

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Primož STUPICA

**UPORABA VF TEHNOLOGIJE ZA UTRJEVANJE
PRAŠKASTIH PREMAZOV**

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

**APPLYING HF TECHNOLOGY FOR CURING POWDER
COATINGS**

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana 2009

Diplomsko delo je zaključek Visokošolskega strokovnega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na katedri za žagarstvo in lesna tvoriva, Oddelka za lesarstvo, Biotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani, kjer so bili v laboratoriju opravljeni vsi preizkusi.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval izr. prof. dr. Milana Šerneka, za recenzenta pa prof. dr. Marka Petriča

Mentor: izr. prof. dr. Milan ŠERNEK

Recenzent: prof. dr. Marko PETRIČ

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Primož Stupica

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Vs
DK	UDK 630*862.3; 630*829.1
KG	MDF/prškasti premaz/visoka frekvenca/dielektrične lastnosti/segrevanje/taljenje
AV	STUPICA, Primož
SA	ŠERNEK, Milan (mentor)/PETRIČ, Marko (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2009
IN	UPORABA VF TEHNOLOGIJE ZA UTRJEVANJE PRAŠKASTIH PREMAZOV
TD	Diplomsko delo (visokošolski študij)
OP	X, 45 str., 7 pregl., 18 slik, 10 pril., 14 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	<p>Ugotavljalci smo možnost uporabe VF energije za taljenje praškastih premazov. Raziskava je potekala v 3 fazah. Osredotočili smo se na proučevanje dielektričnih lastnosti praškastega premaza, dodatkov in vlaknene plošče (MDF). Meritve smo opravili s pomočjo naprave AGILENT 4285A PRECISION LCR METER. Zatem smo na MDF ploščo nanesli praškasti premaz in ga v za to prirejenem kondenzatorju poizkušali staliti pri različnih nastavitevah parametrov VF generatorja. Nazadnje smo testirali še utrjeni film premaza. Ugotovili smo, da bi bila VF energija primerna za utrjevanje praškastih premazov. Za uspešno aplikacijo tehnologije v proizvodnjo pa bi bilo treba razviti nov tip praškastega premaza z višjo dielektrično vrednostjo.</p>

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Vs
DC UDC 630*862.3; 630*829.1
CX MDF/powder coating/high frequency/dielectric properties/heating/melting
AU STUPICA, Primož
AA ŠERNEK, Milan (supervisor)/PETRIČ, Marko (coadvisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c VIII/34
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY 2009
TI APPLYING HF TECHNOLOGY FOR CURING POWDER COATINGS
DT Graduation Thesis (Higher professional studies)
NO X, 45 p., 7 tab., 18 fig, 10 ann.,14 ref.
LA sl
AL sl/en
AB Melting possibility of powder coatings using HF energy was studied. The research was implemented in 3 phases. We concentrated on examination of dielectric characteristics of the powder coating, additives and MDF (medium density fibre board) first. The measurements were executed with the help of the AGILENT 4285A PRECISION LCR METER device. Then we tried to melt the powder coating, applied on MDF, at different parameters of HF generator, in a condensator specially adapted for this purpose. The properties of the achieved cured film were checked last. We found out that the HF energy would be appropriate for hardening of the powder coatings. To apply this technology into the production successfully the new type of the powder coating with a higher dielectric value should be developed.

KAZALO VSEBINE

	str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
KAZALO PRILOG	IX
1 UVOD	1
1.1 Opredelitev problema	1
1.2 Cilji in naloge	1
1.3 Delovne hipoteze	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 Splošno o segrevanju lesa ali lesnih kompozitov	3
2.1.1 Toplotna prevodnost kompozita	3
2.1.2 Specifična topota	4
2.2 Segrevanje	4
2.3 ELEKTRIČNE LASTNOSTI MATERIALOV	5
2.3.1 Kapacitivnost	5
2.3.2 Polarizacija	7
2.3.3 Dielektrična vrednost	9
2.4 Srednje gosta vlaknena plošča (MDF)	11
2.5 Praškasti premaz	11
3 MATERIAL IN METODE	13
3.1 Priprava Materiala	13
3.1.1 Priprava MDF plošče	13
3.1.2 Priprava mešanic praškastega premaza	14
3.2 Izdelava in priprava orodja za testiranje	14
3.2.1 Izdelava nosilca elektrod ali ploščnega kondenzatorja	14
3.2.2 Izdelava naprave za stiskanje praškastega premaza	15
3.3 Merjenje dielektričnih lastnosti	16
3.3.1 Opis naprave in pripomočkov	16
3.3.2 Ugotavljanje dielektričnih lastnosti z nekontaktno metodo	19
3.3.3 Izvedba meritev	21
3.4 Taljenje praškastega premaza	22
3.4.1 Visokofrekvenčni generator	22
3.4.2 Taljenje praškastega premaza	23
3.5 Testiranje površinskih lastnosti filma premaza	24
3.5.1 Testiranje odpornosti utrjenega filma praškastega premaza proti razenju (SIST EN ISO 1518)	24
3.5.2 Merjenje debeline filma premaza z mikroskopsko metodo (SIST EN ISO 2808)	25
4 REZULTATI.....	26

4.1	Rezultati meritev dielektričnih lastnosti praškastega premaza	26
4.1.1	Grafični prikaz meritev dielektričnih lastnosti praškastega premaza in praškastega premaza z dodanim TiO₂	29
4.2	Visokofrekvenčno taljenje praškastega premaza	31
4.2.1	Taljenje praškastega premaza brez dodanega TiO₂ v času od 25 s do 45 s	32
4.2.2	Taljenje praškastega premaza z dodanim TiO₂	33
4.3	Testiranje kvalitete Utrjenega filma praškasteGA PREMAZA	34
4.3.1	Določanje odpornosti utrjenega filma praškastega premaza proti razenju	34
4.3.2	Merjenje debeline filma premaza z mikroskopsko metodo (SIST EN ISO 2808)	35
5	RAZPRAVA IN SKLEPI.....	36
5.1	Dielektrične lastnosti praškasteGA PREMAZA BREZ DODATKOV in s primesjo TiO ₂	36
5.1.1	Taljenje praškastega premaza z dodanim titanovim dioksidom ali brez dodatkov	37
5.2	Površinske lastnosti staljenega in nato utrjenega filma premaza	38
5.3	Sklepi	39
6	POVZETEK.....	40
7	VIRI	42
7.1	Citirani viri	42
7.2	Ostali viri	42

**ZAHVALA
PRILOGE**

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Dielektrične vrednosti nekaterih snovi (Resnik in sod., 1995: 16)	10
Preglednica 2: Povprečne vrednosti dielektričnih lastnosti za praškast premaz brez primesi.....	26
Preglednica 3: Povprečne vrednosti dielektričnih lastnosti za praškast premaz s 5 % dodanega TiO ₂	27
Preglednica 4: Povprečne vrednosti dielektričnih lastnosti za praškast premaz z 10 % dodanega TiO ₂	27
Preglednica 5: Povprečne vrednosti dielektričnih lastnosti za praškast premaz s 15 % dodanega TiO ₂	28
Preglednica 6: Debelina raze v odvisnosti od časa segrevanja z VF in pritisne sile konice vzmetnega svinčnika.	34
Preglednica 7: Rezultati meritev debeline filma premaza z mikroskopsko metodo.....	35

KAZALO SLIK

str.

Slika 1: Shematski prikaz porazdelitve temperature pri klasičnem (a) in dielektričnem (b) segrevanju lesa debeline 150 mm, odvisno od časa (Resnik in sod., 1995).....	5
Slika 2: Shema ploščnega kondenzatorja (Kladnik, 1997:311).....	6
Slika 3: Spremembe dielektrične vrednosti in faktorja izgub s frekvenco (Resnik in sod., 1995: 21).....	8
Slika 4: Vektorski diagram povezave toka električne polarizacije (I_C), toka izgub (I_R), rezultirajočega toka (I_T) in smeri deluječega električnega polja (E) (Resnik in sod., 1995).....	9
Slika 6: Izgled Al plošče kondenzatorja za VF segrevanje preskušancev	15
Slika 5: Kondenzator za VF taljenje praškastega premaza in pripravkov	15
Slika 7: Razstavljena naprava, oblepljena s teflonsko folijo za stiskanje praškastega premaza in mešanic v kompakten disk.....	16
Slika 8: Naprava za stiskanje praškastega premaza in pripravkov	16
Slika 9: Naprava AGILENT 4285A PRECISION LCR METER	17
Slika 10: Sonda AGILENT 16451B za merjenje dielektričnih lastnosti materialov z zračno režo.....	18
Slika 11: Povezava sonde Agilent 16451B, meritne naprave Agilent 4285A, Precision LCR Meter z računalnikom med meritvami.....	19
Slika 12: Skica merjenja po nekontaktni metodi	20
Slika 13: Prikaz nastavitev na kontrolni plošči VF generatorja.	23
Slika 14: Taljenje praškastega premaza v kondenzatorju, zaščitenem s Faradayevou kletko	24
Slika 15: Dielektrična vrednost uporabljenih materialov v odvisnosti od frekvence.....	30
Slika 16: Naraščanje izgubnega kota ($\tan\delta$) v odvisnosti od frekvence	30
Slika 17: Prikaz naraščanja dielektričnega faktorja izgub (ϵ'') v odvisnosti od frekvence	31
Slika 18: Vzorci MDF plošče s staljenim praškastim premazom.....	32

KAZALO PRILOG

Priloga 1: Dielektrična vrednost (ε) premaza

Priloga 2: Faktor izgub ($\tan\delta$) pri premazu

Priloga 3: Vrednost (ε) pri premazu s 5 % dodatkom TiO₂

Priloga 4: Vrednost ($\tan\delta$), pri premazu s 5 % dodanega TiO₂

Priloga 5: Vrednost ε pri premazu z 10 % dodatkom TiO₂

Priloga 6: Vrednost $\tan\delta$ pri zmesi z 10 % dodatkom TiO₂

Priloga 7: Vrednost ε pri zmesi s 15 % dodanega TiO₂

Priloga 8: Vrednost $\tan\delta$ pri zmesi s 15 % dodanega TiO₂

Priloga 9: Vrednost ε 6 mm MDF plošče

Priloga 10: Vrednost $\tan\delta$ 6 mm MDF plošče

1 UVOD

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Lesna industrija se zaradi strogih okoljskih zahtev in osveščenosti vse bolj usmerja v postopke površinske obdelave, ki minimalno obremenjujejo okolje. Proizvajalci pohištva uporabljajo premazna sredstva z visoko vsebnostjo suhe snovi, kar bistveno zmanjša količino hlapnih snovi, ki obremenjujejo okolje. Zelo se povečuje tudi uporaba vodnih premaznih sredstev, saj z vodo kot topilom ne obremenjujejo okolja s škodljivimi hlapi. Zadnje čase pa lahko zasledimo viden porast uporabe praškastih premazov na vseh področjih, kjer je zahtevana površinska obdelava in kjer tehnologija materiala dopušča obdelavo z visoko temperaturo (180°C). Velika prednost praškastih premazov je, da ne vsebujejo topil, redčil in ne oddajajo hlapov ali kakršnih koli drugih emisij v okolje ob nanašanju s pomočjo elektrostatike in taljenja v peči. Uporaba praškastih premazov je tehnološko zahtevna, saj je potrebno barvo enakomerno nanesti, nato pa z dovajanjem energije oz. topote premaz staliti in utrditi. Posebno zahtevna je uporaba praškastih premazov na materialih, ki ne prenesejo visokih temperatur. Med občutljive materiale tako spadajo tudi lesni kompoziti ter les, ki se jih po teoriji tudi lahko obdela s praškastimi premazi. Vendar pa trenutno tehnologija na področju lesarstva s praškastimi premazi dopušča le obdelavo vlaknenih plošč.

1.2 CILJI IN NALOGE

Cilj diplomske naloge bo proučiti možnost uporabe visokofrekvenčne (VF) tehnologije za taljenje in utrjevanje praškastih premazov. Segrevanje v VF elektromagnetnem polju je selektivno, kar pomeni, da se material z višjimi dielektričnimi lastnostmi hitreje segreva kot material z nižjimi (dielektričnimi lastnostmi). V ta namen bomo ugotavljali dielektrične lastnosti podlage in praškastih premazov. Poskušali bomo tudi določiti okvirne parametre za utrjevanje praškastih premazov v VF polju.

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Predvidevamo, da je uporaba VF tehnologije primerna za taljenje in utrjevanje praškastih premazov. Praškasti premaz naj bi se zaradi višje dielektrične vrednosti segreval intenzivneje kot podlaga, kar bi pomenilo prihranek energije in časa, porabljenega za nanašanje, taljenje in utrjevanje površinskega sistema.

2 PREGLED OBJAV

2.1 SPLOŠNO O SEGREVANJU LESA ALI LESNIH KOMPOZITOV

Do potrebe po segrevanju lesa običajno pride pri sušenju lesa, parjenju in krivljenju. Segrevanje lesa, ki se vrši pri postopkih, kot so lepljenje in lakiranje, pa je običajno nezaželeno, saj želimo segreti le film laka ali pa lepilni spoj. Zaradi potrebe po selektivnem segrevanju se zato kot najboljši način upošteva neposredno segrevanje. Osnova za tako segrevanje je kondenzator, pri katerem je med elektrodi vstavljen dielektrik, ki ga v tem primeru označujeta lesni kompozit (npr. vlaknena plošča MDF) in praškasti nanos premaza z dodatki, ki se pojavijo v nekaterih vzorcih z vidika izboljšanja dielektričnih lastnosti. Pri takem načinu segrevanja se toplota sprošča v samem obdelovanem materialu, kar pomeni tehnično in ekonomsko prednost.

Ta način je pri segrevanju lesa zastopan predvsem z dielektričnim ali kapacitivnim segrevanjem lesa, oziroma segrevanjem lesa v polju VF napetosti. Poleg kapacitivnega načina segrevanja je poznano še induktivno segrevanje, ki pa je primerno predvsem za dobre prevodnike električnega toka, kar pa les ni (Resnik in sod., 1995).

2.1.1 Toplotna prevodnost kompozita

Toplotna prevodnost (λ) je veličina, ki pove, koliko toplotne energije (q) preteče v časovni enoti (t) skozi debelino snovi (s) s površino (A) pri stalni temperaturni razlici ($T_2 - T_1$) med obema površinama (Resnik in sod., 1995).

$$\lambda = \frac{q * s}{A * t * (T_2 - T_1)} \quad (\text{kJ/mK}) \quad \dots(1)$$

Na toplotno prevodnost lesa vplivajo številni dejavniki, kot so gostota obdelovanca, ki vpliva linearno in pozitivno. Velik vpliv ima tudi vlažnost, saj vpliva tudi na gostoto lesa. Toplotna prevodnost lesa narašča tudi z naraščajočo temperaturo. Ta odvisnost je linearna.

2.1.2 Specifična toplota

Specifična toplota neke snovi ali materiala je razmerje med njegovo toplotno kapaciteto in toplotno kapaciteto vode pri 15 °C. Če je za segretje določene mase snovi (m) od nižje temperature (T_1) do višje temperature (T_2) potrebna določena količina toplote (Q), je specifična toplota (c) definirana z izrazom:

$$c = \frac{Q}{m * (T_2 - T_1)} \quad (\text{kJ/kgK}) \quad \dots(2)$$

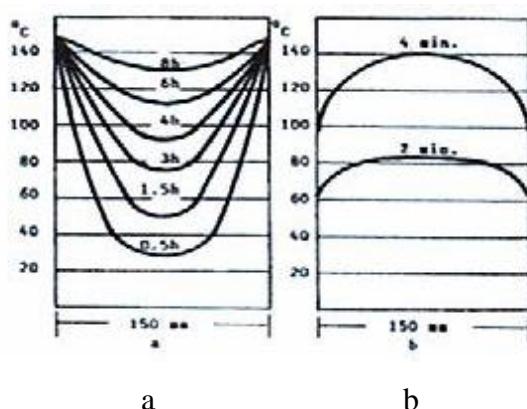
2.2 SEGREVANJE

Pri segrevanju materiala ločimo dva načina segrevanja; posredno in neposredno segrevanje. Pri posrednem načinu segrevanja potrebno toploto dovedemo iz zunanjega medija ali grelca. Toplota pa se na predmet nato dovaja oziroma prenaša s prevajanjem, konvekcijo ali sevanjem. Postopki, ki se pri tem uporablja, so zelo različni in odvisni od segrevanega materiala in vira toplote (Resnik in sod., 1995). Intenzivnost segrevanja je odvisna tudi od termičnih lastnosti materiala, njegove debeline in površine.

Drugi način segrevanja je neposredno segrevanje. V lesni industriji je ta način prisoten večinoma kot dielektrično ali kapacitivno segrevanje. To segrevanje se odvija v VF polju. Kot neposredno segrevanje je poznano tudi induktivno segrevanje, ki je primerno predvsem za dobre prevodnike električnega toka. Toplota pri neposrednem segrevanju nastaja v obdelovanem materialu, zaradi sevanja toplote v okolico pa je porazdelitev temperature po preseku obdelovanca različna glede na globino.

Dielektrično segrevanje se pojavi, če med dve vzporedni kovinski plošči (elektrodi) določene površine (S) postavimo kos lesa (dielektrik) z dielektrično vrednostjo (ϵ), oziroma relativno dielektrično vrednostjo (ϵ_r), s faktorjem izgub ($\text{tg}\delta$) in debelino (d) (Resnik in sod., 1995).

Slika 1 prikazuje porazdelitev temperature pri klasičnem (a) in dielektričnem (b) segrevanju lesa debeline 150 mm, v odvisnosti od časa.



Slika 1: Shematski prikaz porazdelitve temperature pri klasičnem (a) in dielektričnem (b) segrevanju lesa debeline 150 mm, odvisno od časa (Resnik in sod., 1995)

Pri dielektričnem segrevanju lesa se pojavlja več problemov. Temeljni problem je nehomogenost lesa, različna stopnja njegove vlažnosti in istočasna uporaba drugih materialov, kar vse skupaj rezultira v zelo kompleksno električno sliko obdelovanca, ki jo še dodatno zaplete spreminjanje temperature sistema (Resnik in sod., 1995).

2.3 ELEKTRIČNE LASTNOSTI MATERIALOV

2.3.1 Kapacitivnost

Naprava, ki shranjuje električno energijo, se imenuje kondenzator (slika 2). Sestavljen je iz dveh prevodnikov, od katerih en prevodnik nosi pozitivni nabo, drugi pa enako velik,

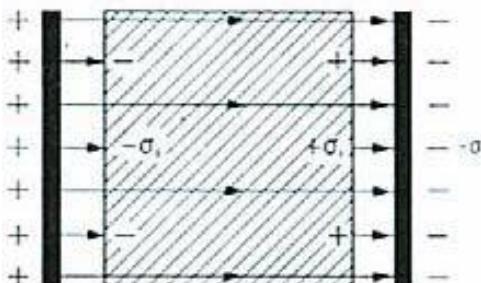
a nasprotni negativni naboј. Polnjenje kondenzatorja poteka tako, da ga priključimo na izvor napetosti. Ko steče električni tok, se elektroni iz pozitivne plošče prenesejo na negativno. Naboј se pri tem veča z večanjem napetosti med ploščama kondenzatorja.

$$e = C * U \quad (\text{As}) \quad \dots(3)$$

Napetost, ki nastane med ploščama, je premosorazmerna naboju na ploščah. Tako se naboј (e) na ploščah kondenzatorja veča z višanjem napetosti (U) med ploščama kondenzatorja.

Faktor (C) v enačbi je kapacitivnost kondenzatorja, ki je definirana kot razmerje električnega naboja (Q), zbranega na dveh elektrodah kondenzatorja, in napetosti med njima. Faktor (C) nam prav tako pove, kakšen naboј lahko kondenzator sprejme pri napetosti 1 V.

$$C = \frac{Q}{U} \quad (\text{F}) \quad \dots(4)$$



Slika 2: Shema ploščnega kondenzatorja (Kladnik, 1997:311)

Če zagotovimo razmik (d) med dvema ploščama kondenzatorja, ki je glede na površino kondenzatorja dovolj majhen, lahko trdimo, da je polje med ploščama homogeno. Do nehomogenosti polja pride le na robovih plošč, prav tako pa se pojavi tudi sevanje polja v okolico, kar pa je zanemarljivo. Kapaciteta kondenzatorja je tem večja, čim večji sta plošči kondenzatorja in čim manjša je razdalja med njima.

Naboj na kondenzatorju (C) se pri isti napetosti poveča s C_0 za faktor ϵ , če v kondenzator vstavimo dielektrik z dielektričnostjo ϵ (Kladnik, 1977).

$$C = C_0 * \epsilon \quad \dots(5)$$

2.3.2 Polarizacija

Električno slabo prevodne snovi, med katere prištevamo tudi les, se imenujejo dielektriki. Te snovi sestavljajo polarne molekule ali molekularni dipoli. Ko dielektrik položimo v električno polje, deluje na vsak molekularni dipol električna sila, ki ga skuša usmeriti v smeri zunanjih silnic, čemur nasprotuje termično gibanje molekul, zato je usmerjenost dipolov le delna (Resnik in sod. 1995).

