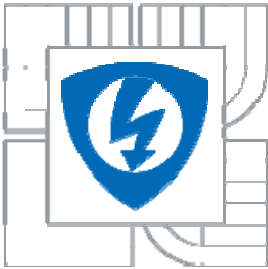




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

ŘÍZENÉ VYTÁPĚNÍ KOMPOZITNÍHO MATERIÁLU

THE CONTROLLED HEATING OF COMPOSITES MATERIALS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MARTIN FAJKUS

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. PAVEL ŠTEFFAN, Ph.D.

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav mikroelektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Mikroelektronika

Student: Bc. Martin Fajkus

ID: 78172

Ročník: 2

Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TĚMATU:

Řízené vytápění kompozitního materiálu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Analýzujte předložené kompozitní materiály obsahující uhlíkové nanočástice z hlediska použitelnosti pro rozpouštění ledu a sněhu na chodníku. Na základě předchozího studia a provedených měření navrhnete řídicí jednotku vhodnou pro vytápění předloženého kompozitního materiálu. Jednotku navrhnete tak, aby umožňovala vzdálené ovládání topného tělesa. Navrženou řídicí jednotku zrealizujte a ověřte její funkčnost.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 8.2.2010

Termín odevzdání: 27.5.2010

Vedoucí práce: Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.

prof. Ing. Vladislav Musil, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení částí druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Martin Fajkus
Bytem: Wolkerova 830, Frýdek - Místek
Narozen/a (datum a místo): 7.6.1986, Frýdku - Místku

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 244/53, 602 00, Brno
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
Prof. Ing
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
 - diplomová práce
 - bakalářská práce
 - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Řízené vytápění kompozitního materiálu
Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.
Ústav: Ústav mikroelektroniky
Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v*:

- tištěné formě – počet exemplářů 2
- elektronické formě – počet exemplářů 2

* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....
Nabyvatel

.....
Autor

Abstrakt:

Předpokládána práce se zabývá problémem řízeného vytápění kompozitního materiálu pro venkovní použití. Základem práce je analýza předložených vzorků kompozitního materiálu. Porovnání naměřených hodnot kompozitních materiálu, vyhodnocení a výběr vhodných vzorků pro další použití. Součástí práce je vytvoření měřicího softwaru pro analýzu vzorku. Další částí práce je realizace zařízení řídicí jednotky pro vytápění kompozitního materiálu z možnosti regulace a z možnosti ovládat řídicí jednotku s počítače.

Abstract:

The supposed thesis considers problem of heating of composite material for outdoor application. Basement of thesis is analysis of submitted sample of composite material. Measured values of composite material were compared and evaluated and than acceptable samples were choosen for next application. Part of thesis is creation of measuring software for analysis of sample. Other part of thesis is realization of equipment of control unit for heating of composite material. Control unit makes it possible to regulate heating and to set up parameters from computer.

Klíčová slova:

Kompozity, vytápění, temperování, experimenty.

Keywords:

Composite, heating, tempering, experimentation.

Bibliografická citace díla:

FAJKUS, M. *Řízené vytápění kompozitního materiálu*. Brno, 2010. 68 s. Vedoucí diplomové práce práce Ing. Pavel Šteffan, Ph.D. FEKT VUT v Brně

Prohlášení autora o původnosti díla:

Prohlašuji, že jsem tuto vysokoškolskou kvalifikační práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 29. 5. 2008

.....

Poděkování:

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Pavlu Šteffanovi, Ph.D. za metodické a cíleně orientované vedení při plnění úkolů realizovaných v průběhu zpracovávání diplomové práce.

OBSAH

ÚVOD:	12
1.1 KOMPOZITNÍ SLOUČENINY BETONU:	13
1.2 KOMPOZITNÍ SLOUČENINY POLYMERŮ:	16
1.3 SROVNÁNÍ KOMPOZITNÍCH KONSTRUKČNÍCH MATERIÁLU:	18
2 ŘEŠENÁ PROBLEMATIKA:	21
2.1 ANALÝZA KOMPOZITNÍCH VZORKŮ:	21
2.1.1 Vzorky tvaru válečku:	21
2.1.2 Vyhodnocení naměřených výsledku vzorku válečku:	22
2.1.3 Vzorky tvaru dlaždic:	24
2.1.4 Vyhodnocení naměřených výsledku vzorku dlaždic:	25
2.1.5 Experiment 1: stárnutí vzorku	26
2.1.6 Experiment 2: zalití vzorku do betonu.....	28
2.1.7 Experiment 3: teplotní rozložení	32
2.1.8 Měření vzorku:.....	36
2.1.9 Program pro měření impedance vzorku:	36
2.1.10 Vlastní měření:	38
2.2 REALIZACE ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY VYTÁPĚNÍ:	39
2.2.1 Volba Mikroprocesoru:.....	41
2.2.2 Volba výkonového řízení:	42
2.2.3 Obslužná část:.....	44
2.2.4 Nastavovací část:	50
2.2.5 Funkce řídicí jednotky	53
2.2.6 Popis menu zařízení:.....	54
2.2.7 Obslužný program pro PC:	56
3 ZÁVĚR:	59
4 POUŽITÁ LITERATURA:	61
5 PŘÍLOHY:	63

Soubor použitých obrázku v textu:

Obr. 1: Změna teploty v závislosti na čase. Zahřívání a chladnutí betonu s příměsí ocelového drátu o průměru 8 μm a měrném elektrickém odporu 0,85 Ωcm při napájecím výkonu 5,6 W.....	15
Obr. 2: Závislost efektivy na čase při rostoucím teple vlákna oceli o průměru 8 μm a měrném elektrickém odporu 0,85 Ωcm při napájecím výkonu 5,6 W. Efektivita přeměny elektrické energie stoupá, až dosáhne 100 %.....	16
Obr. 3: Matice uhlíkových vláken polymeru – maticového složení zahrnujících 2 diagonálních plátů.....	17
Obr. 4: Fotka vzorku tvaru válečku.....	22
Obr. 5: Fotka vzorku tvaru dlaždice.....	24
Obr. 6: Snímek mikroskopem uhlíkových sazí typu B.....	25
Obr. 7: Vzorek NK57 E připojený na zdroj napájení a jeho rozložení teploty	30
Obr. 8: Vzorek NK57 E zalitý připojený na zdroj napájení a jeho rozložení teploty	30
Obr. 9: Vzorek NK57 Ep připojený na zdroj napájení a jeho rozložení teploty	31
Obr. 10: Vzorek NK57 Ep zalitý připojený na zdroj napájení a jeho rozložení teploty	32
Obr. 11: Termosnímky vzorku NK57_1 E.....	33
Obr. 12: Termosnímky vzorku NK57_2 E.....	34
Obr. 13: Termosnímky vzorku NK57_3 E.....	34
Obr. 14: Termosnímky vzorku NK57_4 E.....	35
Obr. 15: Termosnímky vzorku NK57_5 E.....	35
Obr. 16: Měřicí přístroj Agilent RLC- metr E4980A.....	36
Obr. 17: Program na měření vzorku kompozitního materiálu vytvořený pomocí Agilent VEE Pro 8.5.....	37
Obr. 18: Obslužná část realizované řídicí jednotky.....	40
Obr. 19: Nastavovací část realizované řídicí jednotky.....	40
Obr. 20: Zapojení programovacího konektoru JTAG	41
Obr. 21: Programátor AVR Dragon	42

Obr. 22: Schéma výkonové části zařízení	44
Obr. 23: Deska plošných spojů Top vrstva	45
Obr. 24: Deska plošných spojů Bottom vrstva	45
Obr. 25: Schéma zapojení spínaného zdroje MAX5035BASA	46
Obr. 26: Zapojení RTC DS3231	47
Obr. 27: Schéma zapojení FTDI232RL	48
Obr. 28: Schéma zapojení teplotního čidla KTY81-120	49
Obr. 29: Schéma zapojení proudového čidla ACS712	50
Obr. 30: LCD modul EA DOG163E-A	50
Obr. 31: Zapojení LCD modulu DOGM163	51
Obr. 32: Schéma zapojení nastavovací desky	52
Obr. 33: Deska plošných spojů pro nastavovací desku	53
Obr. 34: Základní obrazovka obslužného programu	56
Obr. 35: Nastavení zařízení v obslužném programu	57
Obr. 36: Nastavení vytápění v obslužném programu	58

Soubor použitých tabulek v textu:

Tab. 1: Účinnost vlastního ohřevu z teploty 19°C a potřebné výkony k dosažení nejvyšší teploty.	20
Tab. 2: Typy vzorku a jejich složení	25
Tab. 3: Naměřené hodnoty stárnutých a nestárnutých vzorků	27
Tab. 4: Porovnání nezalitých a zalitých vzorků dlaždic	29
Tab. 5: Naměřené hodnoty impedance pro vzorky děrovaných dlaždic velkých NK57	33
Tab. 6: Vybrané naměřené hodnoty pro vzorky valečku kompozitního materiálu	63
Tab. 7: Naměřené hodnoty vzorku kompozitu dlaždic	67

Soubor požitých grafů v textu:

Graf 1: Závislost reálné části impedance na frekvenci pro vzorek NK59.....	23
Graf 2: Porovnání naměřených hodnot pro 2 vzorky	23
Graf 3: Porovnání vzorku NK57E a NK57Ep.....	26
Graf 4: Porovnání stárnutého a nestárnutého vzorku 56d a 56da.....	28
Graf 5: Porovnání vzorku nezalitých a zalitých do betonové výztuže	29

Úvod:

V době, kdy se všechny zařízení vyvíjí velmi rychle a jejich funkce se zlepšují a efektivita roste, se vyvíjí i systémy vytápění. Především, aby bylo vytápění efektivnější, tedy s větší efektivitou přeměny energie na teplo a umožňovalo jednodušší instalaci zařízení.

Zefektivňování se tedy dneska uplatňuje, i na vytápění budov. Další oblastí je rozpouštění sněhu a ledu v leteckém průmyslu, například na rozmrazování leteckých drah a přístupových cest k nim. Dále se využívá například rozpouštění ledu a sněhu na chodnících a cestách. Sníh z letištních ploch, chodníků, cest a dalších věcí se dá odstraňovat pomocí lidské práce, například pomocí lopat, nebo pomocí speciální motorizované techniky. Takovou to techniku je, ale potřeba obsluhovat a navíc je technika poměrně drahá. Navíc po odklizení sněhu a ledu touto metodou zůstávají na povrchu zbytky sněhu a především ledu. Takovéto zbytky jsou nežádoucí.

U vytápění budov se nejvíce diskutuje o energetické účinnosti takového vytápění. Vytápění budov je v dnešní době řešeno konvenčním způsobem, a to buď použitím vzduchového systému vytápění. Tento systém se nachází vně konstrukčních materiálů. Druhou možností je využití topných kabelů. Topné kabely jsou zakomponovány do konstrukčních materiálů. Nevýhodou je, že mezi topným kabelem a konstrukčním materiálem dochází k přechodovým odporům a účinnost takového systému není úplně ideální. Za účelem zakomponování vytápění do designu konstrukčního materiálu, lze využít kompozitní betonové materiály. Tyto materiály se zahřívají průchodem proudu a vytápí tedy po celém svém objemu homogenně. Tyto materiály jsou kompozitní sloučeniny betonu. Dominantním konstrukčním materiálem jsou zde sloučeniny na bázi betonu vyvinuté pro budovy a nepřetržitě vlákno složené z polymerů a vodivostních příměsí do polymerové matice, vyvinuté pro kategorii lehkých struktur, například pro použití v leteckém průmyslu.

