methodology of vertical density formation under dynamic conditions. Wood and Fiber Science, 32, 2: 220-238

ZAHVALA

Pri izdelavi diplomske naloge se za pomoč pri zasnovi in izdelavi zahvaljujem mentorju doc. dr. Sergeju Medvedu, za strokovno recenzijo diplomske naloge pa doc. dr. Dominiki Gornik Bučar. Za pomoč se zahvaljujem tudi tehničnemu sodelavcu na Katedri za žagarstvo in lesna tvoriva g. Janezu Renku, ki mi je pomagal pri izdelavi ivernih plošč, ter profesorici slovenščine Mojci Zemljak za lektoriranje moje diplomske naloge.

Iskrena zahvala tudi moji mami, ki me je v času študija financirala in me moralno podpirala, ter moji puncu Renati, ki mi je pomagala do uspešnega zaključka te diplomske naloge.