Usmeritev polarnih molekul v električnem polju nastane zaradi polarizacije. Polarizacijski tok pa je zelo kratkotrajen, če v snovi ni prostih ionov, ki bi podaljšali prevajanje. Pri podaljšanem prevajanju polarizacijskega toka pa govorimo o ionski polarizaciji. Do polarizacije prihaja v heterogenih dielektrikih, ki so sestavljeni iz različnih sestavin. Te pa zagotavlja navzočnost vmesnih površin, kjer se lahko kopijočijo prosti ioni.

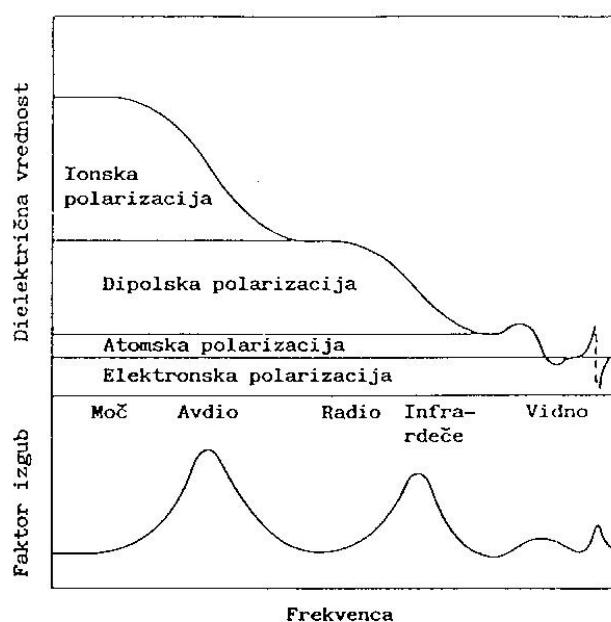
Kot je prikazano na sliki 3, je dosežena polarizacija tem večja, čim večja je napetost električnega polja in čim večja je frekvenca. Zaradi trajajoče orientacije molekul in zaradi trajnih sprememb prihaja med molekulami do trenja, kar povzroči nastajanje toplotne po celotnem prerezu dielektrika. Pri tem se plošče kondenzatorja skoraj ne segrevajo, njihovo segrevanje povzroči le toplota, ki jo oddaja segrevani dielektrik. Razvita toplota po prerezu segrevanega lesa ni enaka (Slika 1), manjše razlike so posledica zgradbe lesa in gradienata vlažnosti in oddajanja toplotne v okolico (Resnik in sod., 1995).

Potrebno je tudi omeniti, da je dipolska polarizacija bolj odvisna od relativne rotacije molekul kot pa od prenestitve obremenitev znotraj molekule ali atoma. Potreben končni čas za to vrsto polarizacije je sorazmeren notranjemu molekularnemu trenju dielektričnega materiala. Kot je bilo že omenjeno, to molekularno trenje povzroča segrevanje dielektrika,

hkrati pa pomeni izgubo energije v dielektriku. Učinek lahko prikažemo z uvedbo kompleksne dielektrične konstante (Resnik in sod., 1995),

$$\epsilon_c = \epsilon' - j\epsilon'' \quad \dots(6)$$

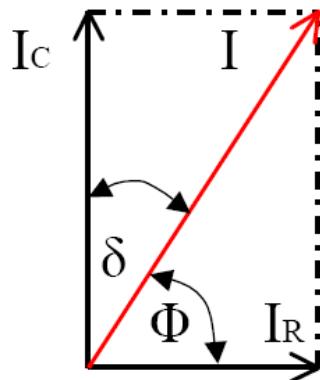
pri čemer je ϵ_c kompleksna dielektrična konstanta, ϵ' prava dielektrična konstanta, j predstavlja operator, ki množi vektorsko količino ϵ'' z 90° , ϵ'' pa je dielektrični faktor izgub, ki je mera za izgubljeno ali absorbirano energijo v dielektričnem materialu na enoto prostornine pri frekvenci 1Hz (Resnik in sod., 1995).



Slika 3: Spremembe dielektrične vrednosti in faktorja izgub s frekvenco (Resnik in sod., 1995: 21)

Ob domnevi, da je polarizacija v fazi s spremenljajočim se električnim poljem, se toplota ne bo izgubila, dokler bo celotna porabljena moč v enem ciklu nič. Če polarizacija ni v fazi s poljem, je mera za izgubljeno oziroma porabljeno energijo podana s celotno močjo.

Na sliki 4 je razvidna povezava med tokom električne polarizacije, tokom izgub in delujočim električnim poljem. Kot Φ med rezultanto in napetostjo je poznan kot fazni kot, kjer je $\cos \Phi$ faktor moči. Kot δ med tokom električne polarizacije in rezultanto se imenuje kot izgub, tangens tega kota pa faktor izgub.



Slika 4: Vektorski diagram povezave toka električne polarizacije (I_C), toka izgub (I_R), rezultirajočega toka (I_T) in smeri deluječega električnega polja (E) (Resnik in sod., 1995).

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_R}{I_c} \quad \dots 6$$

2.3.3 Dielektrična vrednost

Električno polje (E) v snovi je polje, ki z električno silo vpliva na električne delce v njej in na snov, kamor se influira naboj. Influensa je manj izrazita pri neprevodnih snoveh, v katerih se težišče pozitivnega in negativnega naboja atoma pod vplivom zunanjega polja težko razmakneta. Te snovi imenujemo dielektriki. Pojav influence povzroči spremembo električnega polja. Električna poljska jakost se spremeni za faktor ϵ , ki se imenuje dielektričnost (Kladnik, 1977):

$$E = \frac{E_0}{\epsilon} \Rightarrow \epsilon = \frac{E_0}{E} \quad \dots 7$$

- E_0 prvotna električna poljska jakost [N/As]
- E električna poljska jakost v snovi [N/As]
- ϵ dielektričnost snovi

Dielektričnost oz. dielektrično vrednost snovi (ϵ) lahko definiramo kot število, za katero se poveča kapaciteta nekega kondenzatorja, če vakuum med njegovima elektrodama nadomestimo s to snovjo. Dielektrična vrednost je tudi mera za električno energijo, ki se absorbira in shrani v obliki električne polarizacije v neki snovi, ko je ta v električnem polju.

V preglednici 1 so navedene nekatere snovi in njihove dielektrične vrednosti. Med naštetimi snovmi ima visoko dielektričnost voda pri 0 °C, vendar ji dielektričnost pada z višanje temperature. Plinom se dielektričnost giblje okrog vrednosti 1. V nasprotju s plini pa imajo prevodniki neskončno veliko dielektričnost.

Preglednica 1: Dielektrične vrednosti nekaterih snovi (Resnik in sod., 1995: 16)

Snov	Dielektrična vrednost [ϵ]
Zrak (0 °C, 1 bar)	1,00059
Papir	2
Petrolej	2,1
Benzen	2,3
Led (0 °C)	2,8
Les	2 - 8
Trda guma	2,8
Pleksi steklo	3 - 3,6
Celuloid	3 - 4
Eter	4,1
Kremen	4,3
Bakelit	4 - 4,6
Sljuda	4 - 8
Elektroporcelan	6,5
Steklo	6 - 8
Amoniak	15
Etilni alkohol (20 °C)	21
Aceton (20 °C)	21,4
Metilni alkohol 20 °C	33,1
Glicerin (20 °C)	56
Voda (0 °C)	88,0
10 °C	84,1
20 °C	80,4
30 °C	76,8
40 °C	73,3
50 °C	69,9

2.4 SREDNJE GOSTA VLAKNENA PLOŠČA (MDF)

Vlaknena plošča je po ISO definiciji tvorivo, ki je debelejše od 1,5 mm in je izdelano iz lignoceluloznih vlaken, pri čemer so vlakna povezana med seboj predvsem z lastnim naravnim vezivom. Dodana so lahko vezivna sredstva ali drugi dodatki s ciljem izboljšanja lastnosti. Med dodatke tako spadajo lepilna mešanica, ki je sestavljena iz lepilne smole, utrjevalca oz. zadrževalca, hidrofobnega sredstva, antipiretika, fungicida, insekticida,...

Prednost vlaknenih plošč je predvsem v tem, da je z izredno majhnimi vlakni zagotovljena nizka poroznost plošče ter zelo visoka homogenost materiala. Ti dve lastnosti pa se lahko s pridom izkoristita med površinsko obdelavo vlaknene plošče.

2.5 PRAŠKASTI PREMAZ

Ko govorimo o praškastih premazih, imamo v mislih premaz v prahu, katerega delci so manjši od 100 µm. Podana približna vrednost je v večini primerov posledica strukturnih delcev, ki dajejo končnemu izgledu površine njegove lastne karakteristike (struktura). V večini primerov pa je govora o velikostnih razredih praškastih delcev; med min. vrednostjo 5 µm in približno do 50 µm.

Praškasti premazi so mešanica smole, sredstva za sušenje, pigmenta, polnila in drugih dodatkov. Vsi ti gradniki se nato mešajo s potrebno oz. predpisano intenzivnostjo. Praškasta zmes se nato segreje in se med tem še vedno meša. Ko je zmes homogena in zadovoljivo premešana, se prične postopek ohlajevanja in izdelave pogače. Ohlajena pogača se nato transportira v trdnem stanju do mlinov, v katerih se strjena zmes zmelje v delce prahu. Dobljeni fini prah, velikosti od 5 µm do 100 µm, se nato razvršča z vpihovanjem in s siti različnih velikosti. Razvrščen praškast premaz se hermetično zapakira, saj bi vlaga lahko povzročila nevšečnosti pri nadaljnji obdelavi obdelovancev.

Pri izbiri tipov praškastih premazov imamo osnovno na voljo dva tipa premaza. To so: premazi s termoplastično smolo ter premazi z duroplastično smolo. Pri tej izbiri igra ključno vlogo temperatura obdelave, ki je v primeru termoplastične smole med 110 °C in 148 °C. Pri duroplastični smoli pa se večinoma govori o temperaturah nad 170 °C. Glede na temperaturo obdelave lesnih kompozitov je v našem primeru primerna izbira premaza, katerega temperatura obdelave znaša med 110 °C in 148 °C.

Obdelava materiala s praškastim premazom, v našem primeru MDF-a, poteka v dveh fazah. V prvi fazi se že zbrušene elemente vstavi v peč za predgretje na temperaturo okrog 140 °C. V tej fazi se obdelovanec segreje in odda odvečno vlago. Oddana odvečna vlaga bi nam, če je ne bi odstranili, povzročala preglavice pri doseganju želene kvalitete površine. V primeru predhodnega segrevanja se del vlage nabere na površini in posledično izboljša prevodnost materiala. Tako lahko bistveno izboljšamo oprijemnost praškastega premaza na površino. Kot zadnjo prednost segrevanja pa bi omenili boljši oprijem premaza med taljenjem, saj je v drugi fazi tako potrebno segreti in staliti le praškast premaz. Taljenje traja približno 10 min., odvisno od vrste praškastega premaza in proizvajalca.

Debeline nanesenega filma premaza znašajo od zelo tankega nanosa 5 µm do debelega nanosa >100 µm. Debelina nanosa je odvisna od velikosti el. naboja; tako na praškastem premazu kot na obdelovancu.

3 MATERIAL IN METODE

Za izvedbo eksperimentalnega dela diplomske naloge smo uporabili praškast premaz, ki nam ga je posredovalo podjetje BELROS LJUBLJANA d.o.o. Kot dodatek praškastemu premazu pa smo za izboljšanje dielektričnih lastnosti uporabili okside podjetja Samson d.o.o. iz Kamnika. Kot obdelovanec, na katerega smo nanašali praškast premaz in ga poizkušali staliti, smo uporabili MDF ploščo proizvajalca Kaindl, debeline 6 mm.

Eksperimentalni del smo opravili v treh fazah. V prvi fazi smo izmerili ϵ MDF plošč, klimatiziranih na 6,5 % vlažnost in ϵ praškastega premaza z različnimi deleži dodanega TiO_2 . V drugi fazi smo praškast premaz in mešanice nanašali na MDF plošče in jih segrevali v kondenzatorju, ki je bil priključen na VF generator. Tretja faza pa je predstavljala preizkušanje utrjenega filma praškastega nanosa.

3.1 PRIPRAVA MATERIALA

3.1.1 Priprava MDF plošče

V raziskavi smo uporabili kvadratne preizkušance velikosti 200 mm x 200 mm in debeline 6 mm. Zaradi večje enakomernosti debeline plošče smo preizkušance izžagali iz sredinskega dela MDF plošče. Del plošče, ki je bil namenjen za izdelavo preizkušancev, smo pred razžagovanjem na manjše kose skalibrirali ter zbrusili z brusnim papirjem granulacije 180. Tako smo zagotovili dokaj enakomerno debelino preizkušancev, kar je zelo pomembno pri VF segrevanju.

Zaradi zagotavljanja enakih pogojev pri preskusih smo dali preizkušance v komoro, kjer so se klimatizirali na 6,5 % vlažnost. Postopek klimatizacije je trajal 3 tedne oz. do točke, ko testni vzorci po treh zaporednih testiranjih niso spremenili svoje mase.

Vzporedno smo pripravili tudi praškast premaz z aditivi. V našem primeru smo dodali TiO₂. Namen aditiva je bil povečanje dielektrične lastnosti praškastega premaza. Pri pripravi mešanic je bilo potrebno paziti na grudice TiO₂, katere bi ob nadaljnji meritvah povzročale napake v dobljenih rezultatih.

3.1.2 Priprava mešanic praškastega premaza

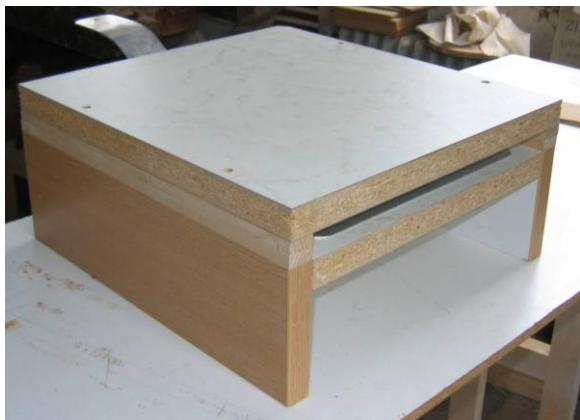
Pri pripravi mešanic smo morali biti zelo pozorni na mešanje prašnega premaza in aditiva. Paziti smo morali predvsem na pravilno odmerjeno količino aditiva, saj je bila možnost napake zaradi majhnih količin pripravljene mešanice večja. Kot napako imamo v mislih predvsem preveliko količino dodanega aditiva. Mešanje smo vršili s stresanjem in s stekleno mešalno palico. Ker so se med mešanjem pojavile tudi manjše grudice TiO₂, smo jih dodatno razdrobili z mešalno palico, ki je bila spodaj zaobljena z namenom boljšega dostopa do dna kozarca, v katerem smo pripravljali mešanico.

3.2 IZDELAVA IN PRIPRAVA ORODJA ZA TESTIRANJE

3.2.1 Izdelava nosilca elektrod ali ploščnega kondenzatorja

Ploščni kondenzator za VF segrevanje praškastega premaza smo naredili iz iverne plošče, ki je bila predhodno kalibrirana in nato oplemenitena z ultrapasom. Kalibracija materiala je bila potrebna za zagotovitev enakomernih razmakov med elektrodama. Za razmak med spodnjo in zgornjo ploskvijo elektrod smo uporabili prav tako kalibrirane lesene letve iz hruškovine. Vlažnost lesa letev je bila 9 % in je bila zagotovljena v sobnih klimatskih razmerah. Po končani obdelavi smo letve impregnirali z dvema tankima slojema poliuretanskega laka. S tem smo zagotovili minimalno nabrekanje ali krčenje lesa med poskusom. Debelina letev je zagotovila maks. 3 mm razmaka med plastjo praškastega premaza in elektrodo. Razmak med elektrodama, ki je znašal 3 mm, je bil potreben zaradi občasne neenakomerne porazdelitve praškastega nanosa. Za elektrode kondenzatorja smo

uporabili 2 mm debelo Al ploščo, pri kateri smo na zadnjem delu pripravili daljši trak Al pločevine za priklop na VF generator (slika 4 in slika 5).



Slika 5: Kondenzator za VF taljenje praškastega premaza in pripravkov

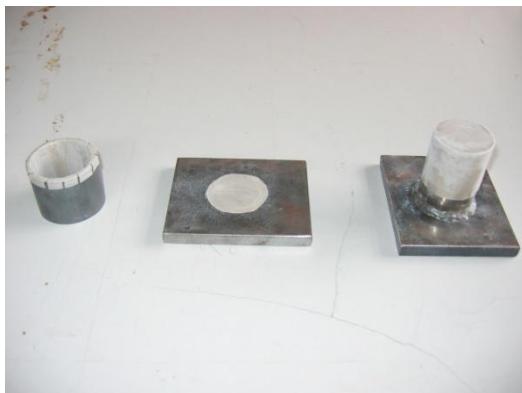


Slika 6: Izgled Al plošče kondenzatorja za VF segrevanje preskušancev

3.2.2 Izdelava naprave za stiskanje praškastega premaza

Napravo za stiskanje praškastega premaza smo naredili iz 10 mm debele pločevine, 80 mm visokega jeklenega valja s premerom 65 mm in 70 mm visokega valja z notranjim premerom 68 mm. Polni valj smo privarili na pravokotnik 10 mm pločevine, drugi pravokotnik pločevine in votli valj pa sta ostala prosta. Dele, ki pridejo v stik s praškastim premazom, smo oblepili s samolepljivo teflonsko folijo. Folija nam je zagotovila enostavno

odstranjevanje stisnjenega vzorca, saj so bili le ti zelo krhki in so se ob manjšem pritisku ob odstranjevanju zdrobili ali zlomili (slika 6 in slika 7).



Slika 7: Razstavljena naprava, oblepljena s teflonsko folijo za stiskanje praškastega premaza in mešanic v kompakten disk



Slika 8: Naprava za stiskanje praškastega premaza in pripravkov

3.3 MERJENJE DIELEKTRIČNIH LASTNOSTI

3.3.1 Opis naprave in pripomočkov

Merjenje dielektričnih lastnosti preizkušancev smo opravili z napravo AGILENT 4285A PRECISION LCR METER in sondjo AGILENT 16451B. Meritve smo opravili pri 26 različnih frekvencah, ki so logaritemsko naraščale, od 79,4 kHz do 25,119 MHz. Naprava

omogoča meritve v frekvenčnem območju od 75 kHz do 30 MHz z 0,1 % natančnostjo in merjenje naslednjih parametrov:

- Kapacitivnost (C),
- Upornost (R),
- Prevodnost (G),
- Absolutno vrednost impedance ($|Z|$),
- Absolutno vrednost dostopa ($|Y|$),
- Induktivnost (L),
- Izgubni faktor (D),
- Faktor kakovosti (Q),
- Sorazmerno serijsko upornost ($R_{s,}$)
- Vzporedno upornost (R_p),
- Fazni kot (θ).



Slika 9: Naprava AGILENT 4285A PRECISION LCR METER

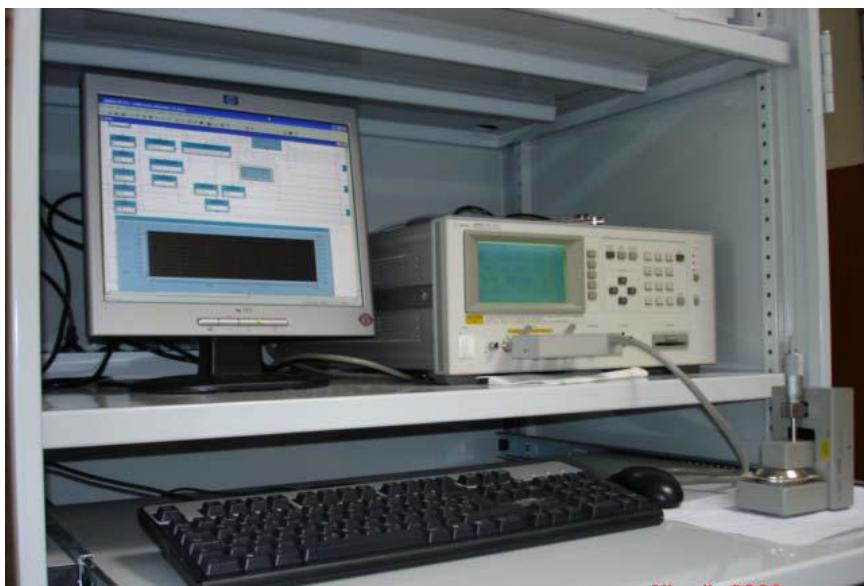
Sonda AGILENT 16451B, namenjena za merjenje dielektrične konstante in faktorja izgub, nam omogoča dva načina merjenja dielektričnih lastnosti. Prvi način je kontaktna metoda, kjer se elektrodi stikata z materialom in med njimi ni zračne reže. Pri tej metodi se pri materialih, ki niso prevodni, med zgornjo elektrodo in preizkušanec vstavi ali nanese tanek film prevodnega materiala. V drugem primeru pa govorimo o nekontaktni metodi, saj je med preizkušancem in zgornjo elektrodo zračna reža.