Získávat tepelnou energii z energie elektrické jde dvěma způsoby. Odporovým ohřevem (jouleovo teplo) a indukčním ohřevem. Tepelná energie se získává za použití elektrických tepelných čerpadel, plazmy a laseru. Musíme rozeznávat tepelnou energii získanou, ze slunečních kolektorů a tepelnou energii získanou za použití fosilních paliv jako je uhlí, topný olej, zemní plyn. Teplo získané z fosilních paliv má, ale ekologický dopad na planetu, jako je skleníkový efekt a globální oteplování. Používání solárních kolektorů je problémové díky vysoké pořizovací ceně za solární panely na vytápění a díky ne vždy vhodným

podmínkám pro použití solárních panelů (v našich podmínkách je jen jako doplňkový systém vytápění). Díky těmto faktorům se elektrické vytápění stává víc a víc využíváno na vytápění. Elektrická tepelná čerpadla jsou tedy hodně rozšířena k vytápění budov. Naopak odporový ohřev je jen doplňkovou metodou získávání tepla s elektrické energie, které se v poslední době věnuje víc a víc odborníku.

Elektrickým odporovým ohřevem se tedy ve svojí práci budu zabývat. Elektrický odporový ohřev pracuje na principu, kdy elektrický proud prochází skrz odporový materiál, tento materiál klade průchodu proudu odpor a v tomto důsledku se materiál zahřívá. Pokud jde o budovy, cesty, chodníky je elektrický odporový ohřev implementován jako vložený topný článek do konstrukčního materiálu, ze kterých je tento objekt utvořen, například beton. Materiál, ze kterého je topný článek vyroben, musí mít určitý měrný elektrický odpor, jelikož tímto odporem je dán elektrický proud procházející topným článkem a pokud by byl měrný elektrický odpor moc malý, mělo by to za následek vysoký proud. Takovýto proud by byl zbytečně vysoký a komplikovaně dosažitelný. Byl by tedy problém dosáhnout zadaného vytápěcího výkonu. A naopak pokud by měl měrný elektrický odpor velký odpor, byl by elektrický proud moc malý, a bylo by potřeba vysokého napětí, aby byl schopen topný článek, poskytnou požadovaný výkon.

Materiály pro topné články zahrnují slitiny kovů (jako nikl - chrom), keramiky (jako karbit křemíku), grafit, polymerové maticové směsice, karbon – karbonové složeniny, asfalt a beton.

Elektrický odporový ohřev se používá nejen na získávání tepla, jako například na rozmrazování můstkových palub, příjezdové cesty k domu, ranveje pro letadla, chodníky. Požití elektrického odporového ohřevu se taky hojně využívá při svařování plastů.

1.1 Kompozitní sloučeniny betonu:

Konvenční běžný beton je elektrický vodivý, ale jeho elektrický měrný odpor je příliš vysoký na to, aby se dal použít pro elektrický odporový ohřev s dostatečnou účinností. Měrný elektrický odpor může být snížen za pomoci elektrických vodivých příměsí nebo kameniva, jako nesouvislá uhlíková vlákna, nesouvislá ocelová vlákna, nebo hobliny a grafit. Snížení měrného elektrického odporu lze také provést za pomoci použití alkalické struktury pojiva. Efektivní metoda ke zmenšení měrného elektrického odporu je jen jedna a to použít vodivou

příměs v objemu daného materiálu za mezí propojení. Propojení rozumíme, jako vytvoření nepřetržité vodivé cesty, na základě dotyku přilehajících vodivých článkem nebo složek.

Naším cílem je zlepšit efektivitu vedení elektrického proudu kompozitní sloučeninou betonu, typu maticového složení pro elektrický odporový ohřev. Tyto směsice mají měrný elektrický odpor menší než běžné konvenční betony, kvůli dosažení propojení vodivých příměsí.

Kvůli výjimečně nízkému měrnému elektrickému odporu ($0,85 \Omega\text{cm}$) dosažený použitím $8 \mu\text{m}$ průměru ocelového vlákna v betonu, je účinnost přeměny elektrické energie na teplo výjimečně vysoká. Pro sloučeninu betonu s danými vlákny oceli, má po přivedení stejnosměrného výkonu o velikosti $5,6 \text{ W}$ (tj. $7,1 \text{ V}$ a $0,79 \text{ A}$) [1] za následek vyvinutí maximální teploty $60 \text{ }^\circ\text{C}$ z počáteční teploty $19 \text{ }^\circ\text{C}$. Za čas 6 minut se dosáhlo $39,5 \text{ }^\circ\text{C}$ [1], tedy poloviny maximálního zvýšení teploty.

Závislost teploty na čase při dodávání konstantního výkonu je znázorněna na obr. 1. Efektivita, která je znázorněna na obr. 2, přeměny elektrické energie na tepelnou se zvětšovala s dobou ohřevu a dosáhla 100 % po 50 minutách [1]. Tepelná síla jednotkového výkonu dosažená vlákny oceli v betonu byla 750 Wm^2 , ve srovnání s 340 Wm^2 [1] pro kovový drát mající stejný odpor. Kvůli přítomnosti vláken oceli, jsou technické vlastnosti nad vlastnostmi běžného konvenčního betonu.

Na rozdíl od ocelových vláken je pro uhlíkové vlákno, které obsahuje 1 % v objemu betonu měrný elektrický odpor $104 \Omega\text{cm}$. Elektrický výkon přivedený na sloučeninu o velikosti $1,8 \text{ W}$ (28 V a $0,065 \text{ A}$) na tuto strukturu, má za následek dosáhnutí maximální teploty o velikosti $56 \text{ }^\circ\text{C}$ z počáteční teploty $19 \text{ }^\circ\text{C}$. Za čas roven 256 s (což je 4,25 minuty) [1] dosáhne poloviny maximálního zvětšení teploty, tedy zvýší teplotu na $37,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Nevýhodou u vláken uhlíku je vysoké napájecí napětí 28 V vůči napájecímu napětí 7 V pro případ ocelových vláken ve sloučenině betonu. Nevýhoda je pro netypické napájecí napětí. Realizace napájecího zdroje je ještě horší pro částičky grafitu (37 % v objemu betonu), jeho měrná elektrická vodivost je $407 \Omega\text{cm}$ [1].

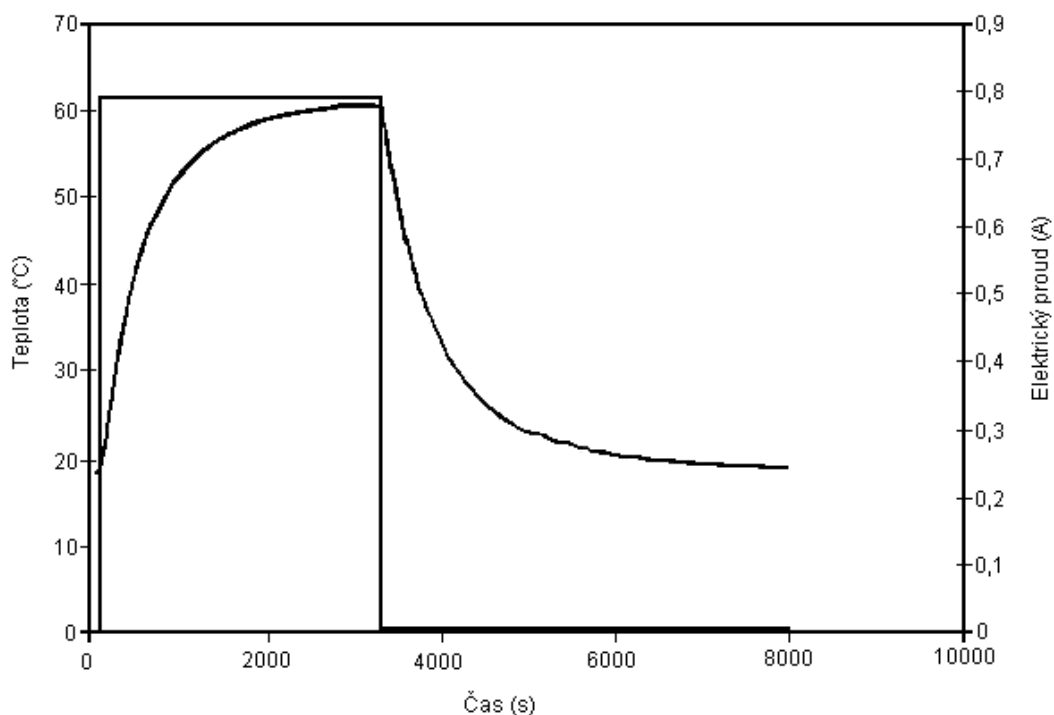
Vlákno oceli, které bylo dříve zmiňované má průměr jen $8 \mu\text{m}$. Vlákno oceli většího průměru například $60 \mu\text{m}$ má mnohem menší účinnost ve snižování měrného elektrického odporu běžného konvenčního betonu, a je tedy méně vhodný pro vytápěcí struktury.

Například vlákna z oceli o průměru $8 \mu\text{m}$ a 0,54 % koncentraci v objemu daného betonu mají měrný elektrický odpor $23 \Omega\text{cm}$, zatímco vlákna oceli o průměru $60 \mu\text{m}$ a 0,50 %

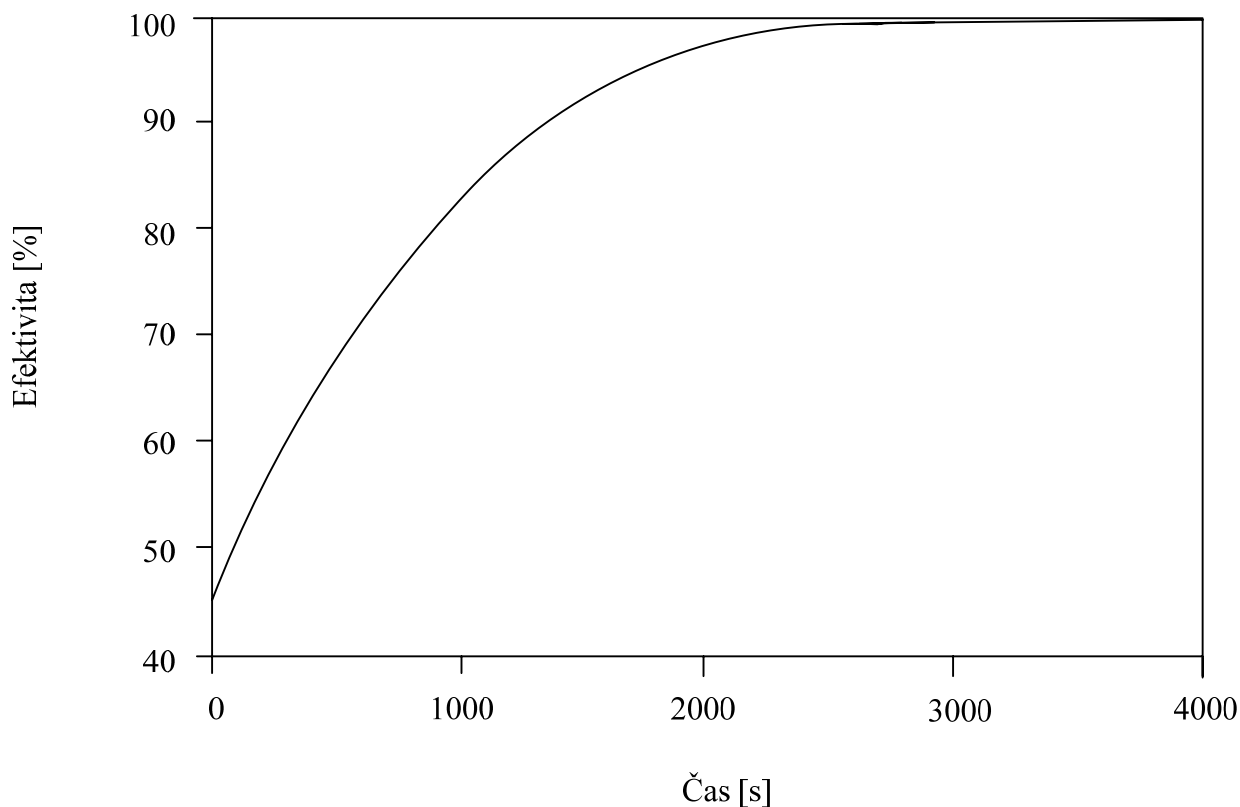
[1] koncentrací v objemu daného betonu mají měrný elektrický odpor $1,4 \cdot 10^3 \Omega\text{cm}$. A vlákna z oceli o průměru $8 \mu\text{m}$ a $0,36 \%$ koncentraci v objemu daného betonu mají měrný elektrický odpor $57 \Omega\text{cm}$, zatímco vlákna oceli o průměru $60 \mu\text{m}$ a $0,40 \%$ [1] koncentrací v objemu daného betonu mají měrný elektrický odpor $1,7 \cdot 10^3 \Omega\text{cm}$ [1].

Alternativní technologie výroby betonů zahrnuje používání hoblin oceli (0,15 mm až 4,75 mm velikost částice) spolu z malých průměrů vláken uhlíkové oceli vytvoří vodivou směs. Použití 20% koncentrace ocelových hoblin v objemu betonu, spolu ze $1,5 \%$ koncentrací uhlíkových ocelových vláken v betonu má za následek, že měrný elektrický odpor je v rozmezí $75 \Omega\text{cm}$ až $100 \Omega\text{cm}$. Měrný elektrický odpor se za zvyšujícího času zvětšuje, až dosáhne po 6 měsících $350 \Omega\text{cm}$, pravděpodobně kvůli rozežírání hoblin oceli a vláken uhlíkové oceli. Vysoký měrný elektrický odpor a zvyšování měrného elektrického odporu v závislosti na čase je nevhodné, pro jeho používání v praxi.

Pokud ale použijeme vlákna nerezové oceli ($8 \mu\text{m}$ v průměru a $0,7 \%$ koncentrace v betonu). Beton má nízký měrný odpor $0,85 \Omega\text{cm}$ a jeho měrný elektrický odpor je stabilní v průběhu času. Navíc nepotřebuje zvláštní zařízení či procedury při výrobě.



Obr. 1: Změna teploty v závislosti na čase. Zahřívání a chladnutí betonu s příměsí ocelového drátu o průměru $8 \mu\text{m}$ a měrném elektrickém odporu $0,85 \Omega\text{cm}$ při napájecím výkonu $5,6 \text{ W}$. [2]



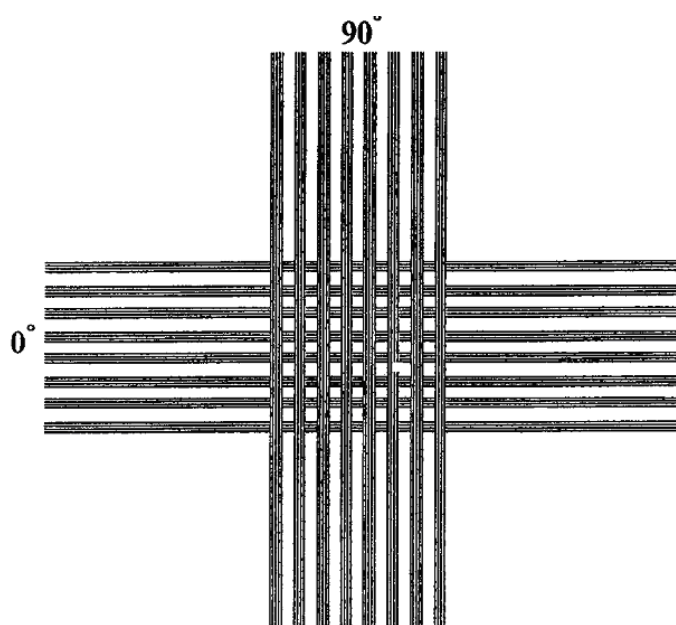
Obr. 2: Závislost efektivity na čase při rostoucím teple vlákna oceli o průměru 8 μm a měrném elektrickém odporu 0,85 Ωcm při napájecím výkonu 5,6 W. Efektivita přeměny elektrické energie stoupá, až dosáhne 100 % [2].

1.2 kompozitní sloučeniny polymerů:

Zahřívání v nepřetržitých vláknech sloučeniny polymerů může být dosaženo následujícími metodami.

- a) Vložení nízkých měrných elektrických odporů do mezivrstev (například uhlíková vláknová rohož) mezi přilehajícími pláty u složeného zhotovení a použití mezivrstvy jako topný článek.
- b) Použití vodivých posilujících vláken (například nepřetržitá uhlíková vlákna), poskytnou složenou vodivost a působí jako celkový složený topný článek.
- c) Použití interlaminární meziplochy mezi přilehajícími pláty vodivých posilujících vláken (například nepřetržitých uhlíkových vláken), působí jako topný článek.

Způsob a) je nejběžněji používaný, vhodný totiž pro širokou škálu směsí, kde posilující vlákna jsou vodivá nebo nevodivá. Způsob b) není vhodný, protože je zde potřeba použít uhlíkové vlákna s relativně nízkým měrným elektrickým odporem a taková vlákna jsou relativně drahá. Způsob c) zahrnuje inovační pohled na tuto problematiku, kde se využívá interlaminárních mezíplach mezi přiléhajícími pláty vodivých vláken, což dovoluje, aby rozhraní sloužilo jako topný prvek. Meziplocha mezi dvěma vodivostními pláty může být uspořádána tak, aby poskytovala dvojrozměrné pole topných článků. U x-y mřížky znázorněné na obr. 3. Tím je umožněno teplo, se distribuovat po velmi malé tepelné ploše pro každý topný článek zvlášť.



Obr. 3: Matice uhlíkových vláken polymeru – maticového složení zahrnujících 2 diagonálních plátů [3]

Jestliže použijeme pro aplikaci typ směsi a), tak to znamená použití pórovité rohože, zahrnující krátká uhlíková vlákna a malý podíl organického pojiva použitého pro mezivrstvy. Krátká uhlíková vlákna v rohoži jsou náhodně orientována ve dvou rozměrech. Tyto rohože jsou vyrobeny mokřím formováním, podobně jako v papírnictví. Na rohoži jsou potom vidět uhlíkové vlákna a velikost měrného elektrického odporu začíná na hodnotě 0,11 Ωcm

s tepelnou stálostí až do 205 °C. Pokusy byla dokázána účinnost jako u odporového topného článku.

To znamená, že vyvine teplotu až 134 °C při počáteční teplotě 19 °C při maximálním výkonu 6,5 W a s časovou konstantou do 106 s, za kterou dosáhne poloviny maximálního zvětšení teploty. Během počátečního období rychlé zvětšení teploty (5 sekund) je až 3,8 J [1]. Efektivita přeměny energie je téměř 100 %, dokonce v prvních 5 sekundách vytápění. Rohož zahrnující kov (nikl, měď, nikl trojbarevná vrstva), která je pokryta uhlíkovými vlákny a má velikost měrného elektrického odporu 0,07 Ωcm, poskytuje sice nižší teploty (do 79 °C), ale s rychlejším teplotním růstem, do 14 s dosáhne poloviny maximálního zvětšení teploty (z počátečního stavu 19 °C) [1].

Použití metody c) představuje použití meziplochy se dvěma diagonálními pláty nepřetržitého uhlíkového vlákna složeného do sloučeniny s epoxidem. Pro rozhraní o velikosti 5 mm x 5 mm a měrném elektrickém odporu 0,067 Ω. Pokud se na tento typ přivede stejnosměrný elektrický výkon o velikosti 0,59 W (3,0 A a 0,2 V) způsobí to, že maximální teplota je 89 °C (počáteční teplota je 19 °C). Čas potřebný na dosažení poloviny maximálního zvětšení teploty je 16 sekund. Efektivita přeměny energie dosahuje 100 % asi po 55 sekundách přenosu tepla, kdy jsme schopni dosáhnout teplotního výstupního výkonu až $4 \cdot 10^4$ W/m² interlaminárního rozhraní [1].

1.3 Srovnání kompozitních konstrukčních materiálů:

Tab. 1 ukazuje srovnání účinnosti různých konstrukčních materiálů určené pro vytápění, jak byly vyzkoušeny v laboratořích.

Složeniny uhlíkového vlákna a epoxidu interlaminárního rozhraní (6 položka v tab. 1) a Nikl/Měď/Nikl trojbarevná vrstva uhlíkové vláknové rohože (5 položka v tab. 1) jsou výjimečné pro použití, aby poskytovaly rychlé a významné teplotní odpovědi, ačkoliv jejich instalovaný výkon je malý (například pro impulzní vytápění). Uhlíková vláknová rohož (4 položka v tab. 1) je výjimečná především ve své schopnosti, aby poskytovala vysoký výkon při značném zvýšení teploty, což představuje lepší vlastnosti, než složeniny betonu s vodivou příměsí (3 položka v tab. 1) v instalovaném výkonu, teplotní kapacitě, a v dynamických parametrech. Na druhé straně je to výrazně menší než u flexibilního grafitu (7 položka v tab. 1) ve všech třech porovnávaných vlastnostech. Srovnání velikosti měrného elektrického odporu různých materiálů v tab. 1 ukazuje, že při nízkém měrném elektrickém

mají konstrukční materiály dobrý topný výkon, ačkoliv i zde se vyskytují výjimky. Výjimečně velký výkon je u flexibilního grafitu přisuzován velmi nízkému měrnému elektrickému odporu. Maximální teplota, kterou je schopen materiál vyvinout, je omezená schopností materiálu odolat takto vysokým teplotám. Flexibilní grafit se vyznačuje právě touto vlastností. Maximální teplota je u flexibilního uhlíku dána vlastností sloučeniny vydržet vysoký proud, který je potřeba k dosažení maximální teploty. Velmi malý měrný elektrický odpor, hodně pomáhá materiálu vydržet velké proudy.

Potřebný čas k dosažení poloviny maximálního zvýšení teploty, se zvyšuje s maximálním zvětšením teploty. Očekávání, že snížení reakční doby, se podaří, za pomoci snížení tepelné plochy (která souvisí s teplotní plochou a s měrným elektrickým teplem), nebo zvýšení tepelné vodivosti.

Dynamické vlastnosti sloučeniny uhlíkového vlákna a epoxidu interlaminárního rozhraní je dáno hlavně jeho malou tepelnou plochou, která je dána mikroskopickou tloušťkou rozhraní.

Dynamické vlastnosti Nikl/Měď/Nikl trojbarevné vrstvy uhlíkového vlákna a u flexibilního uhlíku jsou dány hlavně velkou teplotní vodivostí.