Slika 10: Sonda AGILENT 16451B za merjenje dielektričnih lastnosti materialov z zračno režo

Lastnost sonde AGILENT 16451B:

- Frekvenčno območje: ≤ 30 MHz,
- Uporabno napetostno območje: ± 42 V,
- Dolžina kabla: 1m,
- Delovna temperatura: 0 °C-55 °C,
- Vlažnost: $\leq 95\%$ (40 °C),
- Masa: 3,7kg.



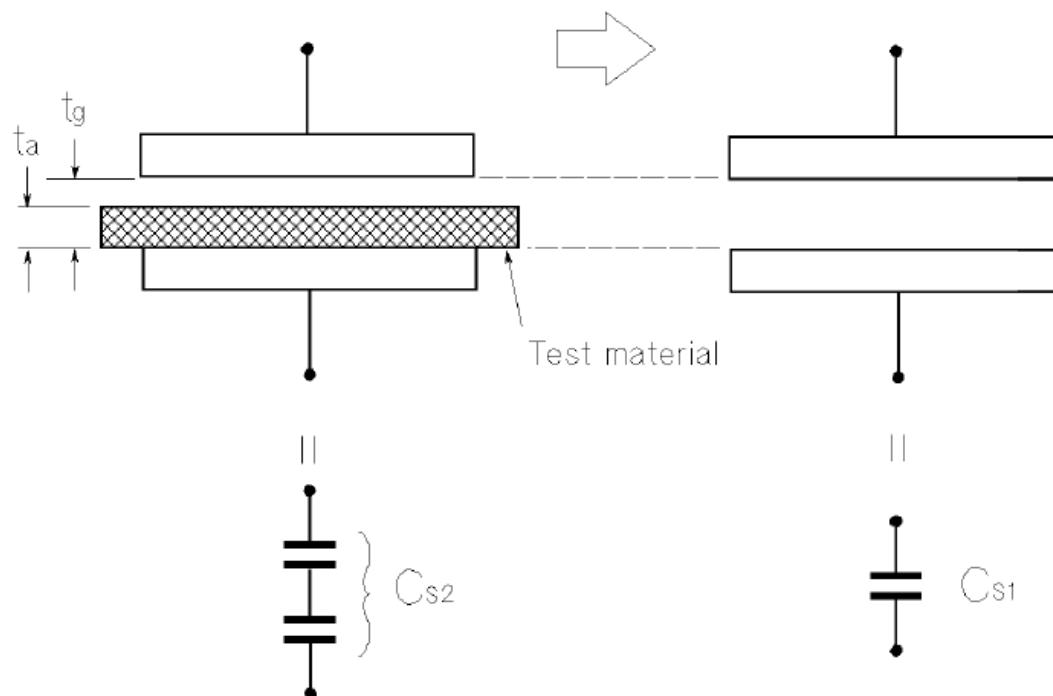
Slika 11: Povezava sonde Agilent 16451B, merilne naprave Agilent 4285A, Precision LCR Meter z računalnikom med meritvami.

3.3.2 Ugotavljanje dielektričnih lastnosti z nekontaktno metodo

Pri postopku ugotavljanja dielektričnih lastnosti z nekontaktno metodo izračunamo dielektrično vrednost materiala iz razlike kapacitet praznega in polnega kondenzatorja. Meritev izvedemo pri konstantnem razmaku elektrod. Metoda je primerna za filmotvorne, močno stisljive in mehke materiale.

Prednost te metode se pokaže pri materialih, ki bi pri uporabi kontaktne metode zaradi neravnin lahko tvorili zračne žepke in s tem povzročili nenatančne ali celo napačne meritve. Na preizkušanec zaradi zračne reže tudi ni potrebno nanašati tankega filma prevodnega materiala, kot je to potrebno pri kontaktni metodi.

Slabost te metode se pokaže le v porabi časa za opravljanje meritve, saj je meritev potrebno opraviti dvakrat. Poleg tega pa so formule za izračun želenih veličin kompleksnejše.



Slika 12: Skica merjenja po nekontaktni metodi

Pri nekontaktni metodi uporabimo formuli 9 in 10 za izračun dielektrične konstante in izgubnega faktorja preizkušancev.

$$\epsilon_r = \frac{1}{1 - \left(1 - \frac{C_{s1}}{C_{s2}}\right) \times \frac{t_g}{t_a}} \quad \dots(9)$$

$$D_t = D_2 + \epsilon_r \times (D_2 - D_1) \times \left(\frac{t_g}{t_a} - 1\right) \quad \dots(10)$$

Pri čemer je:

- ϵ_r dielektrična konstanta preizkušanca,
- D_t izgubni faktor preizkušanca,
- C_{s1} kapacitivnost brez preizkušanca [F],
- D_1 izgubni faktor brez preizkušanca,

- t_g razdalja med elektrodama [m],
 C_{s2} kapacitivnost s preizkušancem [F],
 D_2 izgubni faktor s preizkušancem,
 t_a povprečna debelina preizkušanca [m].

3.3.3 Izvedba meritve

Naprava AGILENT 4285A PRECISION LCR METER je bila povezana z računalnikom in krmiljena preko programa HP VEE Pro. S pomočjo napisanega programa pošilja računalnik ukaze za nastavitev in meritve napravi za merjenje dielektričnih lastnosti. V povratni smeri pa sprejema merjene veličine, ki jih nato pretvori v želene podatke. Ob vsakem zagonu programa se izvrši prednastavljeni število meritve, pri čemer je vsaka meritev opravljena na želeni frekvenci pod določeno zaporedno številko meritve. V našem primeru smo opravili 26 meritve v frekvenčnem območju od 79,4 kHz do 25,119 MHz.

Pri uporabljeni nekontaktni metodi za merjenje dielektričnih lastnosti smo prvo meritve opravili s prazno sondijo, pri čemer smo pred meritvijo nastavili primeren razmak med elektrodama. Razmak smo določili na podlagi izmerjene debeline preizkušanca, kateri smo dodali še želeni odmik elektrode od testnega vzorca. Prav tako je bilo potrebno pred vsako meritvijo izmeriti debelino merjenega vzorca in vrednost vnesti v program preko vmesnika, ki nam je omogočal neposredno vnašanje debeline. Ta način nam posledično zmanjša možnost napak in tako poveča verodostojnost podatkov. Poleg debeline merjenega vzorca zahteva program tudi maso istega vzorca, katero smo določili s tehtanjem in vnašali ročno. Ko smo nastavili vse parametre, smo izdali ukaz za začetek meritve. Meritve so se začele pri prvi prednastavljeni frekvenci, ki je bila v našem primeru 79,4 kHz, in se nadaljevale po vrstnem redu do zadnje nastavljene frekvence. Naprava je izmerila kapacitivnost in izgubni faktor za vsako frekvenco posebej. Vsi podatki so se nato generirali v želeni datoteki. Dobljene podatke smo nato razvrstili v naslednjem vrstnem redu: oznaka preizkušanca, masa, povprečna debelina, ϵ ali dielektrična vrednost in tan δ oz. izgubni kot. Po končanih poskusih smo nato vse podatke obdelali v programu Excel.

3.4 TALJENJE PRAŠKASTEGA PREMAZA

3.4.1 Visokofrekvenčni generator

VF generator je v našem primeru namenjen za napajanje kondenzatorja v katerem se segreva želena snov. Frekvenčno območje VF generatorja, namenjenega dielektričnemu segrevanju in lepljenju lesa, sega od 4 MHz do približno 30 MHz. Za zagotavljanje tako visoke frekvence pa je potrebno nizkofrekvenčno energijo iz omrežja pretvoriti v visokofrekvenčno. To je izvedeno s pomočjo elektronskega visokofrekvenčnega generatorja, ki je grajen kot enostopenjski, samovzbujevalni ojačevalnik oziroma oscilator s primernim povratnim sklopom.

Kot osnovne sestavne dele visokofrekvenčnega generatorja štejemo usmernik, elektronko oz. triodo in nihajni krog s povratnim sklopom. Usmernik sestavljajo diode in transformator, ki je priključen na omrežno napetost 380 V. Na izhodu usmernika je visoka enosmerna napetost, običajno nekaj kV, ki je potrebna za triodo, ki deluje kot ojačevalka. Visokofrekvenčna napetost nastaja na anodnem resonančnem nihajnjem krogu. S povratnim sklopom se v primerni velikosti in fazi dovede triodi na mrežico, ki jo ojača in s tem nadalje vzbuja nihanje v anodnem krogu. Trioda je zračno ali vodno hlajena, kar je odvisno od izhodne moči VF generatorja. Vsi osnovni sestavnici generatorja so v kovinski omari, na kateri so meritni instrumenti, od katerih sta vedno vgrajena ampermetri za anodni in mrežni tok. Za varno in brezhibno delovanje naprave skrbi vrsta varnostnih naprav in stikal, ki npr. pri prevelikem mrežnem ali anodnem toku generator izklopijo. Z ustrezno avtomatiko je poskrbljeno tudi za pravilno zaporedje vklapljanja in izklapljanja generatorja, ki potrebuje za polno obratovalno pripravljenost 1 do 2 min. Regulacija moči generatorja je izvedena z uravnavanjem napetosti usmernika (Resnik in sod., 1995).

Tako dobljena visokofrekvenčna energija se iz VF generatorja privede do elektrod. Za prenos energije z oscilatorja na elektrode se uporablja induktivni sklop, ker obdrži oscilator pri takem načinu vklapljanja konstantno frekvenco pri menjaju bremena med elektrodami.

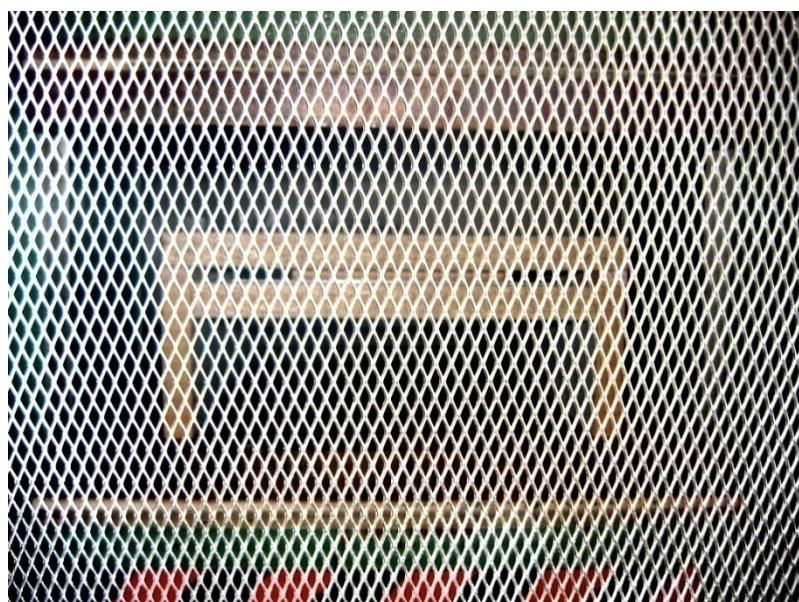
3.4.2 Taljenje praškastega premaza

Taljenje praškastega premaza v VF polju smo izvajali z VF generatorjem DETEL podjetja Kli Logatec in kondenzatorjem domače izdelave, s katerim so nam bili zadovoljeni minimalni pogoji.

Za uspešno izvedbo eksperimenta smo najprej morali zagotoviti enakomeren posip premaza po MDF plošči debeline 6 mm. Ker nismo imeli na voljo pištole za elektrostatično nanašanje praškastega premaza, smo posip izvajali s finim cedilom. Sam postopek je bil zelo zamuden, saj je že ob malo močnejšem trzaju z roko na vzorčno ploščo padla večja količina praškastega premaza. Posledično pa je nato bilo potrebno postopek ponoviti, saj je debelejši nanos premaza že onemogočal vstavitev vzorca za taljenje med elektrodi, saj je bilo praznega prostora med elektrodo in obdelovancem le 1,5 mm do 2 mm. Nato je bilo potrebno nastaviti anodni in mrežni tok, pri čemer je ob napačni nastavitvi teh dveh parametrov varnostno stikalo izklopilo napravo. Poleg nastavitev mrežnega in anodnega toka pa je bilo potrebno nastaviti tudi čas segrevanja preizkušanca na maksimalno 30 s.



Slika 13: Prikaz nastavitev na kontrolni plošči VF generatorja.



Slika 14: Taljenje praškastega premaza v kondenzatorju, zaščitenem s Faradayevim kletkom

3.5 TESTIRANJE POVRŠINSKIH LASTNOSTI FILMA PREMAZA

3.5.1 Testiranje odpornosti utrjenega filma praškastega premaza proti razenju (SIST EN ISO 1518)

Za določanje odpornosti utrjenega filma premaza proti razenju smo uporabili vzemtni svinčnik s konico premera 1 mm. S pomikom drsnega obroča smo nastavili ustrezne obremenitve na konico svinčnika, ki sta v našem primeru znašali 7 N in 10 N. Svinčnik smo držali pravokotno na podlago, da smo lahko zagotovili enakomeren pritisk konice vzemnega svinčnika na podlago. Za zagotovitev ravne potega smo si pomagali z ravnilom. Z vzemnim svinčnikom smo razili na razdalji približno 10 cm.

Deformaciji, nastali pod obremenitvijo, smo nato izmerili širino s pomočjo povečevalnega stekla z merilno skalo. Izmero smo naredili tako, da smo s povečevalnim stekлом z merilno skalo opazovali nastalo razo vzdolž vzorca in s pomočjo merilne skale ocenjevali širino poškodbe. Oceno poškodbe smo nato vnesli v preglednico.

3.5.2 Merjenje debeline filma premaza z mikroskopsko metodo (SIST EN ISO 2808)

Iz vzorcev smo izžagali 5 cm dolge in 1cm široke manjše vzorce. Nato smo jih položili pod stereo-lupo in na celotni dolžini vzorca izvedli od 8 do 12 meritev. Od dobljenih meritev smo že na začetku izločili najvišjo in najnižjo dobljeno vrednost. Podatke pod lupo smo odčitavali v enotah, ki smo jih nato pretvorili v μm . 1 enota na skali pod lupo predstavlja pri 120x povečavi $83 \mu\text{m}$.

4 REZULTATI

4.1 REZULTATI MERITEV DIELEKTRIČNIH LASTNOSTI PRAŠKASTEGA PREMAZA

V preglednicah 2 do 5 so prikazane povprečne dielektrične vrednosti (ϵ), faktorja izgub ($\tan\delta$) in dielektričnega faktorja izgub (ϵ''). Vrednosti se nanašajo na rezultate, izmerjene tokom eksperimentalnega dela diplomske naloge in sicer na premaz brez primesi, premaz z dodanimi 5 % TiO₂, 10 % TiO₂ in 15 % TiO₂. Med merjenjem je bila zagotovljena konstantna temperatura 22 °C v prostoru. Relativna zračna vlažnost pa se je gibala okrog 60 %.

Preglednica 2: Povprečne vrednosti dielektričnih lastnosti za praškast premaz brez primesi

f [MHz]	ϵ	$\tan\delta$	ϵ''
0,0794	3,48	0,0136	0,0472
0,1000	3,47	0,0141	0,0490
0,1259	3,46	0,0136	0,0470
0,1585	3,46	0,0147	0,0508
0,1995	3,46	0,0151	0,0521
0,2512	3,44	0,0155	0,0533
0,3162	3,43	0,0164	0,0563
0,3981	3,43	0,0164	0,0562
0,5012	3,42	0,0168	0,0575
0,631	3,41	0,0177	0,0602
0,7943	3,40	0,0181	0,0616
1,0000	3,39	0,0191	0,0648
1,2589	3,38	0,0196	0,0664
1,5849	3,38	0,0203	0,0684
1,9953	3,37	0,0213	0,0718
2,5119	3,35	0,0225	0,0754
3,1623	3,35	0,0226	0,0756
3,9811	3,33	0,0287	0,0955
5,0119	3,34	0,0449	0,1497
6,3095	3,33	0,0521	0,1734
7,9433	3,32	0,0618	0,2051
10,000	3,31	0,0740	0,2451

Se nadaljuje

Nadaljevanje preglednice 2

12,589	3,31	0,0904	0,2988
15,849	3,31	0,1113	0,3679
19,953	3,31	0,1345	0,4452
25,119	3,32	0,1512	0,5022

Preglednica 3: Povprečne vrednosti dielektričnih lastnosti za praškast premaz s 5 % dodanega TiO₂

f [Mhz]	ϵ	$\tan\delta$	ϵ''
0,0794	3,70	0,0137	0,0505
0,1000	3,68	0,0146	0,0538
0,1259	3,68	0,0151	0,0553
0,1585	3,67	0,0150	0,0551
0,1995	3,66	0,0159	0,0582
0,2512	3,65	0,0159	0,0580
0,3162	3,64	0,0163	0,0595
0,3981	3,65	0,0163	0,0595
0,5012	3,62	0,0170	0,0616
0,631	3,62	0,0176	0,0636
0,7943	3,61	0,0181	0,0655
1,0000	3,60	0,0189	0,0680
1,2589	3,59	0,0202	0,0727
1,5849	3,58	0,0204	0,0730
1,9953	3,57	0,0212	0,0758
2,5119	3,55	0,0227	0,0806
3,1623	3,55	0,0228	0,0810
3,9811	3,54	0,0283	0,1002
5,0119	3,54	0,0453	0,1605
6,3095	3,53	0,0527	0,1862
7,9433	3,52	0,0623	0,2195
10,000	3,52	0,0747	0,2626
12,589	3,51	0,0910	0,3194
15,849	3,51	0,1124	0,3948
19,953	3,51	0,1072	0,3769
25,119	3,52	0,1098	0,3868

Preglednica 4: Povprečne vrednosti dielektričnih lastnosti za praškast premaz z 10 % dodanega TiO₂

f [Mhz]	ϵ	$\tan\delta$	ϵ''
0,0794	3,74	0,0146	0,0545
0,1000	3,73	0,0151	0,0563
0,1259	3,72	0,0149	0,0556
0,1585	3,72	0,0152	0,0567

Se nadaljuje

Nadaljevanje preglednice 4

0,1995	3,71	0,0167	0,0621
0,2512	3,69	0,0167	0,0618
0,3162	3,69	0,0176	0,0650
0,3981	3,70	0,0204	0,0756
0,5012	3,67	0,0179	0,0657
0,631	3,67	0,0184	0,0673
0,7943	3,66	0,0189	0,0693
1,0000	3,65	0,0197	0,0718
1,2589	3,63	0,0213	0,0774
1,5849	3,62	0,0212	0,0768
1,9953	3,61	0,0217	0,0786
2,5119	3,59	0,0233	0,0836
3,1623	3,60	0,0239	0,0859
3,9811	3,58	0,0263	0,0942
5,0119	3,59	0,0469	0,1683
6,3095	3,58	0,0543	0,1945
7,9433	3,57	0,0642	0,2293
10,000	3,56	0,0770	0,2746
12,589	3,56	0,0936	0,3329
15,849	3,56	0,1161	0,4130
19,953	3,56	0,1415	0,5044
25,119	3,57	0,1047	0,3740

Preglednica 5: Povprečne vrednosti dielektričnih lastnosti za praškast premaz s 15 % dodanega TiO₂

f [Mhz]	ϵ	$\tan\delta$	ϵ''
0,0794	3,77	0,0139	0,0525
0,1000	3,79	0,0153	0,0579
0,1259	3,79	0,0157	0,0596
0,1585	3,78	0,0151	0,0570
0,1995	3,76	0,0157	0,0592
0,2512	3,76	0,0160	0,0602
0,3162	3,75	0,0160	0,0602
0,3981	3,74	0,0186	0,0694
0,5012	3,73	0,0171	0,0636
0,631	3,72	0,0176	0,0654
0,7943	3,71	0,0180	0,0667
1,0000	3,70	0,0187	0,0690
1,2589	3,69	0,0200	0,0738
1,5849	3,67	0,0189	0,0692
1,9953	3,67	0,0202	0,0741
2,5119	3,66	0,0218	0,0796
3,1623	3,66	0,0222	0,0812