Výkon v tab. 1 je elektrický přiváděný výkon, který je v podstatě roven tepelnému výstupnímu výkonu po počátečním období, ve kterém se materiál sám zahřívá. Výkon spočívá ve schopnosti materiálu vydržet odpovídající elektrický proud a napětí. Tato schopnost se zlepšuje se snížením měrného elektrického odporu. Ačkoliv měrný elektrický odpor není jediným kritériem, které řídí efektivitu materiálu na vytápění, je to dominantní kritérium, zvláště pokud se týče výkonu a maximální teploty. Obecně, výběr samozahřívacího materiálu záleží na požadavcích vztahujících se k maximální teplotě, výkonu, reakční době a mechanickým vlastnostem. Pro betonové struktury sloučenin je doporučená složenina s ocelovým vláknem (1 položka v tab. 1), pro nepřetržitě vláknové polymerové složeniny je doporučen jako mezivrstva uhlíková vláknová rohož (4 položka v tab. 1). Pro prostorově distribuované teplo je vhodné použití složeninu uhlíkového vlákna a epoxidu složené s interlaminárním rozhraním. Flexibilní uhlík nemůže být začleněn ve strukturálních složeninách, kvůli jeho složení, ale dá se dobře využít pro umístění na konstrukční materiál a jeho flexibilita mu dovolí přizpůsobit se podle topografie konstrukčního materiálu

Tab. 1: Účinnost vlastního ohřevu z teploty 19°C a potřebné výkony k dosažení nejvyšší teploty. [1]

materiál	Maximální teplota (°C)	Doba potřebné k dosažení poloviny maximálního zvýšení teploty	Výkon (W)	Velikost měrného odporu (Ωcm)
Ocelové vlákno (0,7%) v betonu	60	6min	5,6	0,85
Uhlíkové vlákno (1,0%) v betonu	56	4min	1,8	100
Grafitové částice (37%) v betonu	24	4min	0,27	410
Uhlíkové vlákna (holá) v rohoži	134	2min	6,5	0,11
Ni/Cu/Ni - pokryté rohoží z uhlíkových vláken	78	14s	3	0,07
Uhlíkové vlákna epoxidové matice interlaminárního rozhraní	89	16s	0,59	
Flexibilní uhlík	980	4s	94	$7,5 \cdot 10^{-4}$

2 Řešená problematika:

2.1 Analýza kompozitních vzorků:

Analyzoval jsem různé druhy vzorku kompozitního materiálu, které byly určeny pro použití rozpouštění ledu a sněhu na chodníku. Vzorky kompozitního materiálu byly ve tvaru válečku, nebo ve tvaru dlaždic. Ve vzorcích kompozitního materiálu jsou vodivé příměsi, které mají za následek snížení velikosti impedance u vzorku, a tedy lepší vodivost daného kompozitního vzorku.

U všech vzorku kompozitního materiálu jsem proměřil závislost impedance vzorku na frekvenci. Tento typ měření byl potřebný k zjištění vlastností u předložených vzorku v závislosti na použití pro aplikaci rozpouštění ledu a sněhu na chodníku. Poté jsem vyřadil všechny vzorky, které neměly parametry vyhovující dané aplikaci. Měly tedy větší impedanci, kvůli které se nedalo efektivně distribuovat elektrický výkon do kompozitního vzorku materiálu.

Vzorky kompozitních materiálu lze využít i pro jiné aplikace. A to pro aplikace, kterými jsou měření hmotnosti (např. projíždění vozidel) a na odstínění elektrického vedení. Při měření hmotnosti nás zajímají, jak vzorky kompozitního materiálu reagují dynamicky na zatížení, tedy jak rychle se projeví změna výstupu měřeného vzorku kompozitního materiálu, když se rychle změní zatížení na něm. Takovéto zatěžování simuluje průjezd nákladního vozidla přes váhu sestavenou s kompozitního materiálu. U použití kompozitního materiálu pro odstínění vodičů je potřeba, aby byly frekvenčně závislé, a tedy dokázaly pohltit rušení, které vychází z elektrických vodičů.

2.1.1 Vzorky tvaru válečku:

Vzorky jsou typu válečku o průměru $\varnothing=36$ mm a dosahují délky $l=58$ mm. Vzorky válečku sloužily hlavně k posuzování vlastností určitého typu směsi materiálu. Vzorek válečku je vyfotografován na obr. 4. Tyto vzorky jsem používal pro analýzu vlastností materiálu. Vzorek nemá v sobě zalité elektrody pro měření parametrů materiálu. Elektrody pro měření, tedy byly vyrobeny z měděného pásku a vypadaly jako objímka, která se připevňovala na daný vzorek. Měděné elektrody se daly na vzorku dotáhnout pro co nejlepší kontakt elektrody se vzorkem. Na vzorku tedy byly připevněny dvě tyto

elektrody a to v přesně dané vzdálenosti. Vzdálenost elektrod od sebe pro měření byla 20 mm.

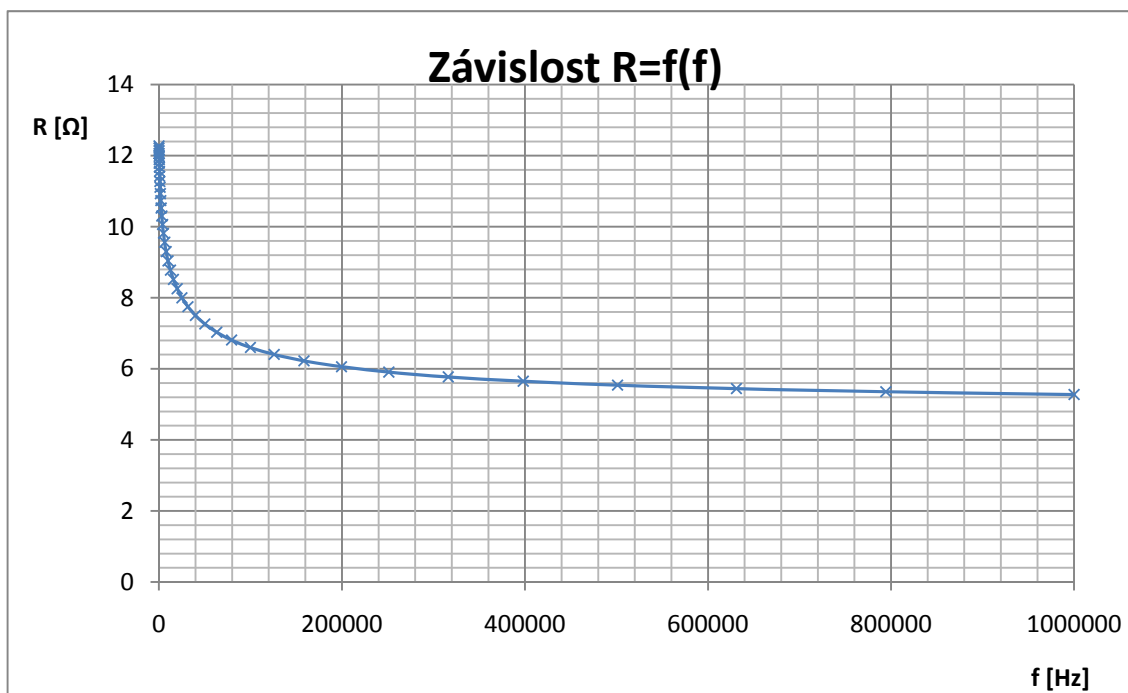


Obr. 4: Fotka vzorku tvaru válečku

V příloze na konci práce jsou v tab. 6 naměřené hodnoty vzorku válečku. Naměřené hodnoty jsou v tabulce pro kmitočty $f=100$ Hz, $f=1$ kHz a $f=1$ MHz. Hodnoty pro $f=100$ Hz ukazují hodnotu impedanci vzorku pro aplikaci vytápění, protože zdroj pro vytápění je střídavý a pracuje na nízké frekvenci. Hodnoty impedance pro $f=1$ kHz a pro $f=1$ MHz jsou pro posouzení vlastností určitého typu materiálu a to jak je určitý typ frekvenčně závislý.

2.1.2 Vyhodnocení naměřených výsledků vzorku válečku:

Z tab. 6, která je na konci práce, je patrné že nejlepší vzorky tvaru válečku jsou vzorky NK59 a NK59y, tyto vzorky mají homogenní vlastnosti, protože byly proměřeny 2 vzorky stejného typu a hodnota impedance se mění velmi nepatrně oproti ostatním vzorkům válečku. Vzorek NK59 má na kmitočtu $f=100$ Hz reálnou část impedance $R=12,2726 \Omega$ a na kmitočtu $f=1$ MHz má $R=5,27748 \Omega$, což naznačuje velkou frekvenční závislost, kterou ovšem můžeme zanedbat, protože již na nízkém kmitočtu má vzorek NK59 nízkou impedanci, která se dá použít pro danou aplikaci. Vzorek NK59y má na kmitočtu $f=100$ Hz reálnou část impedance $R=33,6013 \Omega$, a na kmitočtu $f=1$ MHz je $R=11,6798 \Omega$, což také ukazuje na velmi silnou frekvenční závislost. I tohoto vzorku není velikost impedance na kmitočtu $f=100$ Hz špatná.



Graf 1: Závislost reálné části impedance na frekvenci pro vzorek NK59



Graf 2: Porovnání naměřených hodnot pro 2 vzorky

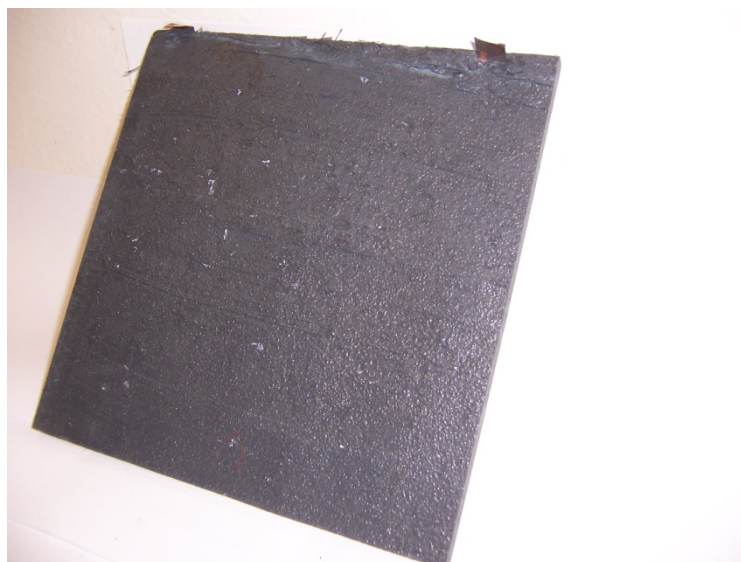
Závislost relativní části impedance na frekvenci pro vzorek NK59 je znázorněna v graf 1. V graf 2 je znázorněná závislost relativní části impedance na frekvenci pro vzorky NK59 a NK59y a jejich porovnání mezi sebou.

Vzorek NK59 má ve svém složení přimíchané vodivostní příměsi, a to 2 % uhlíkového vlákna KRECA a 6 % uhlíkového prášku Chezacarb. Toto složení vykazuje velmi dobré vlastnosti, co se týče impedance. Toto složení je tedy velmi vhodné pro další zkoumání a zdokonalování, popřípadě pro výrobu vzorku typu dlaždic pro možné experimenty.

Ostatní analyzované vzorky válečku mají naměřené výsledky reálné části impedance oproti vybraným vzorkům veliké a nejsou tedy vhodné pro další zkoumání a zdokonalování pro oblast vytápění. Jejich možné uplatnění je v jiných projektech zaměřených na kompozitní materiály, které využívají kompozitní materiály ke snímání hmotnosti, nebo na odstranění elektromagnetického stínění.

2.1.3 Vzorky tvaru dlaždic:

Jedná se o vzorky, které jsou určeny pro experimenty vytápění. Vzorky jsou velikosti 250 mm x 250 mm a o tloušťce 10 mm. Na obr. 5 je fotografie vzorku kompozitního materiálu tvaru dlaždice. Uvnitř vzorku jsou zalité 2 elektrody. Elektrody jsou měděné pásky o šířce 13 mm a jsou ve vzorku dlaždice zalité po okrajích. Elektrody jsou u vzorku využívány, jak pro měření parametrů daného vzorku, tak i pro distribuování elektrické energie do vzorku potřebné k vytápění materiálu. Tento typ vzorku je vhodný pro zalití do betonové desky a to podle velikosti a požadované pevnosti s ocelovou výztuží, nebo bez ocelové výztuže.

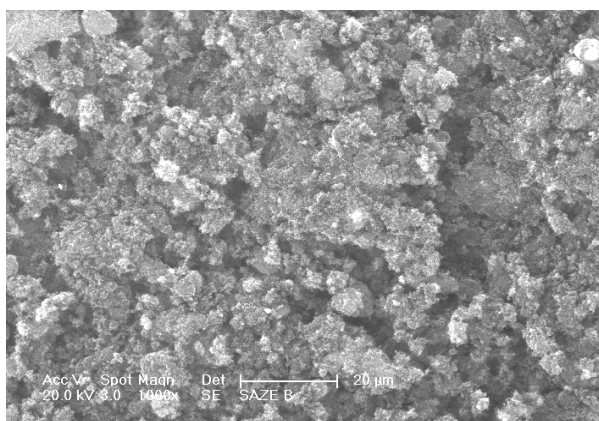


Obr. 5: Fotka vzorku tvaru dlaždice

Vzorky lze vyrobit ve větší velikosti, které jsou už vhodné pro komerční použití. V tab. 2 jsou vypsány některé typy vzorku dlaždic a jejich přibližné složení, jelikož přesné složení si chrání výrobce těchto kompozitních dlaždic. Výrobce těchto kompozitních dlaždic je Výzkumný ústav stavebních hmot a.s. Na obr. 6 je zobrazen snímek s mikroskopu uhlíkových sazí typ B.

Tab. 2: Typy vzorku a jejich složení

Typ vzorku	Použitá příměs	Podíl příměsi ve vzorku
NKG(54b)	CR2+Saze B	6hm% 95:5
NKG(55b)	CR2+Saze B	6hm% 90:10
NKG(56b)	CR2+Saze B	6hm% 85:15
NKG(57b)	CR2+Saze B	6hm% 100%
NKG(58b)	CR2+Saze B	6hm% 90:10



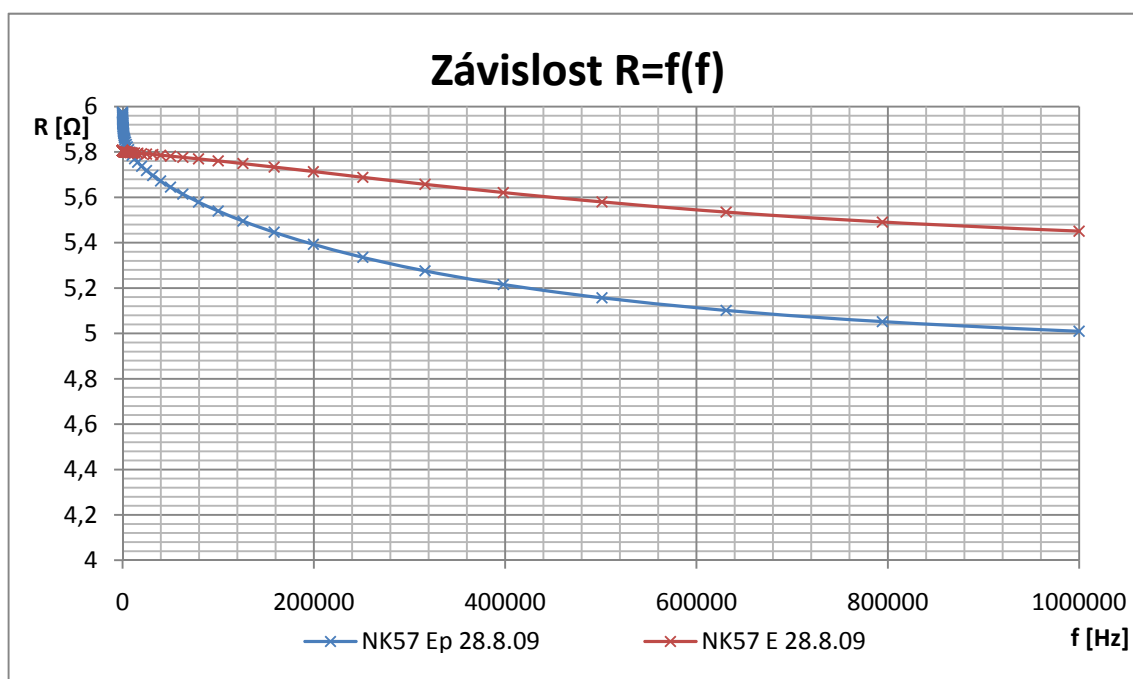
Obr. 6: Snímek mikroskopem uhlíkových sazí typu B

2.1.4 Vyhodnocení naměřených výsledku vzorku dlaždic:

U všech vzorků kompozitních dlaždic jsem změřil závislost impedance na frekvenci. Všechny neměřené hodnoty pro vzorky dlaždic jsou přehledně uspořádány v tab. 7, která se nachází v příloze na konci práce. Z naměřených vzorku byly vybrány nejlepší vzorky dlaždic pro aplikaci vytápění. Vybrané vzorky dlaždic jsou používané na experimenty vytápění. Nejlepší vzorky dlaždic jsou vzorky NK57E a NK57Ep. Tyto typy vzorku dlaždic, dosahují nejnižší impedance. Reálná část impedance pro frekvenci $f=100$ Hz je pro NK57E rovna $R=5,9515 \Omega$ a pro vzorek NK57Ep rovna $R=5,80635 \Omega$. Tyto dva vzorky jsou porovnány a znázorněny na graf 3. Jak je patrné z grafu jejich frekvenční závislost je velmi malá a materiál vykazuje velmi dobré hodnoty impedance

pro použití v aplikaci rozpouštění ledu a sněhu na chodníku. Tento materiál je tedy využíván k vytápění na experimentální úrovni.

Vesměř všechny ostatní vzorky, nedosahují takových to dobrých parametru reálné části impedance, jako vzorky NK57E a NK57Ep. Jejich reálná část impedance je velmi vysoká a tedy nepoužitelná pro aplikaci řízeného vytápění. Tyto vzorky je však možné otestovat, jestli nebudou vyhovovat jiným aplikacím, jako jsou aplikace pro měření hmotnosti vozidel.



Graf 3: Porovnání vzorku NK57E a NK57Ep

2.1.5 Experiment 1: stárnutí vzorku

V tomto experimentu jsem zjišťoval, jak se mění vlastnosti, tedy velikost impedance vzorku se stářím materiálu. V experimentu bylo zapotřebí zjistit, jestli vzorky, které jsou vyrobeny, nezmění své parametry stářím. Velká změna parametru vzorku by měla za následek změnu vodivosti vzorku, která by v nejhorším případě mohla poklesnout na takovou hodnotu, která by již nebyla vhodná k použití vzorků pro aplikaci řízeného vytápění. Předpoklad, že by se stářím hodnota impedance měla měnit jen velmi málo, takže by měla ovlivňovat distribuci výkonu do vzorku jen velmi minimálně.

Vzorky, které jsem analyzoval ohledně problému se stárnutím, byly vzorky, které jsou uvedené v tab. 3. Vzorky jsem proměřil nejprve po dovezení k analýze a poté byly vzorky

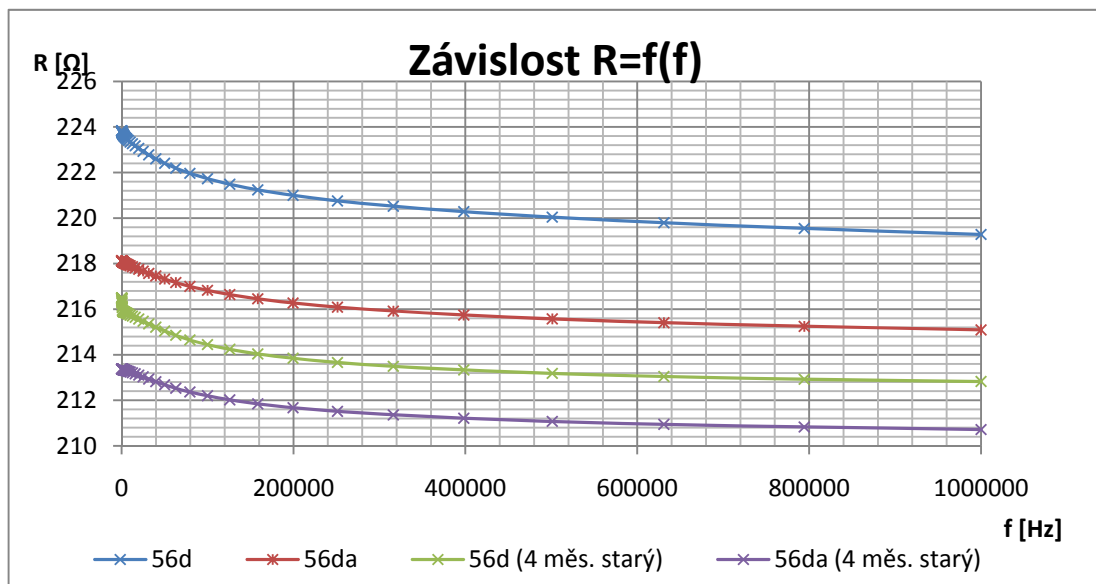
na 4 měsíce uskladněny tak, aby se na nich neprováděly žádné pokusy a experimenty. Po uplynutí 4 měsíců jsem vzorky znovu proměřil a zaznamenal jejich parametry. Naměřené hodnoty jak pro první měření, tak pro měření po 4 měsících jsou uspořádané v tab. 3. Vzorky 56d a 56da mají graficky znázorněné jak první měření, tak měření po 4 měsících v graf 4.

Tab. 3: Naměřené hodnoty stárnutých a nestárnutých vzorků

Vzorek	f = 100 Hz		f = 1 kHz		f = 1 MHz	
	R	X	R	X	R	X
	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]
54d	1699,0687	-21,915	1659,716	-34,2674	1333,701	-213,426
54da	1686,246	-17,804	1654,162	-28,0781	1353,94	-238,987
55d	616,67859	-0,711	615,2727	-1,69766	587,4023	-30,7774
55da	678,62172	-0,6119	677,4023	-1,50585	649,4631	-32,9222
56d	223,83899	-0,0514	223,7179	-0,19487	219,2803	-1,71525
56da	218,131	-0,017	218,091	-0,10274	215,0904	-1,4026
56d 2.10.2008 A	270,06579	-0,3361	265,1982	-0,96591	105,1722	-111,904
56d 2.10.2008 B	295,767	-56,547	343,4238	246,2138	250,4778	-5,01278
56d 2.10.2008 C	357,31062	-30,181	350,5566	6,400522	340,069	-8,49046
56d 2.10.2008 D	260,34297	-0,1143	260,0798	-0,32341	254,8005	-11,1411
Stárnute vzorky						
54d (stary 4 měs)	1579,5698	-0,7814	1578,118	-2,22311	1452,039	-155,485
54da (stary 4 měs)	1612,6188	-1,9883	1608,795	-4,12778	1460,731	-164,636
55d (stary 4 měs)	576,366	-0,0646	576,2269	-0,28423	568,1037	-15,2726
55da (stary 4 měs)	640,931	-0,0604	640,8059	-0,30722	630,292	-18,1416
56d (stary 4 měs)	216,50239	-4,0892	215,954	-0,13338	212,8255	-0,47064
56da (stary 4 měs)	213,374	-0,0012	213,363	-0,06882	210,7168	0,309009
56d 2.10.2008 A (stary 4 měs)	239,85083	-0,2826	235,2205	-0,83742	81,17577	-93,3179
56d 2.10.2008 B (stary 4 měs)	263,0476	2,84651	259,5427	-1,08762	253,6554	-1,52274
56d 2.10.2008 C (stary 4 měs)	326,19445	1,52085	321,161	-0,06906	317,5055	-3,94471
56d 2.10.2008 D (stary 4 měs)	244,401	0,01012	244,41	-0,07544	241,9951	-1,36824

Jak je patrné z tab. 3 a z graf 4, jsou hodnoty změřené impedance pro vzorky 4 měsíců staré mírně nižší než pro vzorky, které byly změřeny jako nestárnuté. Změna změřené impedance u vzorku je, ale velmi malá. Protože se velikost změřené impedance změnila minimálně a hlavně klesla, tzn., že vodivost vzorku mírně vzrostla, to znamená, že pro aplikaci řízeného vytápění je tato minimální změna zanedbatelná a akceptovatelná.