Se nadaljuje

Nadaljevanje preglednice 5

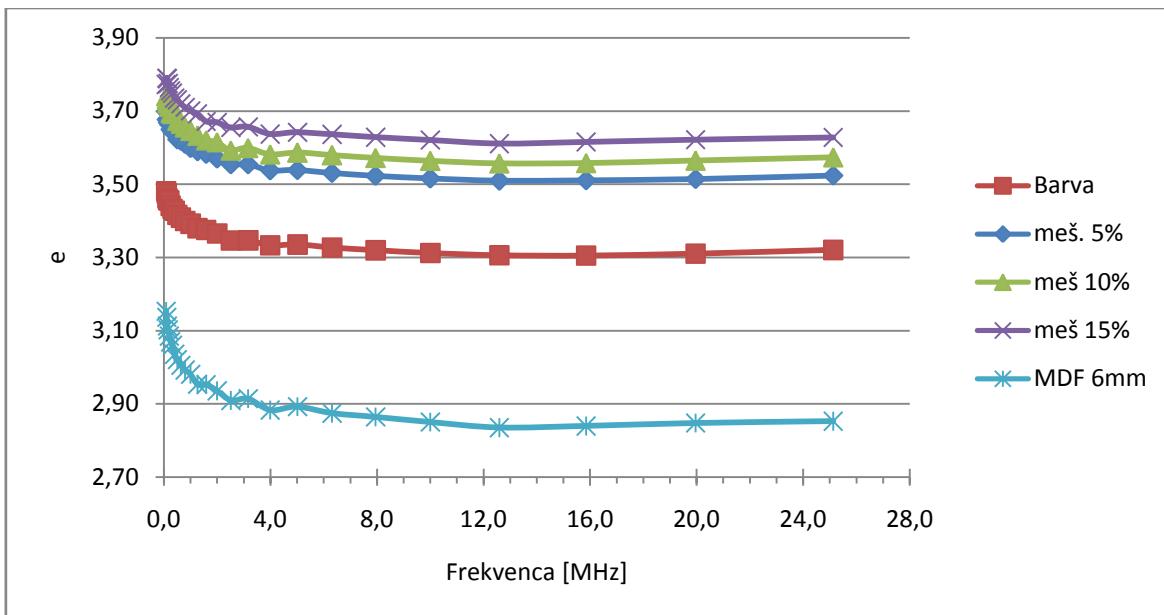
3,9811	3,64	0,0268	0,0974
5,0119	3,64	0,0456	0,1661
6,3095	3,64	0,0530	0,1928
7,9433	3,63	0,0627	0,2273
10,000	3,62	0,0752	0,2724
12,589	3,61	0,0920	0,3322
15,849	3,62	0,1143	0,4132
19,953	3,62	0,1389	0,5031
25,119	3,63	0,1594	0,5782

4.1.1 Grafični prikaz meritev dielektričnih lastnosti praškastega premaza in praškastega premaza z dodanim TiO₂

Meritve so grafično predstavljene s pomočjo povprečnih vrednosti izmerjenih veličin. Prav tako je na slikah prikazana odvisnost posamezne veličine od frekvence. Na slikah 13, 14 in 15 so skupaj združene meritve vseh uporabljenih materialov; in sicer :

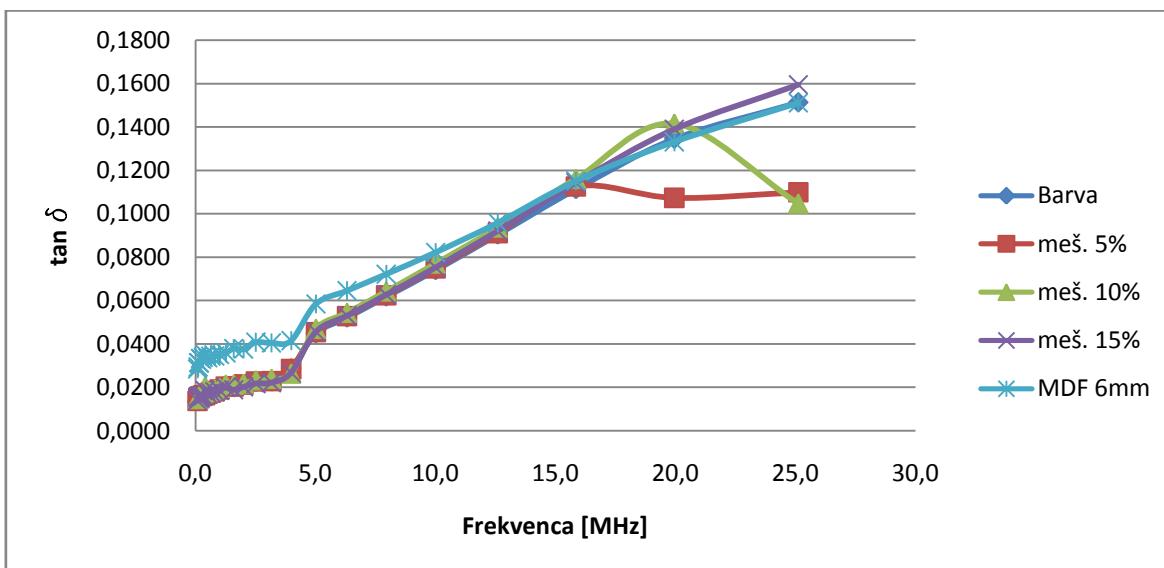
- Premaz,
- Premaz s 5% dodanega TiO₂,
- Premaz z 10% dodanega TiO₂,
- Premaz s 15% dodanega TiO₂,
- MDF plošča debeline 6mm.

Na sliki 15 je dobro vidna razlika v dielektrični vrednosti posameznih pripravkov praškastega premaza. Ugotovimo lahko, da je dodani TiO₂ dvignil ϵ pripravku, kar je predvsem vidno pri 5 % mešanici. Pri nadaljnjih pripravkih oz. 10 % in 15 % mešanici je višanje vrednosti ϵ bistveno manjše.

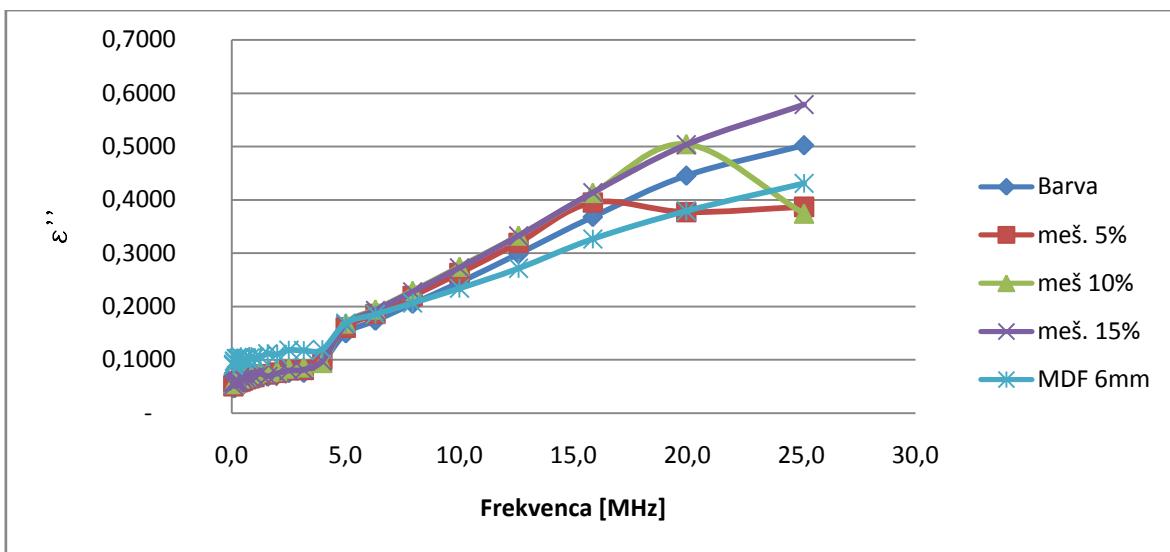


Slika 15: Dielektrična vrednost uporabljenih materialov v odvisnosti od frekvence

Slika 16 prikazuje faktor izgub proučevanih materialov. Ugotovimo lahko, da faktor izgub narašča z višanjem frekvence. Razvidno je tudi, da je $\tan\delta$ MDF plošče višji od preostalih preizkušancev. To nakazuje, da se bo MDF plošča potencialno segrevala intenzivneje od premaza in mešanic.

Slika 16: Naraščanje izgubnega kota ($\tan\delta$) v odvisnosti od frekvence

Ker je dielektrični faktor izgub ϵ'' mera za izgubljeno energijo v dielektričnem materialu, lahko na osnovi rezultatov na sliki 17 ugotovimo, da intenzivnost segrevanja narašča s frekvenco.



Slika 17: Prikaz naraščanja dielektričnega faktorja izgub (ϵ'') v odvisnosti od frekvence

4.2 VISOKOFREKVENČNO TALJENJE PRAŠKASTEGA PREMAZA

Visokofrekvenčno taljenje praškastega premaza je potekalo v dveh delih. V prvem delu smo na preizkušanec nanesli primerno količino praškastga premaza, ki se je gibala od 100 g/m^2 do 150 g/m^2 , in ki smo jo enakomerno porazdelili po vzorcu velikosti $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$. Nato smo vzorec vstavili med obe elektrodi in nastavili čas delovanja visokofrekvenčnega generatorja na časovne periode od 25 s do 50 s. Čas taljenja praškastega premaza smo povečevali v intervalih po 5 s.

Vzorce s primesjo TiO_2 smo talili v časovnem intervalu 45 s. Zanimala nas je predvsem razlika med uspešno utrjenimi vzorci premaza brez dodanega TiO_2 in premaza z dodanim TiO_2 . Čas 45 s pa smo določili na podlagi testnih vzorcev premaza brez dodanega TiO_2 , saj se je v tem časovnem intervalu premaz uspešno stalil.



Slika 18: Vzorci MDF plošče s staljenim praškastim premazom

4.2.1 Taljenje praškastega premaza brez dodanega TiO_2 v času od 25 s do 45 s

Pri taljenju premaza v času 25 s se je film premaza stalil le do mere, ki je preprečevala, da ob rokovovanju z vzorcem z njega ni odpadal premaz. Film premaza je že pri vizualni oceni z očesom kazal na to, da se prašni delci med seboj niso sprijeli v zadostni meri. Lahko bi tudi rekli, da je površina izgledala puhla. Prav tako je bila še vedno vidna debelina nanosa, kakršna je bila pred taljenjem premaza, kar pomeni, da se premaz ni razlil oz. sprijel s površino. Ob rokovovanju z vzorcem so nam na rokah ostale sledi praškastega premaza. Kljub vsemu pa je bil film še vedno dovolj sprijet, da se med spihamanjem z zrakom z njega ni odstranjeval prah ali drugi manjši delci.

Ob podaljšanju časa taljena na 30 s je bila že opazna razlika v primerjavi z vzorcem iz 25s intervala. Vzorec je imel bolj homogen in opazno bolj strjen film premaza. Kljub kvalitetnejše utrjenemu filmu premaza pa nam je na rokah ob rokovovanju z vzorci še vedno ostalo nekaj praškastega premaza, kar nakazuje, da film premaza še vedno ni bil zadostno staljen. Potrebno pa je omeniti, da se je premaz kljub prej omenjeni nezadostni staljenosti na prvi pogled zadovoljivo sprijel s podlagom.

Sorazmerno s podaljševanjem časa taljenja se je opazno povečevala kvaliteta utrjevanja filma premaza. Kot pri predhodno omenjenih vzorcih je bilo pri vzorcu iz 35 s intervala taljenja še vedno mogoče opaziti manjše sledi praškastega premaza na rokah. Kljub sledem premaza na rokah pa že lahko trdimo, da smo se približali zadovoljivi utrditvi praškastega premaza s pomočjo visoke frekvence. Za dodatno potrditev opažanj smo opravili informativni test z razenjem. Z opravljenim testom smo bili zadovoljni, saj je nakazoval, da je adhezija že dovolj močna, da se premaz med razenjem ne kruši.

Vzorci iz 40 s intervala so bili na videz in otip identični vzorcem staljenega premaza iz 35 s intervala. Pri samem segrevanju oz. taljenju premaza je prišlo le do višje končne temperature MDF plošče, kar je za nas predstavljalo negativen stranski učinek intenzivnejšega oddajanja vlage v testnem vzorcu.

Pri vzorcih, taljenih v časovnem intervalu 45 s in 50 s, ni bilo opaziti nobene razlike. Premaz se je zadovoljivo utrdil in ni puščal vidnih sledi ob rokovjanju z vzorci. Opazna je bila tudi bistvena razlika v barvnem odtenku premaza v primerjavi z vzorci iz 25 s do 35 s intervala. Po tem sklepamo, da se je barva stalila v večji meri in ustvarila primeren ton.

4.2.2 Taljenje praškastega premaza z dodanim TiO₂

Taljenje praškastega premaza s primesjo TiO₂ v razmerjih od 5 % do 15 % smo izvajali le v časovnem intervalu 45 s. Vsi vzorci praškastega premaza z dodatkom so se stalili do zadovoljive mere in na njih ni bilo mogoče opaziti pomanjkljivosti pri utrjenem filmu premaza. Lahko omenimo le sledi TiO₂ na rokah, ko smo z njimi pogladili površino, kar pa je bila posledica naknadnega dodajanja TiO₂ med praškast premaz.

Občasno je prišlo pri taljenju v visokofrekvenčnem polju do manjših napak oz. nabiranja kondenzirane vode na zgornji elektrodi, kar je na določenih mestih preizkušanca povzročilo slabše taljenje filma premaza. To je bilo mogoče opaziti le na manjših predelih na vzorcu, pri čemer je bil preostali del, ki ni bil izpostavljen povišani vlagi, zadovoljivo staljen.

4.3 TESTIRANJE KVALITETE UTRJENEGA FILMA PRAŠKASTEGA PREMAZA

Po končanem taljenju in utrjevanju praškastega premaza smo vzorce za tri tedne pustili pri sobnih klimatskih pogojih. Vzorci so bili ves čas med seboj ločeni, da med njimi ni bilo stika.

Vzorce smo nato testirali z dvema metodama. Določali smo odpornost proti razenju in merili debeline utrjenih filmov. Pri testnih vzorcih smo se pri testiranju predvsem osredotočili na razlike med vzorci glede na čas taljenja praškastega premaza. Le pri merjenju debeline utrjenega filma smo opazovali parametra nanos [g/m^2] in čas taljenja.

4.3.1 Določanje odpornosti utrjenega filma praškastega premaza proti razenju

V preglednici 6 so prikazane vrednosti oz. širina raze pri določeni obremenitvi vzmetnega svinčnika glede na čas taljenja praškastega premaza.

Preglednica 6: Debela raze v odvisnosti od časa segrevanja z VF in pritisne sile konice vzmetnega svinčnika.

	Čas segrevanja z VF [s]	Sila na konici –	
		Raza v mm	
		7 N	10 N
1	40	0,3	0,4
2	25	Ni staljeno	
3	25	Ni staljeno	
4	30	Se oddrobi	
5	30	Se oddrobi	
6*	35	0,4	0,4
7	45	0,3	0,4
8	40	0,3	0,3
9	35	0,4	0,4
10	45	0,2	0,3
11	50	0,3	0,4

* na nekaterih mestih se je premaz odkrušil

4.3.2 Merjenje debeline filma premaza z mikroskopsko metodo (SIST EN ISO 2808)

Rezultati merjenja debeline filma premaza so prikazani v preglednici 7. Iz rezultatov je razvidno da je bil nanos praškastega premaza neenakomeren. Odstopanja v debelini nanosa pa so predvsem posledica nanašanja barve s cedilom namesto s pomočjo pištole za elektrostatično brizganje praškastega premaza.

Preglednica 7: Rezultati meritev debeline filma premaza z mikroskopsko metodo

Št.	Nanos g/m ²	t[s]	Debelina [μm]										Pov.
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	107,5	40	107,9	116,2	83,0	41,5	74,7	116,2	91,3	141,1	124,5	74,7	97,11
6	112,5	35	141,1	33,2	124,5	99,6	16,6	124,5	149,4	124,5	132,8	116,2	106,2
7	112,5	45	116,2	149,4	166	124,5	132,8	107,9	141,1	141,1	116,2	99,6	129,5
8	112,5	40	124,5	66,4	124,5	83,0	107,9	132,8	83,0	49,8	83,0	107,9	96,28
9	105	35	124,5	58,1	66,4	74,7	83,0	58,1	174,3	74,7	107,9	132,8	95,45
10	112,5	45	199,2	49,8	124,5	141,1	207,5	66,4	166	107,9	58,1	107,9	122,8
11	115	50	149,4	132,8	58,1	83,0	107,9	124,5	107,9	132,8	66,4	116,2	107,9

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

Eksperimentalni del diplomske naloge je bil namenjen ugotavljanju možnosti uporabe visokofrekvenčne energije za utrjevanje praškastih premazov. Uporaba VF energije za utrjevanje praškastih premazov se šteje med novejše ideje o načinih izkoriščanja VF energije. Čeprav je uporaba VF energije dokaj razširjena in uporabljena, nismo nikjer v literaturi ali na svetovnem spletu zasledili zapisa ali namiga o možnosti uporabe v kombinaciji s praškastimi premazi. Dejstvo je, da premaz, ki smo ga uporabljali v naših raziskavah, ni bil razvit za VF segrevanje. Pri taljenju praškastih premazov se večinoma uporabljata vroč zrak ali obsevanje z infrardečo svetlobo in temu primerno so bile razviti tudi praškasti premazi. Zato smo pričakovali težave pri taljenju praškastega premaza v visokofrekvenčnem polju. Kljub temu pa smo z našimi raziskavami pridobili rezultate, ki lahko služijo kot dobro izhodišče za izboljšavo procesa VF segrevanja praškastih premazov.

5.1 DIELEKTRIČNE LASTNOSTI PRAŠKASTEGA PREMAZA BREZ DODATKOV IN S PRIMESJO TiO_2

Dielektrična vrednost praškastega premaza se je gibala okrog vrednosti $\epsilon = 3,5$. Dielektrična vrednost je pri vseh preizkušancih z naraščajočo frekvenco upadala. Ugotovili smo tudi, da se je ob dodajanju boljšega dielektrika, v našem primeru TiO_2 , povečala dielektričnost celotne zmesi. Tako smo s 15 % dodanega TiO_2 dosegli povečanje dielektričnosti na $\epsilon = 3,8$. Ta vrednost je bila dosežen maksimum za sistem, ki smo ga uporabljali. Dobljeno vrednost ϵ bi pogojno še lahko povečali, vendar bi s tem izredno poslabšali adhezijske lastnosti premaza.

Na dielektrično lastnost praškastih premazov je vplival že pigment v formulaciji. Za pigmentiranje uporablja okside raznih kovin. Kovinski oksidi imajo dielektrične lastnosti, ki pomembno vplivajo na lastnosti celotnega premaza. V praškastem premazu igrajo zelo pomembno vlogo tudi dodatki kot so utrjevalci, pigmenti, polnila in ostali

dodatki. Tudi ti bistveno vplivajo na dielektrične lastnosti materiala. Uporabljeni vezivo je bilo v našem primeru termoplastni polimer. Na to sklepamo iz dejstva, da se praškasti premazi na MDF-u talijo pri temperaturah do 148 °C.

Največji potencial za povečanje dielektrične lastnosti praškastega premaza je po našem mnenju v modifikaciji veziva, tako da bi mu delno izboljšali dielektrične lastnosti. Z izboljšanim vezivom in ostalimi dodatki v premazu, ki bi povečali dielektrično vrednost premaza, bi lahko prišli do stanja, kjer bi praškast premaz na površini zelo uspešno stalili. Tehnično pa bi se na tak način tudi izognili predgretju materiala.

Prav tako smo ugotovili, da smo s stiskanjem premazne formulacije z dodanim titanovim dioksidom ali premaza brez dodatkov pod visokim tlakom dosegli višjo izmerjeno dielektrično vrednost. To je bila posledica manjših praznin v formulaciji.

5.1.1 Taljenje praškastega premaza z dodanim titanovim dioksidom ali brez dodatkov

Pri taljenju premaza z dodanim TiO₂ ali brez nismo opazili pomembnih razlik. V obeh primerih se je premaz dokaj uspešno stalil pri 35 s. Prav tako med preizkusi ni prihajalo do električnih prebojev, saj smo že med poskusnimi testiranji uspeli nastaviti zadovoljive parametre anodnega in katodnega toka.

Med taljenjem premaza na vzorcih je največji problem predstavljal kondenzirana voda na zgornji elektrodi. Njen izvor so bile MDF plošče oziroma vlaga v njih. To se je dogajalo kljub dejству, da so bile plošče predčasno kondenzirane na 6 % vlažnost in jih pred taljenjem praškastega premaza nismo izpostavljeni drugi klimi. Kondenzacija vode na zgornji plošči je tako posledica segrevanja MDF plošče, saj smo ji pri testiranjih dielektričnih lastnosti izmerili podoben faktor izgub kot pri premazu. To pomeni, da se sistem segreva dokaj usklajeno.