Předpoklad, že se parametry u vzorku, které zestárnou, změní jen velmi minimálně, se potvrdila a podle naměřených hodnot se u všech vzorku navíc velikost impedance zmenšila.



Graf 4: Porovnání stárnutého a nestárnutého vzorku 56d a 56da

2.1.6 Experiment 2: zalití vzorku do betonu

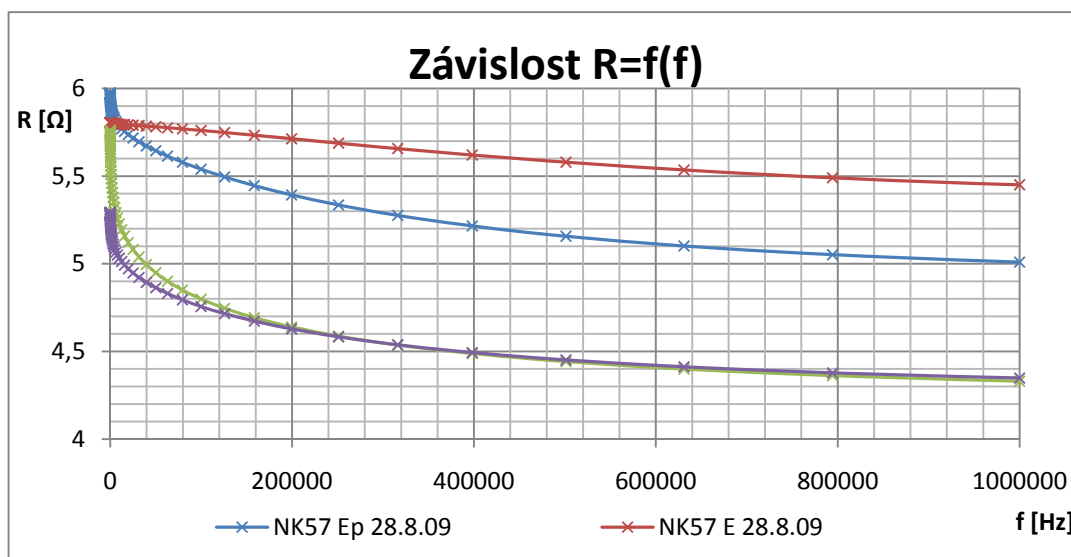
U tohoto typu experimentu jsem zjišťoval, jak se změní parametry změřené impedance po zalití vzorku do betonů, který obklopuje kompozitní materiál. Zjišťoval jsem, jestli zalití vzorku do betonové výztuže ovlivňuje rozložení teploty po objemu testovaných vzorků. Předpoklad byl, že zalití do betonové výztuže by neměla ovlivňovat hodnoty změřené impedance vzorku a pro rozložení teploty po objemu materiálu by zalití do betonu, mohlo toto rozložení vylepšit. V tab. 4 jsou zobrazeny výsledky naměřené pro vzorky kompozitních materiálu desek, které jsou jak zalité do betonu, tak i hole desky kompozitního materiálu, aby se daly lépe porovnat naměřené parametry.

Tab. 4: Porovnání nezalitých a zalitých vzorků dlaždic

Vzorek	f = 100 Hz		f = 1 kHz		f = 1 MHz	
	R	X	R	X	R	X
	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]
NK57 Ep	5,9515	-0,03168	5,88799	-0,05611	5,00959	1,68821
NK57E	5,80635	-0,00017	5,80198	-0,00132	5,45091	2,39344
NK57 Ep zalitá	5,69945	-0,09013	5,50899	-0,16153	4,32987	2,43347
NK57E zalitá	5,27153	-0,03805	5,17695	-0,07955	4,3482	2,41881
NK13	95,78923	-0,68749	94,23473	-1,92546	69,86531	-5,77397
NK13 zalita	79,72268	-0,70509	78,18341	-1,73703	57,98315	-4,71942

Jak je patrné z tab. 4 hodnoty impedance se mírně změnilly. Hodnoty naměřené impedance na vzorcích kompozitního materiálu se mírně zmenšily po zalití vzorku desek kompozitu do betonové výztuže. Tuto mírnou změnu impedance připisují vlivu vlhkosti, která se ve složení betonu vyskytuje a přetrvává. Na graf 5 je znázorněn průběh naměřených hodnot pro nezalité a zalité vzorky NK57E a NK57Ep do betonu.

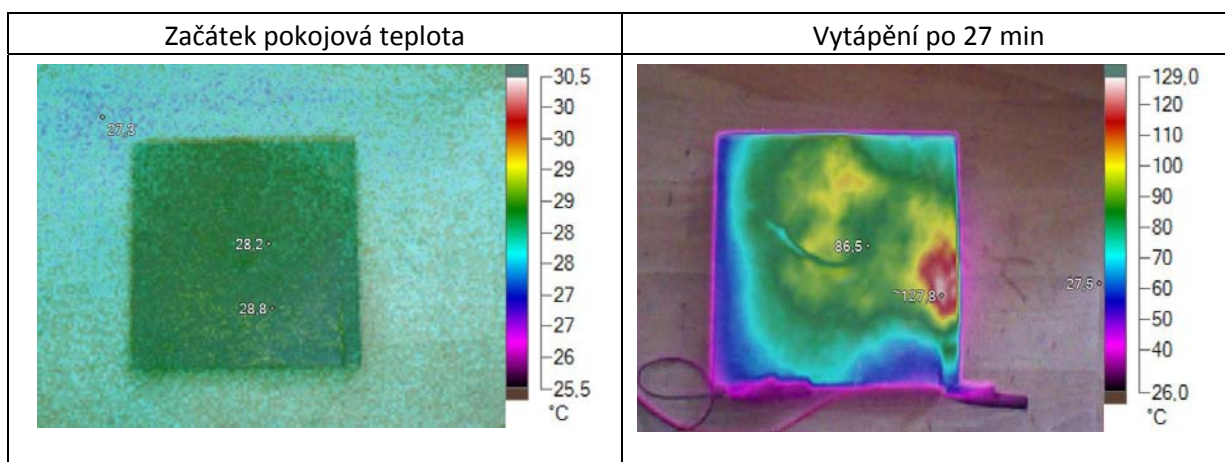
Z graf 5 je tedy dobře vidět jak se změnila velikost impedance vzorku kompozitního materiálu po zalití do betonové výztuže. Impedance tedy ve všech případech zalití do betonové výztuže klesla. Takovýto pokles impedance je u aplikace řízeného vytápění kompozitního materiálu zanedbatelný, poněvadž mírné snížení impedance umožní mírně zvýšit výkon dodávaný do vzorku kompozitního materiálu potřebný pro vytápění.



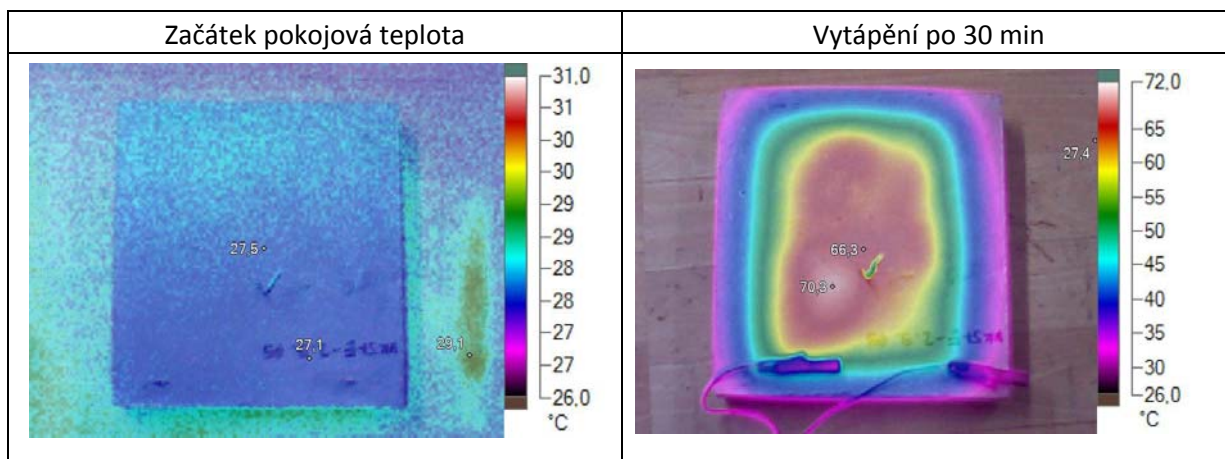
Graf 5: Porovnání vzorku nezalitých a zalitých do betonové výztuže

K měření rozložení teploty v objemu vzorku a porovnání vzorku mezi zalitými vzorky do betonu a nezalitými vzorky kompozitu, jsem používal termokameru. Termokamera byla od výrobce FLUKE a typ kamery byl Ti-25. Termokamera obsahuje autokalibraci teploty a jejím výstupem jsou snímky jak ve viditelném spektru světla, tedy normální fotografie, tak termosnímky. Termokamera měří bodovou teplotu. Tedy změřené teploty jsou pro každý bod fotografie samostatně. Přesnost termokamery je $\pm 0,1$ °C.

Pomocí termokamery jsem tedy pořídil snímky, vzorku při jejich zahřívání. Do vzorku kompozitních materiálu, jak zalitých tak, nezalitých jsem distribuoval elektrický výkon, pomocí transformátoru s výstupním napětím $U=27$ V.



Obr. 7: Vzorek NK57 E připojený na zdroj napájení a jeho rozložení teploty

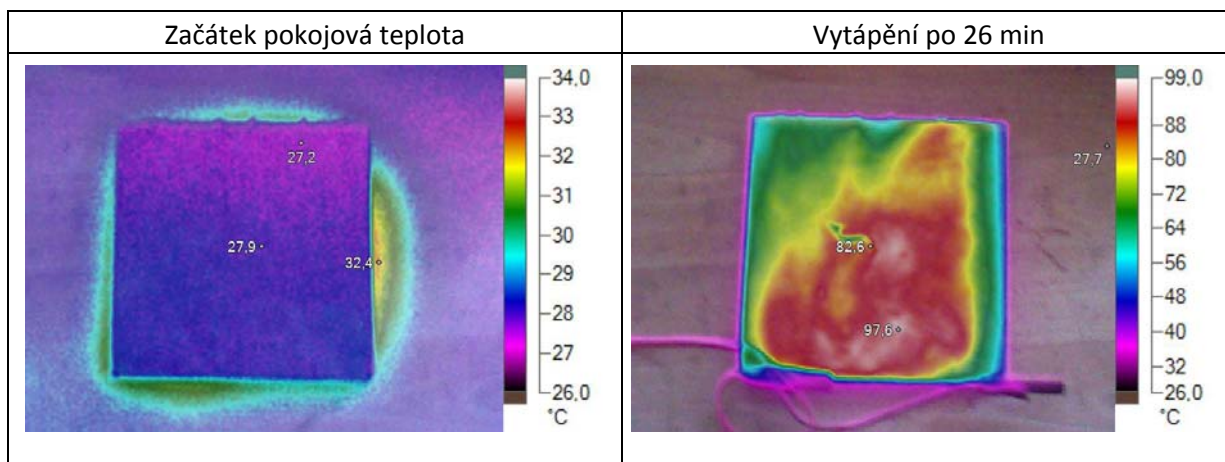


Obr. 8: Vzorek NK57 E zalitý připojený na zdroj napájení a jeho rozložení teploty

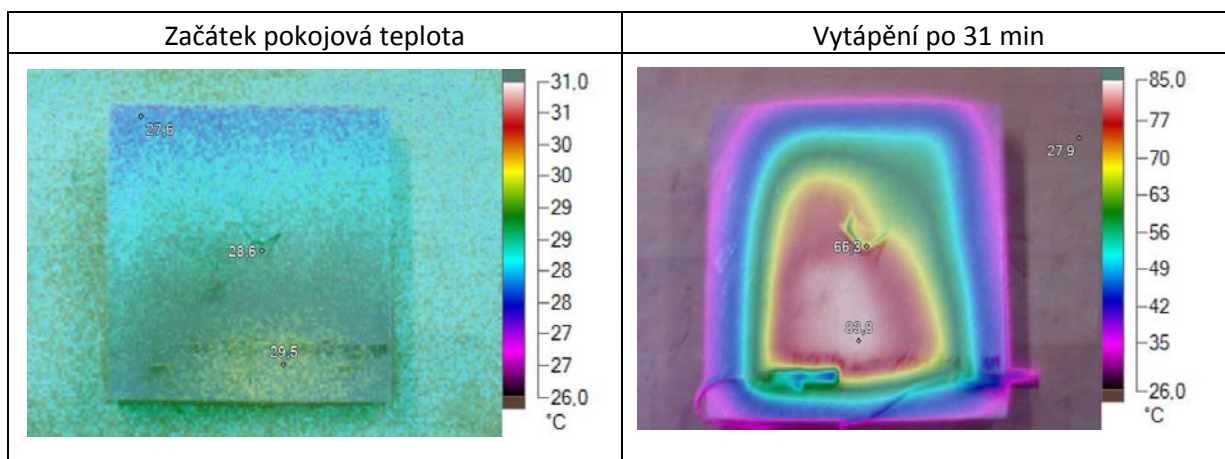
Na obrázcích 6, 7, 8, 9 jsou zobrazeny snímky s termokamery Fluke. Snímky jsou zaznamenány jak při pokojové teplotě, před začátkem vytápění, tak po zhruba 30 minutách od začátku vytápění daného vzorku. Na obr. 7 jsou zobrazeny termosnímky pro vzorek NK57 E, který není zalitý v betonové výztuži a na obr. 8 jsou zobrazeny termosnímky

pro vzorek NK57 E, který je zalitý v betonové výztuži. Z termosnímku je patrné, že NK57 E nezalitý do betonové výztuže má rozložení teploty znatelně horší a velmi nehomogenní, než to vzorek NK57 E zalitý do betonové výztuže. U vzorku NK57 E zalitého do betonové výztuže, je z obr. 8 vidět, že rozložení teploty není plně po celé ploše vzorku ale jen okolo středu vzorku a k okrajovým částem se teplota, které dosahuje vzorek, zmenšuje. Okrajová teplota je u tohoto vzorku malá, což způsobuje zalití vzorku do betonové výztuže, jelikož betonová výztuž obklopuje vzorek i po stranách a tak jsou okraje málo prohříváné vzorkem kompozitního materiálu. Celkově, ale vzorek zalitý do betonové výztuže vykazuje lepší parametry než vzorek NK57 E nezalitý.

Na obr. 9 jsou termosnímky pro vzorek NK57 Ep nezalitého do betonové výztuže a na obr. 10 jsou termosnímky pro vzorek NK57 Ep zalitého do betonové výztuže. Písmenko p za vzorkem znamená oproti vzorku NK57 E to, že při výrobě vzorku byl do jeho složení zamíchaný plastifikátor. U vzorku NK57 Ep nezalitého do betonové výztuže je na obr. 9 vidět mnohem lepší rozložení teploty než u vzorku NK57 E nezalitého do betonové výztuže. Teplota je zde rozložena mnohem homogenněji. Ovšem i v tomto případě není rozložení teploty ideální. Po zalití vzorku NK57 Ep do betonové výztuže se parametry homogennosti teploty nezlepšily, jak ukazuje obr. 10. Tedy u vzorku NK57 Ep nedošlo po zalití vzorku do betonové výztuže ke zlepšení.



Obr. 9: Vzorek NK57 Ep připojený na zdroj napájení a jeho rozložení teploty



Obr. 10: Vzorek NK57 Ep zalitý připojený na zdroj napájení a jeho rozložení teploty

Zalitím vzorku kompozitního materiálu do betonové výztuže se mírně vylepšily parametry impedance vzorku. Toto mírné vylepšení vzorku může mít na svědomí vlhkost uvnitř betonové výztuže, která mírně ovlivňuje vodivost vzorku. U zkoumání rozložení teploty v objemu vzorku jsem zjistil, že u vzorku NK57 E došlo, díky zalití do betonové výztuže k výraznému zlepšení rozložení teploty ve vzorku, a že u vzorku NK57 Ep se zalitím do betonové výztuže nezměnilo rozložení teploty v objemu vzorku.

Předpoklady, že zalití vzorku do betonové výztuže nezmění parametry impedance, byly mylné. Impedance se u vzorku změnila. Změna impedance, ale byla velmi malá a hlavně se impedance snížila a to pro aplikaci řízeného vytápění nevadí. Druhý předpoklad, že zalitím vzorku kompozitního materiálu, se vylepší rozložení teploty v objemu materiálu, se potvrdilo jenom z půlky. Vylepšení rozložení teploty zalitím vzorků do betonové výztuže se potvrdilo jenom u vzorku NK57 E, zatímco u vzorku NK57 Ep se rozložení teploty nezměnilo.

2.1.7 Experiment 3: teplotní rozložení

V tomto experimentu jde o zkoumání rozložení teploty po objemu vzorku. Při použití vzorku na vytápění, chceme docílit, aby teplota byla v objemu vzorku konstantní. Konstantního rozložení teploty v objemu ale nedocílíme v reálných podmínkách a tak se tomuto stavu snažíme přiblížit. Pomocí vytvořených kruhových děr do vzorku v různém uspořádání a různého průměru.

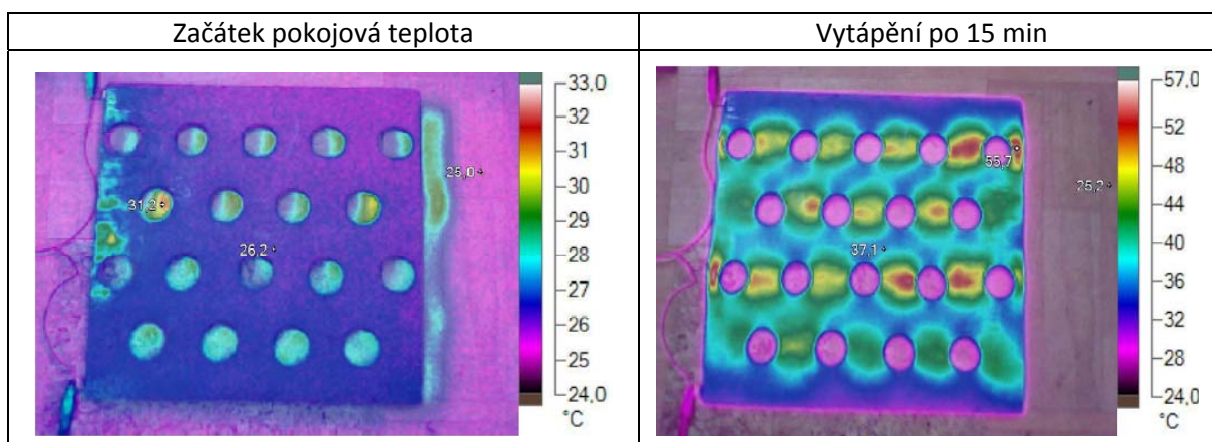
Předpokladem je, že u určitého způsobu rozmístění vytvořených děr do vzorku se rozložení teploty vylepší na přijatelnou mez, která se bude blížit ideálnímu stavu.

Tab. 5: Naměřené hodnoty impedance pro vzorky děrovaných dlaždic velkých NK57

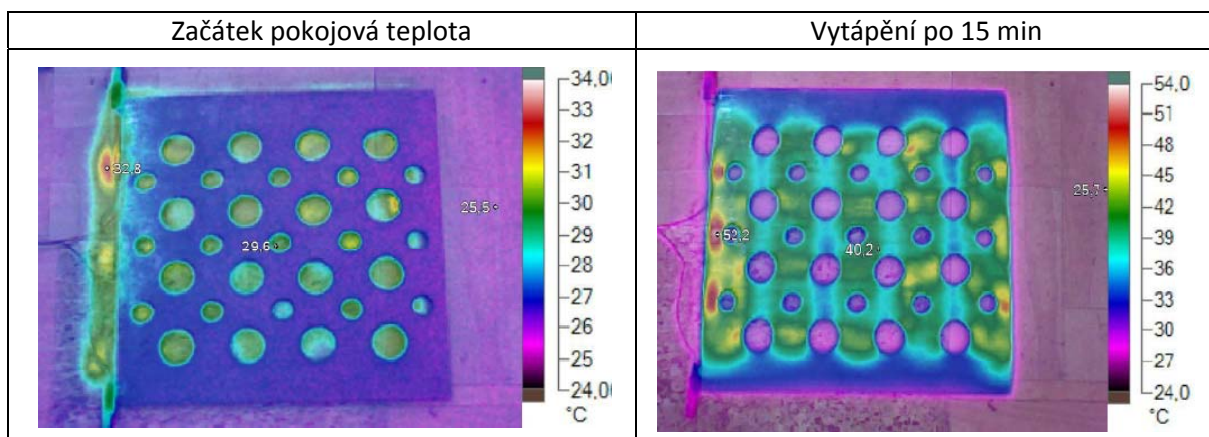
Vzorek	Vyrobeno	f = 100 Hz		f = 1 kHz		f = 1 MHz	
		R	X	R	X	R	X
		[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]
NK57_1 E velka	28.8.2009	7,76703	-0,00035	7,76509	0,001413	7,75092	4,37326
NK57_2 E velka	28.8.2009	8,36334	-0,00142	8,35949	-0,00138	8,2539	3,81415
NK57_3 E velka	28.8.2009	9,03706	-0,00125	9,03382	-0,00102	8,89055	4,0259
NK57_4 E velka	28.8.2009	6,97871	-5,6E-06	6,97745	0,001693	6,92841	4,27971
NK57_5 E velka	28.8.2009	9,95534	-0,00055	9,95304	-0,00028	9,79589	3,81823

Předmětem testování byly vzorky dlaždic o rozměru 500 mm x 500 mm a tloušťce 10 mm. Vzorku dlaždic pro tento experiment bylo celkem 5. U každého vzorku byly různě rozmístěny kruhové díry ve vzorku. Vzorky a jejich změřené impedance jsou přehledně vypsány v tab. 5. Velikost jejich naměřené impedance je dostatečně nízká, aby se daly vzorky dobře vytápět, čili distribuovat do nich dostatečně velký výkon.

Termosnímky byly pořízeny termokamerou Fluke Ti-25. Termosnímky jsem pořizoval nejprve při pokojové teplotě, a poté zhruba po 15 minutách zahřívání vzorku, co byly vzorky napájeny elektřinou. Napětí z transformátoru pro napájení vzorku bylo $U=27$ V.