Omenili smo že, da se je med segrevanjem kondenzirana voda nabirala na zgornji plošči kondenzatorja, kot posledica segrevanja MDF plošče. Po dodatnih raziskavah smo nato ugotovili, da bi se v našem primeru tej težavi lahko izognili s predhodnim segrevanjem plošč na min. 100 °C. Segrevanje naj bi trajalo približno 3-5 min. S tem bi povzročili dodatno izsuševanje plošče. Posledično bi se plošči, zaradi manjše količine vsebovane vlage, zmanjšala dielektrična vrednost. Zato bi bila zmanjšana tudi intenzivnost gretja MDF plošče zaradi večje razlike med ϵ MDF plošče in ϵ praškastega premaza..

5.2 POVRŠINSKE LASTNOSTI STALJENEGA IN NATO UTRJENEGA FILMA PREMAZA

Na vzorcih, izpostavljenih visokofrekvenčnemu segrevanju za več kot 35 s, so bile površinske lastnosti z vidika razenja zadovoljive. Premaz, ki smo ga uporabili, je že po svojih karakteristikah izredno odporen. Zato je pri uporabi praškastega premaza v industriji potreben le en nanos, ki zadošča za uspešno in dolgotrajno zaščito izdelka. Podobne lastnosti je bilo moč zaslediti tudi na naših vzorcih.

Opazne nepravilnosti so bili majhni zračni mehurčki, ki so nastajali zaradi ročnega nanosa premaza na preizkušanec. Pri tem se je premaz nalagal na kupčke in posledično so nastajali prazni prostori. Ker pri nanašanju premaza nismo imeli možnosti uporabe elektrostatičnega nanašanja, se temu pojavu nismo uspeli izogniti. To se je zelo lepo pokazalo pri preskusu odpornosti proti razenju, saj smo lahko na razi opazili tlačenje premaza. Tudi na vzorcih, pri katerih se je praškasti nanos stalil bolje, smo opazili podobne oblike poškodb.

Čeprav smo z dodatkom TiO₂ zagotovili višjo dielektrično vrednost premaza, smo pri staljenih vzorcih opazili izredno hrapavo površino. To je bila posledica slabega združevanja dodanega TiO₂ s premazom. Tega pa ne moremo trditi za premaz brez dodanega TiO₂, kjer je bila površina kljub slabemu nanosu zadovoljivega izgleda. Slab oziroma neenakomeren nanos premaza na vzorce je bil najbolj opazen pri merjenju debeline nanosa, saj so bile razlike v debelini na zelo kratkih razdaljah (2 mm–3 mm) tudi do 80 %.

5.3 SKLEPI

Kljud novi ideji o možnosti taljenja praškastega premaza v VF polju in našim dvomom pred začetkom eksperimentov smo uspeli idejo pripeljati do točke, ko lahko trdimo, da je tehnološki postopek taljenja praškastega premaza v VF polju izvedljiv. Predvsem je pri taljenju v VF polju o uspehu odločala pravilna izbira praškastega premaza, saj se z vsakim odtenkom premaza, zaradi različnih dodatkov, spremeni njena dielektrična vrednost. Ravno zaradi te lastnosti smo imeli v poskusnem delu, ko smo iskali najprimernejši premaz, težave s taljenjem. To je bil tudi poglaviten razlog, da smo se odločili za mešanje premaza z boljšim dielektrikom v prahu (TiO_2).

Pri tem se nam je utrnila ideja o različnih sestavah praškastih premazov, katerih dielektričnost najverjetneje določajo pigmenti v premazu, dodatki in veziva. Za potrditev te hipoteze bi morali opraviti dodatne raziskave, s katerimi bi podrobneje raziskali dielektrične lastnosti posameznih komponent v premazu. Nato bi lahko bolje izbrali primernejše premaze, z višjo dielektrično vrednostjo in le-te tudi vključili v raziskave. Pomembno pri tem je, da se določi skupni imenovalec, ki premazom določa dielektrično vrednost. Na ta način bi lahko skupaj s proizvajalcem premaza, v kolikor bi proizvajalec pokazal interes, razvili premaz, primernejši za VF segrevanje. Tak premaz bi imel lastnost hitrega (okrog 20 s do 25 s) taljenja v VF polju.

V nadalnjih raziskavah taljenja praškastega premaza v VF polju bi bilo smiselno, da bi uporabili premaze, namenjene za taljenje v IR ali UV svetlobnem spektru. Nekateri izmed teh premazov namreč vsebujejo TiO_2 , ki smo ga uporabili tudi mi, kot sredstvo za izboljšanje dielektričnih lastnosti. Lastnost omenjenih premazov je tudi, da je njihovo tališče nižje od tališča premazov, namenjenih za taljenje v peči z vročim zrakom.

6 POVZETEK

V raziskavi smo poizkušali potrditi tezo o možnosti visokofrekvenčnega utrjevanja praškastih premazov. Pri tem smo predpostavili, da bi kljub praškastem stanju, v katerem je premaz, uspeli z vzbujanjem dipolov v premazu le-tega segreti do temperature, pri kateri se premaz stali in nato utrdi. Upoštevali smo tudi dejstvo, da je potrebno taljenje opraviti v čim krajšem času, tako iz ekonomskega kot fizikalnega vidika. Pri VF segrevanju namreč prihaja do izgub, ki se pokažejo kot prekomerno segrevanje MDF plošče zaradi vsebnosti vlage.

Eksperiment smo izvedli v treh fazah. V pri fazi smo se osredotočili na testiranje vseh uporabljenih materialov. Ugotavljanje dielektričnih lastnosti smo opravili v frekvenčnem območju od 79,4kHz do 25,119MHz. Za poskuse smo izbrali praškasti premaz, za katerega smo domnevali, da bi lahko imel lastnosti, ki bi dovoljevale taljenje. Za podlago smo izbrali 6 mm MDF ploščo. V drugi fazi eksperimentalnega dela smo poskušali premaz in zmesi premaza s titanovim dioksidom staliti do stopnje, po kateri se premaz utrdi. Pri tem smo morali biti pozorni na pravilne nastavitev parametrov med taljenjem, saj se je ob vsaki nepravilni nastavitevi parametrov VF generator izklopil ali pa je prišlo do električnih prebojev. Za zagotavljanje ponovljivosti parametrov nam je bil v veliko pomoč tudi posebej narejen kondenzator, ki je omogočal enakomeren razmik med elektrodama med taljenjem.

Nato smo v tretji fazi, po dokaj uspešnem taljenju, opravili tudi teste odpornosti utrjenega filma premaza. Z mikroskopsko metodo smo merili debelino filma premaza in opazili velika odstopanja, ki so bila posledica nepravilnega nanašanja praškastega premaza na površino. V sklop preizkušanja dobljene površine smo vključili tudi test odpornosti proti razenju, pri katerem smo dosegli zadovoljive rezultate.

Z izvedenimi eksperimenti in dobljenimi rezultati lahko potrdimo, da je VF energija in tehnologija primerna za utrjevanje praškastega premaza. Uspelo nam je namreč staliti praškasti premaz, ki ni bila namenjena obdelavi v VF polju. Z uspešnim taljenjem smo tudi

dokazali, da bi z uporabo ustreznih materialov pri izdelavi premaza, VF taljenje približali končni uporabi v industriji.

V nadaljnje raziskave, povezane z VF segrevanjem praškastih premazov, bi bilo potrebno vključiti tudi katerega od proizvajalcev teh vrst premazov. Predvsem bi bilo to pomembno z vidika poznavanja sestave premazne formulacije.

7 VIRI

7.1 CITIRANI VIRI

Kladnik R. 1977. Osnove fizike II. Ljubljana, Državna založba Slovenije: 342 str.

Resnik J., Berčič, S., Cikač, B. 1995. Visokofrekvenčno segrevanje in lepljenje lesa.
Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 109 str.

SIST EN ISO 1518:2001., Barve in laki – Preskus z razenjem (ISO 1518:1992) – Paints
and varnishes – Scratch test (ISO 1518:1992)

SIST EN ISO 2808:1999 – Barve in laki – Ugotavljanje debeline plasti (ISO 2808:1997) –
Paints and varnishes – Determination of film thickness (ISO 2808:1997)

7.2 OSTALI VIRI

Browne Michael E. 1998. Schaum's outline of theory and problems of physics for
engineering and science. McGraw-Hill: 464 str.

Color d.d. – Praškasti premazi. Color d.d. 2008

http://www.color.si/sl/praskasti_premazi (okt. 2008)

Clipper Controls – Dielectric Constant Reference Guide. ©1998-2005 Clipper Controls
Inc.

http://www.clippercontrols.com/info/dielectric_constants.html (okt.2008)

Pierce C. 2000. Powder coating of wood, myth or reality?: Second woodcoatings
congress; 23-25.10.2000

Kiene J., Vesper H.2000. Powder coatin on wood and wood composites; Second woodcoatings congress; 23-25.10.2000

Leskovšek M. 2006. Električno polje nizkih frekvenc in vpliv na biološke procese.

<http://www.publikacije.net/Article/Elektri--269-no-polje-nizkih-frekvenc-in-vpliv-na-biolo-ke-procese/3> (avg.2008)

MDF powder coat systems 20.03.2009

http://www.mdfpowdercoatsystems.com/mdf-powder_application.php

Torgovnikov G.I. 1993. Dielectric properties of wood and wood based materials.

Berlin, Springer – Verlag: 195 str.

What is .com – Dielectric Material. TechTarget 2008

http://whatis.techtarget.com/definition/0,,sid9_gci211945,00.html (sep.2008)

Wikipedia – Dielectric heating. Wikimedia 17.03.2009

http://en.wikipedia.org/wiki/Dielectric_heating (sep.2008)

ZAHVALA

Zahvaljujem se izr. prof. dr. Milanu Šernekmu za pomoč in potrpljenje pri delu in iskanju pravih poti za izvedbo diplomskega dela. Zahvaljujem se tudi recenzentu prof. dr. Marku Petriču za opravljeno recenzijo. Prav tako pa pri zahvali ne gre pozabiti na Mateja Jošta ter Boruta Kričeja. Zahvalil bi se tudi podjetju BELROS LJUBLJANA d.o.o., ki mi je podarilo premaz, namenjen za prašno lakiranje vlaknenih plošč. Na koncu naj izrazim zahvalo tudi podjetju HELIOS, oz. gospe Miji Stupica, ki mi je pomagala z nasveti in strokovnimi članki.

Hvala tudi Maruši družini in prijateljem za vso podporo.

PRILOGE

Priloga 1: Dielektrična vrednost (ε) premaza.

Meritev	m [g]	d [mm]	dielektrična vrednost [ε]				
			79400 Hz	100000 Hz	125900 Hz	158500 Hz	199500 Hz
B01	1,865	2,359	3,39	3,40	3,39	3,37	3,39
B02	4,5	3,068	3,15	3,11	3,14	3,15	3,14
B03	4,5	3,152	3,49	3,42	3,38	3,35	3,35
B04	3,5	2,423	3,50	3,52	3,51	3,50	3,51
B05	3,5	2,336	3,58	3,65	3,60	3,60	3,62
B06	3,5	2,367	3,60	3,57	3,55	3,54	3,55
B07	3,5	2,348	3,62	3,66	3,64	3,64	3,63
B08	3,5	2,423	3,68	3,57	3,55	3,54	3,55
B09	3,5	2,629	3,42	3,45	3,42	3,43	3,42
B10	3,5	2,431	3,54	3,54	3,50	3,49	3,50
B11	3,5	2,464	3,51	3,52	3,46	3,49	3,46
B12	3,5	2,417	3,40	3,39	3,39	3,39	3,38
B13	3,5	2,476	3,47	3,50	3,50	3,50	3,49
B14	3,5	2,563	3,52	3,49	3,46	3,44	3,47
B15	3,5	2,492	3,45	3,48	3,50	3,50	3,47
B16	3,5	2,490	3,40	3,40	3,40	3,40	3,37
B17	3,5	2,542	3,17	3,11	3,16	3,13	3,14
B18	3,5	2,457	3,53	3,53	3,50	3,50	3,49
B19	3,5	2,482	3,70	3,69	3,68	3,66	3,66
B20	3,5	2,516	3,52	3,47	3,44	3,46	3,45
B21	3,5	2,389	3,46	3,50	3,50	3,49	3,51
$\bar{\varepsilon}$			3,48	3,47	3,46	3,46	3,46

Se nadaljuje → (Preglednice se nadaljujejo po frekvenci meritve v Hz od 79400 Hz do 25119 kHz.)

Nadaljevanje priloge 1.

Meritev	dielektrična vrednost [ε]						
	251200 Hz	316200 Hz	398100 Hz	501200 Hz	631000 Hz	794300 Hz	1000 kHz
B01	3,37	3,36	3,35	3,34	3,33	3,32	3,32
B02	3,13	3,12	3,11	3,11	3,11	3,09	3,09
B03	3,35	3,34	3,33	3,32	3,31	3,30	3,29
B04	3,51	3,48	3,49	3,46	3,46	3,45	3,45
B05	3,61	3,59	3,59	3,58	3,57	3,56	3,55
B06	3,53	3,53	3,52	3,51	3,50	3,50	3,48
B07	3,61	3,60	3,59	3,59	3,58	3,56	3,56
B08	3,53	3,52	3,51	3,50	3,50	3,49	3,47
B09	3,40	3,40	3,39	3,38	3,37	3,37	3,36

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 1.

B10	3,48	3,47	3,46	3,46	3,44	3,43	3,43
B11	3,46	3,45	3,45	3,43	3,42	3,41	3,40
B12	3,37	3,37	3,36	3,36	3,34	3,34	3,33
B13	3,47	3,48	3,47	3,45	3,45	3,44	3,43
B14	3,44	3,44	3,42	3,41	3,41	3,40	3,39
B15	3,48	3,46	3,45	3,43	3,44	3,43	3,42
B16	3,37	3,38	3,37	3,35	3,35	3,33	3,33
B17	3,12	3,12	3,12	3,11	3,10	3,09	3,09
B18	3,49	3,47	3,47	3,46	3,44	3,44	3,43
B19	3,65	3,62	3,62	3,62	3,61	3,60	3,59
B20	3,42	3,44	3,44	3,42	3,42	3,40	3,40
B21	3,47	3,46	3,47	3,45	3,44	3,44	3,43
$\bar{\varepsilon}$	3,44	3,43	3,43	3,42	3,41	3,40	3,39

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 1

Meritev	dielektrična vrednost [ε]						
	1258,9 kHz	1584,9 kHz	1995,3 kHz	2511,9 kHz	3162,3 kHz	3981,1 Hz	5011,9 kHz
B01	3,31	3,31	3,29	3,27	3,27	3,26	3,26
B02	3,06	3,07	3,07	3,05	3,05	3,04	3,05
B03	3,28	3,28	3,27	3,24	3,23	3,23	3,23
B04	3,43	3,44	3,41	3,39	3,40	3,39	3,40
B05	3,57	3,54	3,51	3,51	3,49	3,49	3,49
B06	3,45	3,46	3,44	3,43	3,42	3,41	3,42
B07	3,56	3,58	3,54	3,50	3,51	3,49	3,50
B08	3,45	3,46	3,45	3,42	3,42	3,41	3,41
B09	3,32	3,34	3,33	3,32	3,31	3,30	3,29
B10	3,41	3,41	3,40	3,39	3,38	3,36	3,36
B11	3,39	3,40	3,36	3,36	3,36	3,34	3,35
B12	3,32	3,33	3,31	3,27	3,30	3,27	3,28
B13	3,39	3,42	3,40	3,39	3,39	3,38	3,38
B14	3,39	3,38	3,38	3,35	3,35	3,34	3,34
B15	3,38	3,38	3,39	3,38	3,38	3,37	3,36
B16	3,31	3,30	3,30	3,28	3,28	3,28	3,26
B17	3,08	3,04	3,08	3,03	3,06	3,03	3,04
B18	3,42	3,39	3,41	3,38	3,39	3,38	3,38
B19	3,61	3,56	3,57	3,56	3,54	3,53	3,53
B20	3,40	3,38	3,37	3,35	3,35	3,34	3,33
B21	3,45	3,42	3,40	3,39	3,39	3,37	3,38
$\bar{\varepsilon}$	3,38	3,38	3,37	3,35	3,35	3,33	3,34

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 1

Meritev	dielektrična vrednost [ϵ]						
	6309,5 kHz	7943,3 kHz	10000 kHz	12589 kHz	15849 kHz	19953 kHz	25119 kHz
B01	3,26	3,25	3,25	3,25	3,24	3,24	3,24
B02	3,04	3,03	3,03	3,02	3,03	3,04	3,05
B03	3,21	3,22	3,21	3,20	3,20	3,21	3,22
B04	3,38	3,37	3,36	3,36	3,36	3,36	3,37
B05	3,49	3,47	3,47	3,45	3,45	3,46	3,46
B06	3,41	3,40	3,39	3,38	3,38	3,38	3,39
B07	3,49	3,47	3,47	3,46	3,46	3,47	3,48
B08	3,40	3,39	3,39	3,38	3,38	3,38	3,39
B09	3,29	3,29	3,28	3,27	3,28	3,28	3,29
B10	3,35	3,35	3,34	3,33	3,33	3,33	3,34
B11	3,33	3,33	3,32	3,31	3,31	3,31	3,32
B12	3,27	3,26	3,26	3,25	3,25	3,25	3,26
B13	3,37	3,36	3,35	3,35	3,35	3,35	3,36
B14	3,33	3,33	3,31	3,31	3,31	3,31	3,33
B15	3,35	3,35	3,34	3,34	3,33	3,34	3,35
B16	3,26	3,26	3,25	3,24	3,24	3,25	3,26
B17	3,04	3,04	3,03	3,02	3,02	3,03	3,04
B18	3,37	3,37	3,35	3,35	3,35	3,35	3,36
B19	3,52	3,51	3,51	3,51	3,50	3,51	3,53
B20	3,33	3,32	3,32	3,31	3,31	3,32	3,33
B21	3,37	3,36	3,35	3,35	3,34	3,35	3,35
$\bar{\epsilon}$	3,33	3,32	3,31	3,31	3,31	3,31	3,32

Priloga 2: Faktor izgub ($\tan\delta$) pri premazu.

Meritev	Faktor izgub $\tan\delta$						
	1258,9 kHz	1584,9 kHz	1995,3 kHz	2511,9 kHz	3162,3 kHz	3981,1 Hz	5011,9 kHz
B01	0,019	0,020	0,021	0,022	0,022	0,041	0,049
B02	0,019	0,017	0,018	0,020	0,020	0,019	0,037
B03	0,021	0,022	0,023	0,024	0,024	0,043	0,048
B04	0,021	0,018	0,022	0,022	0,022	0,023	0,044
B05	0,022	0,022	0,023	0,024	0,024	0,045	0,051
B06	0,021	0,020	0,020	0,023	0,024	0,024	0,044
B07	0,020	0,015	0,021	0,023	0,023	0,024	0,046
B08	0,017	0,019	0,021	0,023	0,022	0,024	0,044
B09	0,020	0,022	0,021	0,021	0,023	0,023	0,042
B10	0,022	0,021	0,023	0,023	0,022	0,023	0,044
B11	0,019	0,021	0,023	0,024	0,023	0,043	0,050

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 2

B12	0,017	0,021	0,021	0,023	0,022	0,043	0,049
B13	0,019	0,015	0,022	0,023	0,022	0,024	0,043
B14	0,019	0,020	0,022	0,022	0,023	0,023	0,043
B15	0,019	0,023	0,020	0,023	0,022	0,023	0,044
B16	0,023	0,020	0,024	0,023	0,025	0,043	0,049
B17	0,016	0,020	0,019	0,022	0,020	0,021	0,040
B18	0,021	0,024	0,020	0,023	0,023	0,023	0,044
B19	0,021	0,021	0,021	0,024	0,024	0,023	0,044
B20	0,018	0,024	0,021	0,022	0,023	0,023	0,043
B21	0,018	0,021	0,022	0,022	0,022	0,023	0,044
<u>tan δ</u>	0,020	0,020	0,021	0,023	0,023	0,029	0,045

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 2

Meritev	Faktor izgub tanδ						
	251200 Hz	316200 Hz	398100 Hz	501200 Hz	631000 Hz	794300 Hz	1000 kHz
B01	0,016	0,015	0,016	0,016	0,018	0,018	0,020
B02	0,013	0,015	0,015	0,014	0,016	0,015	0,016
B03	0,017	0,018	0,018	0,018	0,019	0,020	0,024
B04	0,014	0,016	0,015	0,018	0,017	0,018	0,018
B05	0,017	0,019	0,018	0,018	0,019	0,019	0,023
B06	0,017	0,017	0,017	0,017	0,019	0,018	0,019
B07	0,017	0,017	0,017	0,018	0,018	0,019	0,020
B08	0,014	0,017	0,017	0,016	0,019	0,018	0,019
B09	0,016	0,017	0,017	0,016	0,017	0,018	0,019
B10	0,014	0,017	0,016	0,018	0,018	0,018	0,019
B11	0,016	0,017	0,017	0,018	0,018	0,019	0,023
B12	0,016	0,015	0,016	0,017	0,017	0,018	0,018
B13	0,015	0,015	0,016	0,017	0,018	0,018	0,019
B14	0,016	0,016	0,015	0,017	0,017	0,018	0,018
B15	0,016	0,016	0,017	0,017	0,018	0,018	0,018
B16	0,017	0,016	0,017	0,017	0,017	0,018	0,019
B17	0,014	0,015	0,014	0,015	0,015	0,016	0,016
B18	0,013	0,016	0,016	0,017	0,017	0,018	0,019
B19	0,017	0,018	0,017	0,016	0,018	0,019	0,019
B20	0,016	0,018	0,016	0,016	0,018	0,018	0,019
B21	0,015	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,018
<u>tan δ</u>	0,015	0,016	0,016	0,017	0,018	0,018	0,019

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 2

Meritev	Faktor izgub tan δ						
	6309,5 kHz	7943,3 kHz	10000 kHz	12589 kHz	15849 kHz	19953 kHz	25119 kHz
B01	0,057	0,069	0,086	0,107	0,131	0,154	
B02	0,044	0,053	0,063	0,076	0,094	0,115	
B03	0,057	0,067	0,080	0,098	0,119	0,137	
B04	0,051	0,060	0,072	0,088	0,109	0,133	0,157
B05	0,061	0,073	0,089	0,112	0,137	0,162	
B06	0,051	0,061	0,073	0,089	0,110	0,135	0,159
B07	0,053	0,062	0,074	0,090	0,111	0,136	0,160
B08	0,051	0,060	0,071	0,086	0,107	0,131	0,155
B09	0,050	0,058	0,068	0,083	0,102	0,124	0,144
B10	0,051	0,059	0,071	0,086	0,107	0,132	
B11	0,059	0,071	0,085	0,106	0,130	0,154	
B12	0,057	0,070	0,084	0,105	0,130	0,154	
B13	0,049	0,059	0,069	0,084	0,104	0,128	0,149
B14	0,049	0,058	0,069	0,084	0,102	0,125	0,145
B15	0,050	0,058	0,069	0,083	0,103	0,126	0,146
B16	0,057	0,068	0,083	0,102	0,124	0,144	
B17	0,046	0,055	0,065	0,079	0,098	0,120	
B18	0,050	0,059	0,070	0,085	0,104	0,127	0,149
B19	0,051	0,059	0,070	0,086	0,105	0,128	0,149
B20	0,050	0,058	0,069	0,084	0,103	0,125	0,145
B21	0,050	0,060	0,071	0,086	0,107	0,132	0,156
$\bar{\tan \delta}$	0,052	0,062	0,074	0,090	0,111	0,134	0,151

Priloga 3: Vrednost (ϵ) pri premazu s 5 % dodatkom TiO₂.

Meritev	m [g]	d [mm]	ϵ				
			79400 Hz	100000 Hz	125900 Hz	158500 Hz	199500 Hz
Me01	3,5	2,432	3,591	3,638	3,625	3,616	3,628
Me02	3,5	2,386	3,812	3,842	3,834	3,815	3,792
Me03	3,5	2,36	3,727	3,757	3,749	3,751	3,758
Me04	3,5	2,451	4,055	4,021	4,009	3,993	3,995
Me05	3,5	2,413	3,503	3,430	3,459	3,433	3,426
Me06	3,5	2,441	3,859	3,764	3,788	3,759	3,775
Me07	3,5	2,357	3,706	3,641	3,607	3,633	3,626
Me08	3,5	2,149	3,561	3,549	3,548	3,563	3,546
Me09	3,5	2,44	3,590	3,608	3,619	3,613	3,566
Me10	3,5	2,503	3,778	3,680	3,693	3,672	3,676
Me11	3,5	2,378	3,608	3,601	3,654	3,587	3,601
Me12	3,5	2,417	3,691	3,650	3,657	3,669	3,652
Me13	3,5	2,468	4,046	4,003	3,961	3,968	3,958

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 3.

Me14	3,5	2,379	3,710	3,683	3,727	3,711	3,674
Me15	3,5	2,505	3,520	3,507	3,502	3,479	3,477
Me16	3,5	2,454	3,565	3,533	3,533	3,528	3,544
Me17	3,5	2,523	3,890	3,857	3,835	3,852	3,823
Me18	3,5	2,459	3,688	3,702	3,720	3,722	3,737
Me19	3,5	2,352	3,453	3,486	3,478	3,464	3,459
Me20	3,5	2,458	3,665	3,599	3,559	3,598	3,588
Me21	3,5	2,373	3,648	3,658	3,650	3,621	3,623
$\bar{\varepsilon}$		3,70	3,68	3,68	3,67	3,66	

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 3

Meritev	ε						
	251200 Hz	316200 Hz	398100 Hz	501200 Hz	631000 Hz	794300 Hz	1000 kHz
Me01	3,619	3,598	3,624	3,484	3,572	3,567	3,546
Me02	3,776	3,782	3,821	3,761	3,758	3,751	3,733
Me03	3,734	3,712	3,771	3,700	3,694	3,684	3,675
Me04	3,972	3,973	3,993	3,954	3,939	3,939	3,922
Me05	3,424	3,410	3,430	3,396	3,379	3,374	3,369
Me06	3,749	3,751	3,907	3,726	3,719	3,713	3,696
Me07	3,599	3,606	3,553	3,584	3,583	3,573	3,564
Me08	3,533	3,519	3,578	3,508	3,501	3,494	3,481
Me09	3,568	3,567	3,538	3,547	3,539	3,531	3,523
Me10	3,663	3,650	3,640	3,631	3,630	3,616	3,607
Me11	3,583	3,557	3,566	3,554	3,545	3,534	3,526
Me12	3,659	3,647	3,646	3,634	3,622	3,614	3,600
Me13	3,944	3,942	3,923	3,917	3,908	3,902	3,887
Me14	3,680	3,679	3,666	3,666	3,650	3,640	3,631
Me15	3,468	3,452	3,464	3,455	3,449	3,435	3,426
Me16	3,544	3,527	3,518	3,505	3,510	3,498	3,487
Me17	3,810	3,814	3,810	3,806	3,785	3,779	3,768
Me18	3,699	3,696	3,688	3,684	3,670	3,664	3,651
Me19	3,443	3,434	3,431	3,424	3,418	3,406	3,405
Me20	3,567	3,581	3,567	3,547	3,544	3,539	3,523
Me21	3,610	3,602	3,594	3,583	3,578	3,567	3,562
$\bar{\varepsilon}$	3,65	3,64	3,65	3,62	3,62	3,61	3,60

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 3

Meritev	ε						
	1258,9 kHz	1584,9 kHz	1995,3 kHz	2511,9 kHz	3162,3 kHz	3981,1 Hz	5011,9 kHz
Me01	3,524	3,544	3,513	3,521	3,491	3,486	3,481

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 3

Me02	3,728	3,709	3,700	3,710	3,688	3,673	3,675
Me03	3,645	3,676	3,642	3,609	3,632	3,611	3,612
Me04	3,927	3,878	3,865	3,857	3,869	3,850	3,848
Me05	3,354	3,332	3,346	3,330	3,326	3,313	3,311
Me06	3,682	3,670	3,667	3,645	3,654	3,631	3,640
Me07	3,555	3,524	3,531	3,531	3,507	3,500	3,498
Me08	3,484	3,463	3,460	3,439	3,448	3,422	3,435
Me09	3,506	3,509	3,495	3,474	3,472	3,449	3,459
Me10	3,613	3,592	3,580	3,566	3,559	3,556	3,546
Me11	3,503	3,518	3,514	3,482	3,480	3,470	3,464
Me12	3,598	3,586	3,572	3,559	3,560	3,553	3,542
Me13	3,843	3,864	3,843	3,829	3,848	3,814	3,821
Me14	3,615	3,610	3,599	3,586	3,590	3,557	3,557
Me15	3,427	3,420	3,398	3,393	3,381	3,376	3,376
Me16	3,506	3,485	3,457	3,454	3,451	3,428	3,438
Me17	3,748	3,747	3,738	3,714	3,726	3,701	3,706
Me18	3,656	3,653	3,614	3,599	3,605	3,586	3,597
Me19	3,406	3,393	3,389	3,353	3,359	3,339	3,349
Me20	3,486	3,514	3,512	3,485	3,481	3,479	3,468
Me21	3,584	3,552	3,536	3,505	3,513	3,495	3,492
$\bar{\epsilon}$	3,59	3,58	3,57	3,55	3,55	3,54	3,54

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 3

	ϵ						
Meritev	6309,5 kHz	7943,3 kHz	10000 kHz	12589 kHz	15849 kHz	19953 kHz	25119 kHz
Me01	3,484	3,474	3,465	3,457	3,461	3,468	3,476
Me02	3,670	3,656	3,647	3,642	3,643	3,645	3,656
Me03	3,597	3,588	3,584	3,573	3,572	3,575	3,581
Me04	3,848	3,833	3,820	3,811	3,812	3,814	3,827
Me05	3,308	3,303	3,297	3,290	3,289	3,297	3,302
Me06	3,626	3,624	3,616	3,612	3,612	3,620	3,627
Me07	3,498	3,482	3,475	3,470	3,475	3,472	3,480
Me08	3,411	3,415	3,404	3,400	3,398	3,405	3,418
Me09	3,454	3,451	3,440	3,438	3,434	3,437	3,444
Me10	3,550	3,535	3,528	3,521	3,523	3,529	3,543
Me11	3,456	3,450	3,445	3,436	3,439	3,439	3,447
Me12	3,540	3,531	3,523	3,516	3,517	3,520	3,525
Me13	3,798	3,802	3,790	3,784	3,782	3,787	3,794
Me14	3,570	3,548	3,540	3,531	3,534	3,536	3,542
Me15	3,363	3,358	3,348	3,344	3,352	3,355	3,366
Me16	3,420	3,414	3,407	3,404	3,404	3,410	3,424
Me17	3,692	3,685	3,683	3,674	3,677	3,687	3,703

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 3

Me18	3,581	3,575	3,570	3,562	3,562	3,568	3,582
Me19	3,332	3,329	3,324	3,321	3,320	3,321	3,328
Me20	3,459	3,453	3,446	3,437	3,445	3,447	3,456
Me21	3,495	3,480	3,471	3,472	3,470	3,469	3,478
$\bar{\varepsilon}$	3,53	3,52	3,52	3,51	3,51	3,51	3,52

Priloga 4: Vrednost ($\tan\delta$), pri premazu s 5 % dodanega TiO_2

Meritev	m [g]	d [mm]	$\tan\delta$				
			79400 Hz	100000 Hz	125900 Hz	158500 Hz	199500 Hz
Me01	3,5	2,432	0,016	0,017	0,014	0,018	0,016
Me02	3,5	2,386	0,012	0,020	0,015	0,015	0,015
Me03	3,5	2,36	0,014	0,017	0,017	0,016	0,016
Me04	3,5	2,451	0,011	0,012	0,015	0,015	0,019
Me05	3,5	2,413	0,011	0,015	0,015	0,014	0,015
Me06	3,5	2,441	0,019	0,018	0,017	0,015	0,014
Me07	3,5	2,357	0,016	0,014	0,014	0,015	0,016
Me08	3,5	2,149	0,015	0,013	0,014	0,017	0,015
Me09	3,5	2,44	0,015	0,014	0,014	0,013	0,015
Me10	3,5	2,503	0,016	0,014	0,017	0,016	0,016
Me11	3,5	2,378	0,010	0,013	0,012	0,013	0,018
Me12	3,5	2,417	0,011	0,016	0,014	0,015	0,016
Me13	3,5	2,468	0,016	0,009	0,018	0,015	0,017
Me14	3,5	2,379	0,014	0,014	0,014	0,016	0,016
Me15	3,5	2,505	0,013	0,016	0,015	0,014	0,016
Me16	3,5	2,454	0,015	0,019	0,016	0,013	0,015
Me17	3,5	2,523	0,012	0,014	0,016	0,014	0,017
Me18	3,5	2,459	0,017	0,015	0,016	0,015	0,019
Me19	3,5	2,352	0,011	0,014	0,013	0,015	0,014
Me20	3,5	2,458	0,011	0,013	0,015	0,016	0,014
Me21	3,5	2,373	0,010	0,010	0,016	0,013	0,016
$\bar{\tan\delta}$			0,014	0,015	0,015	0,015	0,016

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 4

Meritev	$\tan\delta$						
	251200 Hz	316200 Hz	398100 Hz	501200 Hz	631000 Hz	794300 Hz	1000 kHz
Me01	0,018	0,020	0,018	0,018	0,018	0,019	0,019
Me02	0,016	0,016	0,018	0,017	0,017	0,018	0,019
Me03	0,015	0,018	0,020	0,018	0,018	0,019	0,019
Me04	0,018	0,018	0,022	0,018	0,019	0,020	0,020
Me05	0,015	0,015	0,005	0,016	0,017	0,017	0,017

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 4

Me06	0,016	0,016	0,007	0,016	0,017	0,018	0,019
Me07	0,017	0,018	0,017	0,017	0,018	0,018	0,021
Me08	0,014	0,008	0,017	0,017	0,018	0,018	0,019
Me09	0,016	0,017	0,017	0,017	0,018	0,018	0,018
Me10	0,015	0,018	0,017	0,017	0,018	0,018	0,019
Me11	0,016	0,016	0,016	0,017	0,017	0,018	0,019
Me12	0,017	0,017	0,017	0,017	0,018	0,018	0,019
Me13	0,017	0,018	0,019	0,018	0,019	0,019	0,019
Me14	0,016	0,016	0,016	0,017	0,018	0,018	0,019
Me15	0,015	0,016	0,015	0,016	0,017	0,017	0,018
Me16	0,014	0,016	0,017	0,016	0,016	0,017	0,018
Me17	0,016	0,016	0,017	0,017	0,018	0,019	0,019
Me18	0,017	0,016	0,016	0,018	0,018	0,019	0,019
Me19	0,016	0,015	0,017	0,016	0,017	0,017	0,019
Me20	0,014	0,018	0,016	0,017	0,016	0,018	0,018
Me21	0,016	0,016	0,016	0,017	0,017	0,018	0,019
$\bar{\tan \delta}$	0,016	0,016	0,016	0,017	0,018	0,018	0,019

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 4

Meritev	$\bar{\tan \delta}$						
	1258,9 kHz	1584,9 kHz	1995,3 kHz	2511,9 kHz	3162,3 kHz	3981,1 Hz	5011,9 kHz
Me01	0,018	0,022	0,023	0,023	0,024	0,044	0,050
Me02	0,021	0,019	0,021	0,023	0,022	0,023	0,044
Me03	0,022	0,020	0,024	0,024	0,023	0,025	0,045
Me04	0,023	0,021	0,022	0,026	0,025	0,025	0,046
Me05	0,017	0,020	0,019	0,021	0,021	0,022	0,042
Me06	0,019	0,019	0,018	0,021	0,021	0,022	0,042
Me07	0,023	0,020	0,021	0,022	0,023	0,043	0,051
Me08	0,017	0,020	0,022	0,023	0,023	0,044	0,051
Me09	0,022	0,019	0,021	0,022	0,022	0,044	0,050
Me10	0,020	0,019	0,020	0,023	0,024	0,024	0,044
Me11	0,021	0,023	0,022	0,022	0,022	0,023	0,045
Me12	0,021	0,020	0,020	0,023	0,022	0,024	0,044
Me13	0,022	0,022	0,023	0,023	0,025	0,025	0,045
Me14	0,021	0,021	0,022	0,023	0,023	0,023	0,045
Me15	0,020	0,019	0,021	0,021	0,022	0,023	0,042
Me16	0,020	0,020	0,020	0,021	0,021	0,023	0,041
Me17	0,020	0,022	0,022	0,024	0,024	0,024	0,044
Me18	0,021	0,021	0,022	0,022	0,023	0,024	0,044
Me19	0,017	0,019	0,022	0,022	0,023	0,042	0,049
Me20	0,021	0,021	0,019	0,022	0,022	0,023	0,043

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 4

Me21	0,017	0,020	0,021	0,023	0,023	0,024	0,044
$\bar{\tan \delta}$	0,020	0,020	0,021	0,023	0,023	0,028	0,045

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 4

	$\bar{\tan \delta}$							
	Meritev	6309,5 kHz	7943,3 kHz	10000 kHz	12589 kHz	15849 kHz	19953 kHz	25119 kHz
Me01	0,059	0,070	0,084	0,104	0,128			
Me02	0,051	0,061	0,073	0,088	0,110	0,135	0,160	
Me03	0,052	0,061	0,073	0,088	0,109	0,134	0,159	
Me04	0,053	0,063	0,074	0,089	0,110	0,136		
Me05	0,049	0,058	0,069	0,084	0,104	0,128	0,151	
Me06	0,049	0,059	0,070	0,084	0,105	0,130	0,154	
Me07	0,059	0,071	0,087	0,108	0,134			
Me08	0,060	0,071	0,086	0,106	0,130			
Me09	0,059	0,071	0,087	0,107	0,132			
Me10	0,050	0,059	0,070	0,084	0,104	0,127	0,147	
Me11	0,051	0,060	0,072	0,087	0,108	0,134	0,158	
Me12	0,051	0,060	0,071	0,087	0,109	0,134	0,159	
Me13	0,053	0,061	0,074	0,089	0,110	0,135	0,159	
Me14	0,051	0,061	0,073	0,088	0,110	0,135	0,159	
Me15	0,050	0,058	0,069	0,083	0,102	0,125	0,146	
Me16	0,049	0,058	0,069	0,084	0,103	0,126	0,148	
Me17	0,051	0,060	0,071	0,086	0,105	0,128	0,148	
Me18	0,051	0,060	0,071	0,086	0,106	0,129	0,150	
Me19	0,058	0,070	0,085	0,106	0,130	0,154		
Me20	0,050	0,058	0,070	0,084	0,104	0,128	0,150	
Me21	0,051	0,060	0,072	0,087	0,107	0,132	0,156	
$\bar{\tan \delta}$	0,053	0,062	0,075	0,091	0,112	0,107	0,110	

Priloga 5: Vrednost ϵ pri premazu z 10 % dodatkom TiO₂

	m [g]	d [mm]	dielektrična vrednost [δ]				
			79400 Hz	100000 Hz	125900 Hz	158500 Hz	199500 Hz
Meritev							
Me01	3,5	2,368	3,875	3,873	3,849	3,833	3,841
Me02	3,5	2,424	3,791	3,836	3,807	3,830	3,800
Me03	3,5	2,465	3,841	3,828	3,833	3,811	3,818
Me04	3,5	2,370	3,498	3,504	3,489	3,481	3,511
Me05	3,5	2,320	3,827	3,863	3,850	3,878	3,838
Me06	3,5	2,333	3,821	3,888	3,833	3,849	3,810
Me07	3,5	2,363	3,802	3,759	3,714	3,728	3,709
Me08	3,5	2,334	3,559	3,554	3,588	3,587	3,556
Me09	3,5	2,368	3,621	3,510	3,531	3,525	3,513

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 5

Me10	3,5	2,272	3,802	3,803	3,774	3,783	3,798
Me11	3,5	2,309	3,590	3,645	3,638	3,621	3,611
Me12	3,5	2,333	3,672	3,677	3,594	3,633	3,618
Me13	3,5	2,387	3,664	3,712	3,656	3,692	3,674
Me14	3,5	2,395	3,623	3,563	3,544	3,559	3,534
Me15	3,5	2,255	3,852	3,808	3,809	3,836	3,794
Me16	3,5	2,327	3,784	3,793	3,817	3,754	3,835
Me16	3,5	2,338	3,700	3,720	3,762	3,744	3,732
Me17	3,5	2,372	3,828	3,773	3,818	3,775	3,770
Me18	3,5	2,386	3,727	3,682	3,682	3,674	3,651
Me19	3,5	2,298	3,764	3,713	3,734	3,720	3,723
Me20	3,5	2,339	3,738	3,733	3,737	3,701	3,714
Me21	3,5	2,344	3,915	3,867	3,851	3,834	3,814
$\bar{\varepsilon}$		3,741	3,732	3,723	3,720	3,712	

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 5

Meritev	dielektrična vrednost [ε]						
	251200 Hz	316200 Hz	398100 Hz	501200 Hz	631000 Hz	794300 Hz	1000 kHz
Me01	3,837	3,823	3,816	3,799	3,790	3,780	3,766
Me02	3,782	3,792	3,755	3,761	3,753	3,737	3,733
Me03	3,807	3,779	3,857	3,771	3,761	3,756	3,738
Me04	3,467	3,483	3,450	3,451	3,459	3,448	3,436
Me05	3,827	3,826	3,788	3,799	3,784	3,777	3,769
Me06	3,823	3,818	4,249	3,789	3,795	3,777	3,766
Me07	3,700	3,683	3,672	3,673	3,671	3,662	3,650
Me08	3,540	3,538	3,507	3,521	3,517	3,500	3,491
Me09	3,503	3,490	3,555	3,483	3,472	3,464	3,454
Me10	3,786	3,751	3,743	3,756	3,735	3,730	3,721
Me11	3,595	3,604	3,575	3,568	3,568	3,561	3,546
Me12	3,585	3,590	3,590	3,580	3,567	3,556	3,546
Me13	3,660	3,655	3,648	3,636	3,630	3,616	3,615
Me14	3,529	3,527	3,517	3,508	3,498	3,487	3,479
Me15	3,754	3,790	3,776	3,770	3,754	3,751	3,736
Me16	3,774	3,788	3,771	3,761	3,745	3,738	3,730
Me16	3,701	3,697	3,700	3,691	3,684	3,669	3,663
Me17	3,748	3,756	3,726	3,737	3,721	3,711	3,696
Me18	3,663	3,652	3,630	3,620	3,613	3,599	3,601
Me19	3,700	3,684	3,678	3,672	3,670	3,664	3,654
Me20	3,696	3,684	3,694	3,669	3,669	3,658	3,652
Me21	3,809	3,817	3,793	3,795	3,783	3,775	3,763
$\bar{\varepsilon}$	3,695	3,692	3,704	3,673	3,665	3,655	3,646

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 5

Meritev	dielektrična vrednost [ε]						
	1258,9 kHz	1584,9 kHz	1995,3 kHz	2511,9 kHz	3162,3 kHz	3981,1 Hz	5011,9 kHz
Me01	3,743	3,732	3,736	3,714	3,711	3,691	3,701
Me02	3,718	3,677	3,712	3,696	3,675	3,653	3,669
Me03	3,732	3,711	3,723	3,686	3,699	3,682	3,685
Me04	3,409	3,405	3,410	3,398	3,399	3,381	3,385
Me05	3,713	3,756	3,726	3,700	3,731	3,700	3,709
Me06	3,762	3,750	3,723	3,717	3,707	3,707	3,701
Me07	3,643	3,628	3,621	3,603	3,610	3,588	3,589
Me08	3,493	3,483	3,466	3,453	3,440	3,441	3,436
Me09	3,428	3,420	3,441	3,403	3,411	3,404	3,404
Me10	3,705	3,697	3,686	3,650	3,669	3,639	3,648
Me11	3,543	3,527	3,498	3,499	3,501	3,483	3,495
Me12	3,550	3,511	3,521	3,497	3,496	3,488	3,489
Me13	3,618	3,595	3,566	3,549	3,574	3,541	3,557
Me14	3,478	3,452	3,452	3,425	3,437	3,429	3,420
Me15	3,716	3,714	3,710	3,674	3,705	3,672	3,671
Me16	3,719	3,719	3,712	3,673	3,686	3,663	3,671
Me16	3,676	3,625	3,619	3,599	3,607	3,590	3,608
Me17	3,690	3,667	3,665	3,640	3,665	3,632	3,632
Me18	3,571	3,574	3,567	3,548	3,541	3,535	3,539
Me19	3,646	3,627	3,633	3,603	3,591	3,591	3,598
Me20	3,634	3,625	3,606	3,589	3,609	3,583	3,589
Me21	3,730	3,747	3,726	3,713	3,720	3,695	3,707
$\bar{\varepsilon}$	3,633	3,620	3,615	3,592	3,599	3,581	3,586

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 5

Meritev	dielektrična vrednost [ε]						
	6309,5 kHz	7943,3 kHz	10000 kHz	12589 kHz	15849 kHz	19953 kHz	25119 kHz
Me01	3,690	3,683	3,675	3,671	3,667	3,669	3,676
Me02	3,652	3,649	3,638	3,630	3,633	3,635	3,644
Me03	3,675	3,665	3,658	3,657	3,655	3,663	3,677
Me04	3,378	3,371	3,370	3,362	3,362	3,372	3,384
Me05	3,699	3,693	3,681	3,676	3,676	3,682	3,694
Me06	3,688	3,684	3,677	3,672	3,671	3,677	3,689
Me07	3,589	3,579	3,570	3,566	3,565	3,570	3,580
Me08	3,429	3,427	3,420	3,413	3,413	3,419	3,425
Me09	3,392	3,390	3,382	3,376	3,379	3,383	3,389
Me10	3,653	3,629	3,628	3,620	3,621	3,628	3,642
Me11	3,484	3,476	3,462	3,465	3,458	3,467	3,480
Me12	3,485	3,481	3,470	3,457	3,456	3,466	3,473

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 5

Me13	3,541	3,536	3,531	3,517	3,527	3,532	3,538
Me14	3,427	3,419	3,412	3,406	3,406	3,411	3,417
Me15	3,659	3,657	3,647	3,637	3,637	3,644	3,654
Me16	3,656	3,658	3,651	3,638	3,640	3,645	3,658
Me16	3,606	3,592	3,585	3,577	3,582	3,587	3,597
Me17	3,634	3,626	3,615	3,605	3,612	3,620	3,629
Me18	3,534	3,520	3,516	3,503	3,512	3,519	3,527
Me19	3,588	3,582	3,580	3,571	3,567	3,579	3,584
Me20	3,585	3,577	3,568	3,557	3,563	3,569	3,576
Me21	3,699	3,689	3,674	3,675	3,669	3,678	3,683
$\bar{\varepsilon}$	3,579	3,572	3,564	3,557	3,558	3,564	3,573

Priloga 6: Vrednost tan δ pri zmesi z 10 % dodatkom TiO₂

Meritev	m [g]	d [mm]	Faktor izgub tan δ				
			79400 Hz	100000 Hz	125900 Hz	158500 Hz	199500 Hz
Me01	3,5	2,368	0,011	0,014	0,018	0,014	0,017
Me02	3,5	2,424	0,013	0,019	0,018	0,015	0,017
Me03	3,5	2,465	0,010	0,013	0,014	0,014	0,016
Me04	3,5	2,370	0,013	0,015	0,011	0,013	0,016
Me05	3,5	2,320	0,011	0,012	0,017	0,016	0,017
Me06	3,5	2,333	0,015	0,013	0,013	0,016	0,016
Me07	3,5	2,363	0,013	0,013	0,014	0,015	0,015
Me08	3,5	2,334	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
Me09	3,5	2,368	0,012	0,012	0,015	0,013	0,016
Me10	3,5	2,272	0,018	0,015	0,017	0,018	0,017
Me11	3,5	2,309	0,015	0,013	0,012	0,018	0,015
Me12	3,5	2,333	0,013	0,016	0,013	0,015	0,016
Me13	3,5	2,387	0,014	0,012	0,012	0,013	0,016
Me14	3,5	2,395	0,016	0,017	0,015	0,012	0,016
Me15	3,5	2,255	0,018	0,015	0,015	0,014	0,016
Me16	3,5	2,327	0,015	0,017	0,015	0,015	0,016
Me16	3,5	2,338	0,014	0,013	0,015	0,015	0,015
Me17	3,5	2,372	0,016	0,017	0,014	0,013	0,016
Me18	3,5	2,386	0,021	0,010	0,015	0,015	0,015
Me19	3,5	2,298	0,015	0,014	0,011	0,014	0,016
Me20	3,5	2,339	0,010	0,018	0,013	0,015	0,018
Me21	3,5	2,344	0,007	0,015	0,013	0,012	0,015
$\bar{\tan \delta}$			0,015	0,015	0,015	0,015	0,017

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 6

Meritev	Faktor izgub tan δ						
	251200 Hz	316200 Hz	398100 Hz	501200 Hz	631000 Hz	794300 Hz	1000 kHz
Me01	0,016	0,018	0,017	0,019	0,019	0,020	0,020
Me02	0,015	0,018	0,018	0,019	0,019	0,019	0,020
Me03	0,017	0,016	0,020	0,018	0,018	0,018	0,019
Me04	0,014	0,014	0,016	0,016	0,017	0,017	0,019
Me05	0,017	0,018	0,018	0,017	0,018	0,019	0,019
Me06	0,017	0,017	0,076	0,016	0,019	0,019	0,019
Me07	0,017	0,017	0,017	0,018	0,017	0,018	0,018
Me08	0,016	0,022	0,016	0,017	0,017	0,018	0,021
Me09	0,015	0,015	0,016	0,016	0,016	0,017	0,017
Me10	0,018	0,018	0,018	0,019	0,018	0,019	0,019
Me11	0,016	0,016	0,017	0,016	0,018	0,018	0,019
Me12	0,017	0,017	0,016	0,017	0,018	0,018	0,018
Me13	0,014	0,016	0,017	0,017	0,017	0,018	0,018
Me14	0,015	0,016	0,015	0,017	0,016	0,017	0,017
Me15	0,017	0,016	0,018	0,017	0,018	0,019	0,019
Me16	0,016	0,018	0,017	0,017	0,018	0,018	0,019
Me16	0,016	0,017	0,017	0,018	0,017	0,018	0,019
Me17	0,015	0,016	0,016	0,017	0,017	0,018	0,018
Me18	0,016	0,015	0,016	0,017	0,017	0,018	0,018
Me19	0,015	0,016	0,016	0,016	0,017	0,017	0,018
Me20	0,015	0,017	0,017	0,016	0,017	0,018	0,018
Me21	0,016	0,017	0,016	0,017	0,018	0,018	0,019
$\overline{\tan \delta}$	0,017	0,018	0,020	0,018	0,018	0,019	0,020

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 6

Meritev	Faktor izgub tan δ						
	1258,9 kHz	1584,9 kHz	1995,3 kHz	2511,9 kHz	3162,3 kHz	3981,1 Hz	5011,9 kHz
Me01	0,023	0,024	0,021	0,023	0,024	0,025	0,046
Me02	0,022	0,022	0,022	0,024	0,024	0,025	0,044
Me03	0,020	0,019	0,020	0,021	0,023	0,023	0,045
Me04	0,020	0,019	0,022	0,022	0,021	0,041	0,049
Me05	0,023	0,021	0,021	0,023	0,025	0,024	0,044
Me06	0,021	0,020	0,020	0,023	0,023	0,024	0,045
Me07	0,018	0,020	0,020	0,022	0,022	0,023	0,044
Me08	0,019	0,022	0,023	0,021	0,023	0,043	0,050
Me09	0,019	0,015	0,019	0,021	0,021	0,021	0,042
Me10	0,022	0,022	0,022	0,023	0,023	0,024	0,045
Me11	0,019	0,020	0,020	0,022	0,023	0,023	0,044
Me12	0,018	0,019	0,020	0,023	0,023	0,023	0,043

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 6

Me13	0,020	0,019	0,021	0,022	0,022	0,023	0,044
Me14	0,018	0,018	0,020	0,021	0,022	0,023	0,044
Me15	0,021	0,021	0,021	0,023	0,024	0,023	0,046
Me16	0,020	0,021	0,020	0,023	0,023	0,025	0,044
Me16	0,019	0,020	0,021	0,021	0,023	0,024	0,045
Me17	0,022	0,020	0,021	0,022	0,022	0,023	0,044
Me18	0,023	0,020	0,019	0,022	0,023	0,022	0,044
Me19	0,023	0,021	0,021	0,020	0,022	0,023	0,044
Me20	0,018	0,021	0,021	0,024	0,022	0,024	0,045
Me21	0,020	0,021	0,022	0,023	0,024	0,024	0,046
$\overline{\tan\delta}$	0,021	0,021	0,022	0,023	0,024	0,026	0,047

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 6

Meritev	Faktor izgub $\tan\delta$						
	6309,5 kHz	7943,3 kHz	10000 kHz	12589 kHz	15849 kHz	19953 kHz	25119 kHz
Me01	0,052	0,061	0,073	0,088	0,109	0,134	0,158
Me02	0,052	0,061	0,072	0,087	0,107	0,131	0,155
Me03	0,051	0,060	0,071	0,086	0,106	0,129	0,150
Me04	0,057	0,068	0,082	0,102	0,125	0,146	
Me05	0,051	0,061	0,072	0,087	0,108	0,132	0,155
Me06	0,052	0,060	0,072	0,087	0,107	0,131	
Me07	0,050	0,059	0,070	0,085	0,105	0,129	0,151
Me08	0,058	0,069	0,084	0,104	0,128	0,150	0,000
Me09	0,048	0,057	0,068	0,083	0,103	0,128	
Me10	0,052	0,060	0,072	0,088	0,108	0,132	0,154
Me11	0,051	0,060	0,071	0,085	0,106	0,129	0,150
Me12	0,051	0,060	0,074	0,090	0,111	0,136	0,159
Me13	0,051	0,061	0,073	0,089	0,111	0,136	
Me14	0,050	0,060	0,072	0,087	0,109	0,133	0,157
Me15	0,052	0,061	0,075	0,091	0,114	0,139	0,164
Me16	0,053	0,062	0,074	0,090	0,112	0,138	0,162
Me16	0,052	0,061	0,074	0,089	0,111	0,136	
Me17	0,051	0,061	0,073	0,089	0,111	0,137	
Me18	0,051	0,061	0,073	0,090	0,111	0,136	0,160
Me19	0,051	0,061	0,073	0,089	0,111	0,136	0,161
Me20	0,052	0,061	0,074	0,089	0,112	0,137	
Me21	0,053	0,062	0,074	0,090	0,112	0,138	0,162
$\overline{\tan\delta}$	0,054	0,064	0,077	0,094	0,116	0,142	0,105

Priloga 7: Vrednost ε pri zmesi s 15 % dodanega TiO₂

Meritev	m [g]	d [mm]	ε				
			79400 Hz	100000 Hz	125900 Hz	158500 Hz	199500 Hz
Me01	3,5	2,3	3,740	3,791	3,762	3,751	3,743
Me02	3,5	2,333	3,989	4,045	4,019	4,015	3,985
Me03	3,5	2,304	3,750	3,839	3,819	3,795	3,786
Me04	3,5	2,367	4,036	4,098	4,103	4,057	4,057
Me05	3,5	2,324	3,643	3,652	3,632	3,621	3,616
Me06	3,5	2,334	3,756	3,743	3,761	3,746	3,732
Me07	3,5	2,233	3,793	3,835	3,824	3,816	3,820
Me08	3,5	2,265	3,669	3,639	3,664	3,645	3,643
Me09	3,5	2,276	3,945	3,923	3,867	3,906	3,851
Me10	3,5	2,289	3,676	3,636	3,647	3,632	3,632
Me11	3,5	2,224	3,796	3,806	3,847	3,808	3,805
Me12	3,5	2,311	3,882	3,884	3,915	3,902	3,878
Me13	3,5	2,364	3,620	3,657	3,672	3,633	3,629
Me14	3,5	2,179	3,917	3,885	3,921	3,891	3,865
Me15	3,5	2,281	3,759	3,736	3,741	3,672	3,683
Me16	3,5	2,262	3,833	3,961	3,919	3,930	3,934
Me17	3,5	2,285	3,674	3,686	3,693	3,672	3,697
Me18	3,5	2,308	3,658	3,728	3,694	3,706	3,719
Me19	3,5	2,367	3,583	3,583	3,595	3,616	3,571
Me20	3,5	2,299	3,803	3,724	3,783	3,763	3,713
Me21	3,5	2,233	3,697	3,732	3,676	3,704	3,686
$\bar{\varepsilon}$			3,772	3,790	3,788	3,775	3,764

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 7

Meritev	ε						
	251200 Hz	316200 Hz	398100 Hz	501200 Hz	631000 Hz	794300 Hz	1000 kHz
Me01	3,728	3,714	3,720	3,702	3,699	3,680	3,682
Me02	3,991	3,999	3,964	3,970	3,954	3,944	3,938
Me03	3,787	3,772	3,758	3,755	3,737	3,736	3,718
Me04	4,024	4,018	4,009	4,010	3,986	3,980	3,960
Me05	3,586	3,593	3,588	3,582	3,564	3,559	3,551
Me06	3,735	3,743	3,725	3,716	3,697	3,694	3,685
Me07	3,801	3,807	3,790	3,778	3,772	3,765	3,750
Me08	3,638	3,624	3,619	3,610	3,601	3,589	3,580
Me09	3,857	3,825	3,828	3,808	3,804	3,796	3,792
Me10	3,606	3,597	3,547	3,574	3,570	3,561	3,551
Me11	3,794	3,799	3,788	3,785	3,767	3,751	3,745
Me12	3,874	3,850	3,930	3,845	3,839	3,825	3,815
Me13	3,615	3,624	3,715	3,592	3,593	3,583	3,572

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 7

Me14	3,906	3,875	3,661	3,853	3,844	3,833	3,822
Me15	3,680	3,667	3,637	3,648	3,642	3,628	3,615
Me16	3,902	3,898	3,917	3,883	3,864	3,857	3,844
Me17	3,675	3,668	3,654	3,665	3,649	3,640	3,626
Me18	3,682	3,682	3,675	3,671	3,664	3,647	3,642
Me19	3,585	3,583	3,550	3,559	3,547	3,542	3,530
Me20	3,728	3,716	3,704	3,691	3,687	3,681	3,671
Me21	3,665	3,670	3,666	3,643	3,636	3,621	3,617
$\bar{\varepsilon}$	3,755	3,749	3,735	3,730	3,720	3,710	3,700

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 7

Meritev	ε						
	1258,9 kHz	1584,9 kHz	1995,3 kHz	2511,9 kHz	3162,3 kHz	3981,1 Hz	5011,9 kHz
Me01	3,655	3,303	3,650	3,625	3,628	3,614	3,627
Me02	3,916	3,940	3,905	3,882	3,890	3,868	3,873
Me03	3,727	3,717	3,702	3,687	3,682	3,657	3,673
Me04	3,973	3,956	3,933	3,908	3,902	3,891	3,892
Me05	3,530	3,542	3,503	3,512	3,506	3,488	3,488
Me06	3,683	3,659	3,633	3,641	3,648	3,623	3,622
Me07	3,744	3,726	3,726	3,698	3,713	3,677	3,674
Me08	3,586	3,577	3,559	3,537	3,539	3,514	3,526
Me09	3,795	3,900	3,762	3,751	3,742	3,720	3,731
Me10	3,556	3,548	3,533	3,514	3,508	3,497	3,498
Me11	3,733	3,717	3,711	3,697	3,703	3,689	3,692
Me12	3,793	3,808	3,778	3,754	3,760	3,765	3,750
Me13	3,549	3,581	3,534	3,528	3,535	3,519	3,522
Me14	3,803	3,790	3,789	3,774	3,771	3,751	3,766
Me15	3,604	3,591	3,579	3,571	3,588	3,553	3,567
Me16	3,840	3,804	3,808	3,794	3,797	3,763	3,780
Me17	3,615	3,613	3,590	3,594	3,590	3,566	3,577
Me18	3,630	3,608	3,626	3,580	3,597	3,588	3,592
Me19	3,510	3,486	3,502	3,509	3,509	3,474	3,481
Me20	3,668	3,648	3,638	3,631	3,623	3,608	3,603
Me21	3,628	3,581	3,592	3,566	3,563	3,550	3,549
$\bar{\varepsilon}$	3,692	3,671	3,669	3,655	3,657	3,637	3,642

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 7

Meritev	$\bar{\varepsilon}$						
	6309,5 kHz	7943,3 kHz	10000 kHz	12589 kHz	15849 kHz	19953 kHz	25119 kHz
Me01	3,609	3,604	3,603	3,586	3,590	3,598	3,605
Me02	3,870	3,862	3,847	3,836	3,842	3,847	3,851
Me03	3,658	3,652	3,648	3,633	3,640	3,643	3,647
Me04	3,901	3,883	3,876	3,863	3,867	3,876	3,882
Me05	3,489	3,484	3,474	3,474	3,471	3,474	3,485
Me06	3,617	3,605	3,600	3,594	3,595	3,605	3,611
Me07	3,688	3,676	3,667	3,658	3,662	3,666	3,669
Me08	3,522	3,509	3,507	3,494	3,500	3,506	3,510
Me09	3,721	3,712	3,702	3,694	3,698	3,706	3,709
Me10	3,494	3,492	3,482	3,467	3,481	3,484	3,489
Me11	3,682	3,671	3,665	3,661	3,662	3,665	3,679
Me12	3,749	3,743	3,732	3,719	3,727	3,734	3,739
Me13	3,513	3,507	3,501	3,496	3,494	3,506	3,512
Me14	3,756	3,740	3,737	3,721	3,729	3,732	3,735
Me15	3,548	3,550	3,543	3,534	3,538	3,543	3,550
Me16	3,775	3,760	3,753	3,743	3,749	3,759	3,761
Me17	3,566	3,558	3,548	3,544	3,548	3,552	3,560
Me18	3,577	3,573	3,560	3,550	3,558	3,563	3,569
Me19	3,463	3,462	3,458	3,445	3,453	3,457	3,463
Me20	3,612	3,604	3,590	3,584	3,587	3,597	3,599
Me21	3,549	3,551	3,539	3,529	3,534	3,545	3,554
$\bar{\varepsilon}$	3,636	3,628	3,621	3,611	3,615	3,622	3,628

Priloga 8: Vrednost tan δ pri zmesi s 15 % dodanega TiO₂

Meritev	m [g]	d [mm]	79400 Hz	100000 Hz	125900 Hz	158500 Hz	199500 Hz
Me01	3,5	2,3	0,015	0,015	0,016	0,017	0,015
Me02	3,5	2,333	0,018	0,015	0,017	0,015	0,015
Me03	3,5	2,304	0,013	0,014	0,015	0,016	0,015
Me04	3,5	2,367	0,012	0,020	0,018	0,014	0,016
Me05	3,5	2,324	0,018	0,019	0,015	0,014	0,018
Me06	3,5	2,334	0,015	0,015	0,018	0,015	0,016
Me07	3,5	2,233	0,009	0,014	0,018	0,016	0,015
Me08	3,5	2,265	0,015	0,015	0,016	0,015	0,016
Me09	3,5	2,276	0,014	0,015	0,013	0,016	0,017
Me10	3,5	2,289	0,014	0,014	0,014	0,015	0,016
Me11	3,5	2,224	0,013	0,014	0,015	0,016	0,015
Me12	3,5	2,311	0,015	0,020	0,017	0,017	0,017
Me13	3,5	2,364	0,016	0,017	0,014	0,011	0,017
Me14	3,5	2,179	0,016	0,014	0,016	0,016	0,016
Me15	3,5	2,281	0,015	0,013	0,017	0,014	0,014

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 8

Me16	3,5	2,262	0,012	0,014	0,015	0,013	0,017
Me17	3,5	2,285	0,016	0,019	0,015	0,016	0,016
Me18	3,5	2,308	0,010	0,014	0,016	0,015	0,014
Me19	3,5	2,367	0,015	0,011	0,015	0,016	0,015
Me20	3,5	2,299	0,010	0,016	0,015	0,015	0,016
Me21	3,5	2,233	0,011	0,012	0,015	0,014	0,014
		$\bar{\tan \delta}$	0,0139037	0,0152759	0,01573	0,0150892	0,0157216

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 8

Meritev	251200 Hz	316200 Hz	398100 Hz	501200 Hz	631000 Hz	794300 Hz	1000 kHz
Me01	0,016	0,016	0,018	0,017	0,017	0,018	0,018
Me02	0,017	0,017	0,018	0,018	0,018	0,019	0,019
Me03	0,017	0,017	0,016	0,017	0,018	0,018	0,020
Me04	0,016	0,017	0,018	0,019	0,019	0,019	0,019
Me05	0,016	0,017	0,016	0,017	0,018	0,017	0,018
Me06	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,018	0,019
Me07	0,017	0,016	0,017	0,017	0,018	0,018	0,019
Me08	0,016	0,016	0,016	0,017	0,018	0,018	0,018
Me09	0,016	0,018	0,020	0,017	0,020	0,019	0,019
Me10	0,014	0,015	0,017	0,015	0,016	0,017	0,017
Me11	0,017	0,011	0,017	0,018	0,018	0,019	0,019
Me12	0,018	0,017	0,031	0,018	0,018	0,019	0,019
Me13	0,016	0,016	0,038	0,015	0,016	0,017	0,017
Me14	0,016	0,016	0,019	0,017	0,018	0,019	0,019
Me15	0,016	0,016	0,016	0,017	0,018	0,018	0,019
Me16	0,016	0,016	0,018	0,018	0,018	0,019	0,019
Me17	0,014	0,016	0,016	0,016	0,017	0,017	0,018
Me18	0,014	0,015	0,015	0,017	0,017	0,017	0,018
Me19	0,016	0,016	0,016	0,016	0,017	0,017	0,021
Me20	0,017	0,016	0,015	0,016	0,017	0,017	0,018
Me21	0,015	0,015	0,016	0,017	0,017	0,018	0,018
$\bar{\tan \delta}$	0,016038	0,016045	0,018583	0,017056	0,017593	0,017981	0,018653

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 8

Meritev	1258,9 kHz	1584,9 kHz	1995,3 kHz	2511,9 kHz	3162,3 kHz	3981,1 Hz	5011,9 kHz
Me01	0,019	0,007	0,020	0,023	0,022	0,022	0,044
Me02	0,022	0,019	0,021	0,022	0,022	0,024	0,046
Me03	0,018	0,020	0,020	0,022	0,023	0,044	0,051
Me04	0,023	0,021	0,023	0,022	0,023	0,023	0,045
Me05	0,020	0,016	0,020	0,021	0,022	0,021	0,044
Me06	0,016	0,019	0,021	0,022	0,022	0,024	0,044

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 8

Me07	0,022	0,022	0,021	0,022	0,023	0,024	0,045
Me08	0,017	0,020	0,019	0,022	0,022	0,022	0,043
Me09	0,020	0,017	0,022	0,022	0,023	0,023	0,045
Me10	0,020	0,017	0,018	0,019	0,021	0,022	0,044
Me11	0,019	0,020	0,021	0,022	0,023	0,044	0,052
Me12	0,020	0,022	0,021	0,023	0,022	0,024	0,046
Me13	0,021	0,018	0,017	0,021	0,021	0,022	0,042
Me14	0,025	0,021	0,022	0,023	0,024	0,024	0,046
Me15	0,020	0,020	0,023	0,022	0,022	0,044	0,050
Me16	0,022	0,021	0,019	0,023	0,024	0,024	0,045
Me17	0,020	0,020	0,019	0,022	0,021	0,022	0,043
Me18	0,018	0,017	0,019	0,018	0,021	0,023	0,044
Me19	0,019	0,021	0,020	0,021	0,022	0,042	0,050
Me20	0,020	0,020	0,020	0,022	0,022	0,023	0,045
Me21	0,019	0,018	0,019	0,022	0,022	0,023	0,044
$\tan \delta$	0,019988	0,018855	0,020196	0,021784	0,022201	0,026786	0,045609

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 8

Meritev	6309,5 kHz	7943,3 kHz	10000 kHz	12589 kHz	15849 kHz	19953 kHz	25119 kHz
Me01	0,050	0,060	0,072	0,088	0,111	0,137	0,162
Me02	0,053	0,062	0,074	0,090	0,112	0,138	0,163
Me03	0,060	0,072	0,087	0,108	0,134	0,159	
Me04	0,053	0,062	0,075	0,093	0,116	0,141	0,166
Me05	0,051	0,059	0,072	0,088	0,110	0,135	0,159
Me06	0,051	0,061	0,073	0,089	0,111	0,136	0,161
Me07	0,052	0,061	0,073	0,088	0,110	0,136	0,161
Me08	0,051	0,060	0,072	0,088	0,110	0,134	0,159
Me09	0,053	0,062	0,073	0,089	0,111	0,136	0,161
Me10	0,050	0,059	0,071	0,086	0,109	0,133	0,158
Me11	0,061	0,073	0,088	0,109	0,132	0,153	
Me12	0,052	0,062	0,073	0,088	0,109	0,133	0,157
Me13	0,050	0,060	0,071	0,086	0,108	0,132	
Me14	0,053	0,062	0,074	0,090	0,112	0,138	0,163
Me15	0,060	0,071	0,087	0,108	0,132	0,155	
Me16	0,053	0,062	0,074	0,089	0,111	0,135	0,160
Me17	0,050	0,059	0,071	0,086	0,107	0,131	0,153
Me18	0,050	0,060	0,072	0,087	0,108	0,133	0,158
Me19	0,059	0,071	0,086	0,108	0,132	0,156	
Me20	0,050	0,060	0,072	0,088	0,110	0,135	0,160
Me21	0,051	0,060	0,071	0,086	0,107	0,130	0,151
$\tan \delta$	0,053013	0,062654	0,075236	0,092009	0,114289	0,138896	0,159387

Priloga 9: Vrednost $\bar{\varepsilon}$ 6 mm MDF plošče

Meritev	m [g]	d [mm]	79400 Hz	100000 Hz	125900 Hz	158500 Hz	199500 Hz
MDF01	12,41	5,949	2,980	2,974	2,995	2,988	2,978
MDF02	12,43	5,962	3,153	3,149	3,099	3,114	3,089
MDF03	11,98	5,918	3,265	3,130	3,167	3,179	3,120
MDF04	12,23	5,944	3,181	3,172	3,067	3,120	3,129
MDF05	11,68	5,923	2,987	2,988	2,956	3,010	2,964
MDF06	12,19	5,928	4,001	3,909	3,833	3,685	3,607
MDF07	12,19	5,932	3,224	3,171	3,138	3,116	3,124
MDF08	12,5	5,947	3,127	3,222	3,261	3,293	3,242
MDF09	11,86	5,936	3,043	3,001	3,004	2,986	2,987
MDF10	11,97	5,954	2,923	2,957	2,934	2,891	2,903
MDF11	12,19	5,923	3,187	3,179	3,084	3,074	3,092
MDF12	11,91	5,909	3,018	2,987	2,988	2,969	2,934
MDF13	12,58	5,927	3,276	3,190	3,206	3,191	3,194
MDF14	12,47	5,949	3,200	3,174	3,217	3,165	3,175
MDF15	12,06	5,923	2,937	3,033	2,933	2,950	2,944
MDF16	11,6	5,919	2,947	2,944	2,921	2,910	2,884
$\bar{\varepsilon}$			3,153	3,136	3,113	3,103	3,085

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 9

Meritev	251200 Hz	316200 Hz	398100 Hz	501200 Hz	631000 Hz	794300 Hz	1000 kHz
MDF01	2,971	2,942	2,973	2,917	2,917	2,899	2,890
MDF02	3,095	3,078	3,121	3,054	3,029	3,026	2,995
MDF03	3,154	3,128	3,146	3,084	3,079	3,069	3,063
MDF04	3,079	3,094	3,054	3,047	3,039	3,018	3,011
MDF05	2,947	2,966	2,917	2,928	2,908	2,906	2,893
MDF06	3,516	3,423	3,295	3,303	3,245	3,215	3,190
MDF07	3,098	3,102	3,094	3,052	3,049	3,043	3,026
MDF08	3,218	3,223	3,142	3,201	3,186	3,168	3,151
MDF09	3,014	3,003	2,936	2,966	2,952	2,938	2,922
MDF10	2,909	2,873	2,858	2,856	2,849	2,830	2,826
MDF11	3,043	3,074	3,013	3,038	3,014	3,002	2,992
MDF12	2,929	2,918	2,875	2,896	2,881	2,859	2,869
MDF13	3,175	3,164	3,112	3,132	3,111	3,110	3,099
MDF14	3,172	3,187	3,197	3,118	3,112	3,096	3,092
MDF15	2,924	2,922	2,916	2,910	2,876	2,874	2,859
MDF16	2,869	2,872	2,917	2,840	2,837	2,831	2,817
$\bar{\varepsilon}$	3,070	3,061	3,035	3,021	3,005	2,993	2,981

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 9

Meritev	1258,9 kHz	1584,9 kHz	1995,3 kHz	2511,9 kHz	3162,3 kHz	3981,1 Hz	5011,9 kHz
MDF01	2,863	2,862	2,835	2,965	2,824	2,791	2,817
MDF02	3,003	2,967	2,959	2,911	2,951	2,911	2,921
MDF03	3,032	3,030	3,021	2,959	2,993	2,966	2,972
MDF04	2,935	2,975	2,970	2,938	2,951	2,927	2,917
MDF05	2,845	2,846	2,858	2,849	2,839	2,801	2,814
MDF06	3,120	3,165	3,152	3,074	3,093	3,077	3,095
MDF07	3,024	3,006	2,987	2,919	2,946	2,895	2,941
MDF08	3,140	3,111	3,117	3,029	3,085	3,043	3,050
MDF09	2,921	2,885	2,883	2,881	2,866	2,834	2,835
MDF10	2,792	2,820	2,755	2,717	2,755	2,729	2,749
MDF11	2,977	2,953	2,951	2,956	2,912	2,894	2,906
MDF12	2,839	2,835	2,818	2,800	2,784	2,780	2,758
MDF13	3,072	3,059	3,037	2,999	3,046	3,006	3,002
MDF14	3,068	3,091	3,047	3,010	3,026	2,992	2,990
MDF15	2,828	2,820	2,820	2,785	2,802	2,759	2,767
MDF16	2,796	2,818	2,763	2,760	2,757	2,730	2,747
$\bar{\varepsilon}$	2,954	2,953	2,936	2,910	2,914	2,883	2,893

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 9

Meritev	6309,5 kHz	7943,3 kHz	10000 kHz	12589 kHz	15849 kHz	19953 kHz	25119 kHz
MDF01	2,790	2,776	2,760	2,755	2,756	2,768	2,772
MDF02	2,890	2,893	2,874	2,852	2,863	2,875	2,883
MDF03	2,955	2,944	2,933	2,913	2,920	2,930	2,939
MDF04	2,902	2,894	2,873	2,860	2,868	2,882	2,887
MDF05	2,781	2,775	2,763	2,748	2,761	2,767	2,775
MDF06	3,074	3,056	3,047	3,032	3,040	3,051	3,056
MDF07	2,903	2,903	2,892	2,875	2,876	2,882	2,893
MDF08	3,042	3,029	3,016	2,997	2,996	3,005	3,006
MDF09	2,827	2,816	2,798	2,788	2,787	2,794	2,794
MDF10	2,724	2,716	2,708	2,688	2,687	2,694	2,698
MDF11	2,895	2,883	2,864	2,845	2,845	2,858	2,865
MDF12	2,760	2,748	2,739	2,727	2,731	2,731	2,730
MDF13	2,985	2,974	2,957	2,939	2,948	2,950	2,961
MDF14	2,984	2,965	2,954	2,934	2,938	2,945	2,947
MDF15	2,766	2,752	2,735	2,724	2,731	2,735	2,743
MDF16	2,717	2,712	2,696	2,691	2,690	2,695	2,696
$\bar{\varepsilon}$	2,875	2,865	2,851	2,835	2,840	2,848	2,853

Priloga 10: Vrednost $\tan\delta$ 6 mm MDF plošče

Meritev	m [g]	d [mm]	79400 Hz	100000 Hz	125900 Hz	158500 Hz	199500 Hz
MDF01	12,41	5,949	0,025	0,027	0,031	0,025	0,024
MDF02	12,43	5,962	0,025	0,019	0,020	0,023	0,026
MDF03	11,98	5,918	0,027	0,022	0,020	0,023	0,029
MDF04	12,23	5,944	0,020	0,020	0,025	0,022	0,027
MDF05	11,68	5,923	0,027	0,022	0,020	0,023	0,028
MDF06	12,19	5,928	0,129	0,136	0,143	0,137	0,137
MDF07	12,19	5,932	0,024	0,024	0,021	0,023	0,028
MDF08	12,5	5,947	0,028	0,023	0,026	0,025	0,029
MDF09	11,86	5,936	0,015	0,023	0,028	0,025	0,022
MDF10	11,97	5,954	0,023	0,021	0,025	0,024	0,026
MDF11	12,19	5,923	0,027	0,022	0,026	0,025	0,031
MDF12	11,91	5,909	0,018	0,022	0,024	0,021	0,026
MDF13	12,58	5,927	0,012	0,024	0,022	0,025	0,027
MDF14	12,47	5,949	0,024	0,022	0,024	0,025	0,025
MDF15	12,06	5,923	0,014	0,025	0,024	0,026	0,024
MDF16	11,6	5,919	0,018	0,016	0,021	0,025	0,024
		$\bar{\tan\delta}$	0,028	0,029	0,031	0,031	0,033

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 10

Meritev	251200 Hz	316200 Hz	398100 Hz	501200 Hz	631000 Hz	794300 Hz	1000 kHz
MDF01	0,022	0,028	0,029	0,029	0,031	0,031	0,032
MDF02	0,028	0,029	0,028	0,029	0,032	0,032	0,033
MDF03	0,027	0,028	0,033	0,029	0,032	0,032	0,033
MDF04	0,027	0,027	0,032	0,029	0,030	0,032	0,033
MDF05	0,026	0,027	0,024	0,029	0,030	0,031	0,033
MDF06	0,127	0,120	0,113	0,097	0,086	0,076	0,067
MDF07	0,026	0,027	0,028	0,031	0,031	0,032	0,034
MDF08	0,027	0,029	0,030	0,031	0,032	0,033	0,035
MDF09	0,026	0,028	0,028	0,029	0,031	0,030	0,032
MDF10	0,025	0,027	0,032	0,029	0,030	0,030	0,032
MDF11	0,027	0,028	0,033	0,031	0,032	0,033	0,034
MDF12	0,026	0,029	0,023	0,027	0,030	0,032	0,031
MDF13	0,029	0,029	0,035	0,030	0,031	0,033	0,035
MDF14	0,028	0,029	0,031	0,030	0,030	0,033	0,033
MDF15	0,028	0,029	0,030	0,029	0,030	0,031	0,032
MDF16	0,026	0,027	0,034	0,028	0,030	0,030	0,031
$\bar{\tan\delta}$	0,033	0,034	0,035	0,034	0,034	0,034	0,035

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 10

Meritev	1258,9 kHz	1584,9 kHz	1995,3 kHz	2511,9 kHz	3162,3 kHz	3981,1 Hz	5011,9 kHz
MDF01	0,032	0,036	0,035	0,045	0,039	0,039	0,057
MDF02	0,036	0,036	0,039	0,037	0,041	0,042	0,059
MDF03	0,033	0,037	0,038	0,037	0,041	0,039	0,059
MDF04	0,034	0,036	0,039	0,040	0,042	0,041	0,059
MDF05	0,035	0,038	0,036	0,044	0,040	0,040	0,059
MDF06	0,061	0,054	0,053	0,049	0,047	0,049	0,062
MDF07	0,034	0,038	0,040	0,040	0,040	0,042	0,060
MDF08	0,034	0,038	0,040	0,039	0,042	0,043	0,059
MDF09	0,033	0,037	0,034	0,041	0,039	0,040	0,059
MDF10	0,032	0,034	0,036	0,036	0,039	0,040	0,058
MDF11	0,032	0,039	0,036	0,040	0,038	0,041	0,058
MDF12	0,029	0,040	0,034	0,041	0,038	0,040	0,057
MDF13	0,039	0,037	0,037	0,043	0,043	0,042	0,058
MDF14	0,037	0,035	0,037	0,042	0,041	0,042	0,058
MDF15	0,031	0,034	0,035	0,039	0,038	0,041	0,056
MDF16	0,041	0,035	0,035	0,038	0,038	0,041	0,058
$\overline{\tan\delta}$	0,036	0,038	0,038	0,041	0,040	0,041	0,058

Se nadaljuje

Nadaljevanje priloge 10

Meritev	6309,5 kHz	7943,3 kHz	10000 kHz	12589 kHz	15849 kHz	19953 kHz	25119 kHz
MDF01	0,064	0,071	0,081	0,096	0,116	0,134	0,151
MDF02	0,064	0,072	0,083	0,097	0,117	0,134	0,152
MDF03	0,065	0,072	0,081	0,093	0,110	0,126	0,141
MDF04	0,066	0,072	0,083	0,097	0,117	0,135	0,153
MDF05	0,063	0,072	0,082	0,096	0,116	0,134	0,153
MDF06	0,068	0,075	0,086	0,099	0,117	0,136	0,154
MDF07	0,066	0,073	0,083	0,096	0,114	0,134	0,152
MDF08	0,066	0,074	0,084	0,096	0,116	0,134	0,152
MDF09	0,065	0,071	0,081	0,094	0,114	0,132	0,150
MDF10	0,063	0,070	0,081	0,094	0,113	0,132	0,150
MDF11	0,064	0,072	0,083	0,098	0,117	0,135	0,153
MDF12	0,063	0,071	0,081	0,095	0,115	0,133	0,152
MDF13	0,065	0,073	0,083	0,096	0,115	0,133	0,152
MDF14	0,066	0,073	0,082	0,096	0,115	0,134	0,151
MDF15	0,063	0,071	0,080	0,093	0,112	0,130	0,148
MDF16	0,063	0,071	0,081	0,095	0,115	0,133	0,151
$\overline{\tan\delta}$	0,064	0,072	0,082	0,096	0,115	0,133	0,151

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTO

Primož STUPICA

**UPORABA VF TEHNOLOGIJE ZA UTRJEVANJE
PRAŠKASTIH PREMAZOV**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2009