Obr. 11: Termosnímky vzorku NK57_1 E

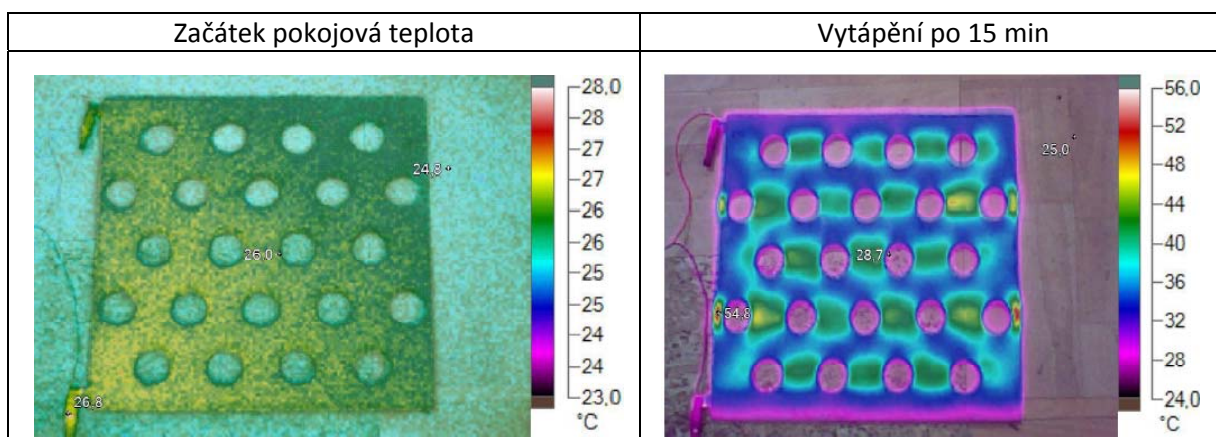


Obr. 12: Termosnímky vzorku NK57_2 E

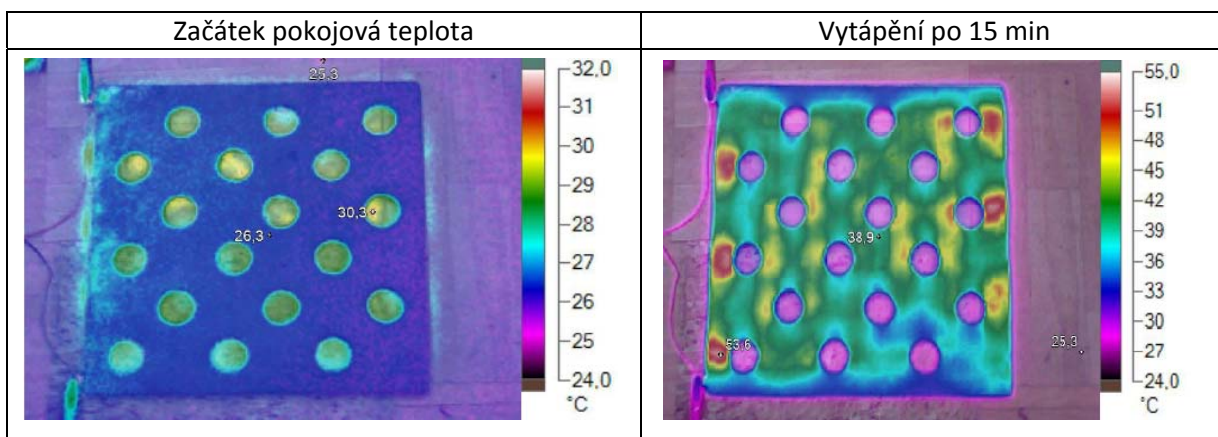
Na obrázcích 10, 11, 12, 13, 14 jsou zobrazeny vytvořené termosnímky s termokamerou pro vzorky dlaždic, na kterých jsem prováděl experimenty. U experimentu šlo především najít vhodné rozložení vzor po vzorku tak, aby rozložení teploty po objemu vzorku kompozitu bylo co nejhomogennější. V nejlepším případě, aby se přiblížil ideálnímu stavu.

Na obr. 13 je vidět termosnímek vzorku NK57_3 E s rozložením teploty, které není homogenní a tvoří na vzorku tzv. hada teplého místa. Tento typ rozložení děr tedy nemá správný vliv na rozložení teploty v objemu vzorku.

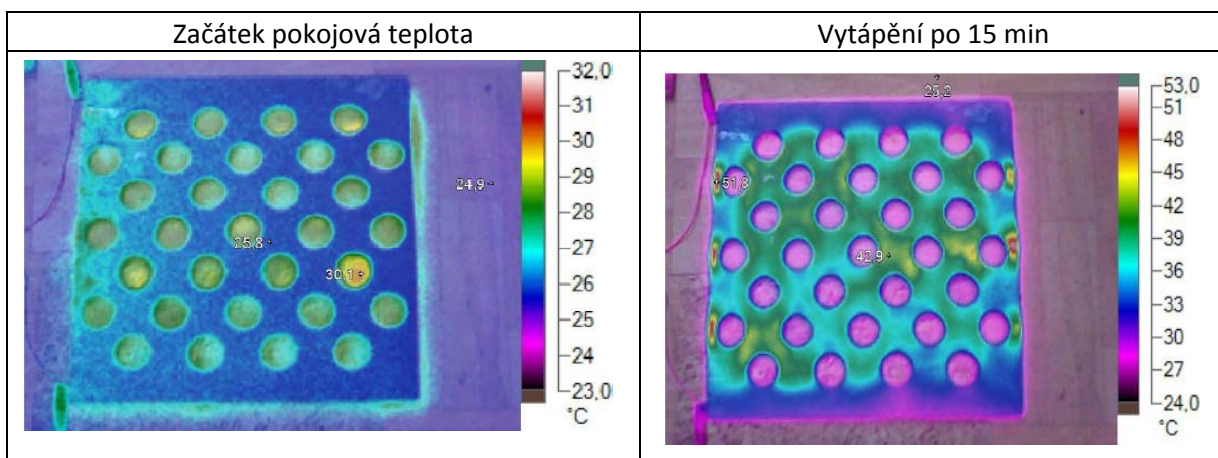
U vzorku NK57_2 E a vzorku NK57_4 E, které jsou na obrázcích obr. 12 a obr. 14, je situace s rozložením teploty v objemu vzorku lepší než v předchozím případě, ovšem zde vykazují horké místa, které mají mnohem vyšší teplotu než okolní vzorky. Rozložení teploty v objemu vzorku tedy není plně homogenní. Tyto typy rozložení děr na vzorku tedy nemají požadované vlastnosti.



Obr. 13: Termosnímky vzorku NK57_3 E



Obr. 14: Termosnímky vzorku NK57_4 E



Obr. 15: Termosnímky vzorku NK57_5 E

Vzorky NK57_1 E a NK57_5 E, jejichž termosnímky jsou na obr. 11 a obr. 15 vykazují nejlepší vlastnosti ohledně homogenosti rozložení teploty v objemu vzorku. Rozložení teploty v objemu materiálu, ale ani v tomto případě není plně ideální, ale přibližuje se mu. Teplota na povrchu se příliš nemění a vzorky NK57_1 E a NK57_5 E mají tedy nejlepší rozložení teploty. Rozložení děr je tedy nejlepší.

Předpoklad, že určité rozložení děr, které byly vytvořené do vzorku kompozitního materiálu, přinese zlepšení, v rozložení teploty v objemu materiálu se potvrdil. U vzorku NK57_1 E a vzorku NK57_5 E je rozložení teploty po objemu materiálu přijatelné a blíží se ideálnímu stavu. Tento typ rozložení děr, který je u vzorku kompozitního materiálu NK57_1 E a NK57_5 E je tedy nejvhodnější.

2.1.8 Měření vzorku:

Změřeny byly všechny vzorky a to jak vzorky válečku, tak vzorky desek, které byly vyrobeny na Výzkumném ústavu stavebních hmot v Brně. Měřil jsem na vzorcích kompozitních materiálu reálnou část impedance a imaginární část impedance v závislosti na frekvenci. Tyto složky impedance jsem proměřil pomocí měřicího přístroje Agilent RLC- metr E4980A, který je zobrazen na obr. 16. Měřicí přístroj byl propojen s PC za pomoci USB/GPIB modulu 82357A. Modul se připojí přes USB počítače a dokáže ovládat až 14 zařízení spojených prostřednictvím GPIB sběrnice. Jeho maximální přenosová rychlost je až 750 KB/sec.

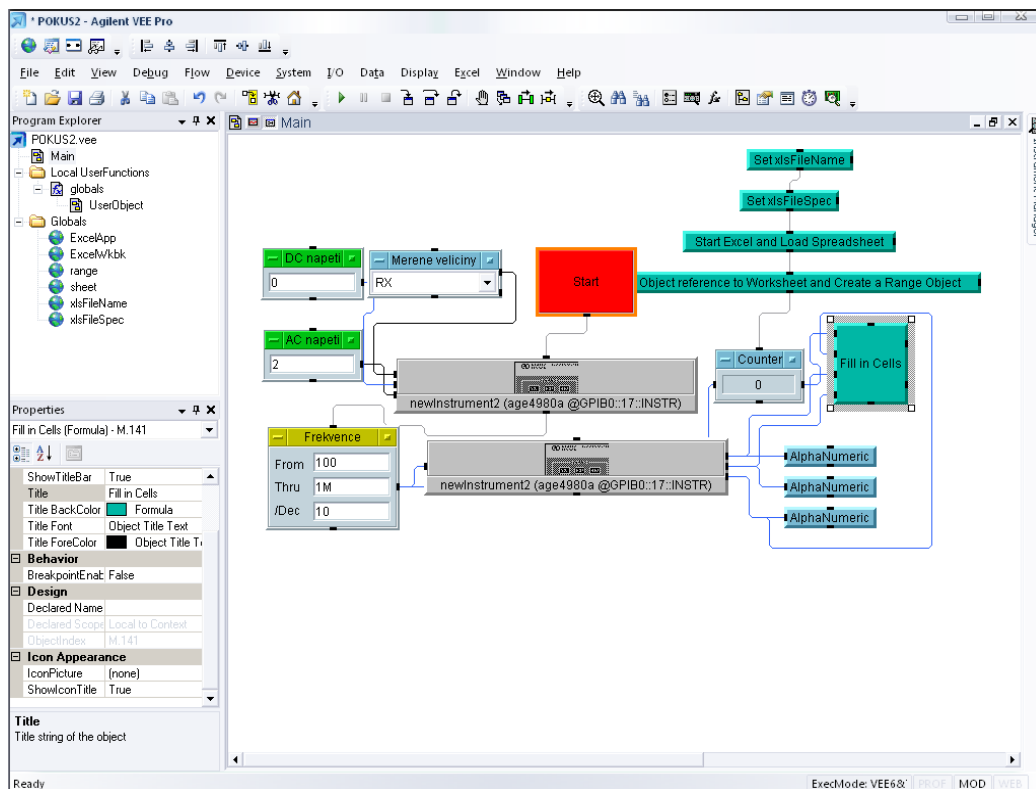


Obr. 16: Měřicí přístroj Agilent RLC- metr E4980A

Požadavkem na měření bylo, aby měření bylo automatizované a měřicí přístroj Agilent byl ovládán prostřednictvím počítače. Hodnoty samotného měření se měly ukládat do tabulky v programu Microsoft Office Excel. Soubor pro ukládání měl být šablona, která naměřené hodnoty zpracovala do tabulky a vytvořila z naměřených hodnot grafické závislosti naměřených průběhu tak, aby bylo možno okamžitě naměřené výsledky vyhodnotit a poté použít k dalšímu zpracování.

2.1.9 Program pro měření impedance vzorku:

Pro tvorbu automatizovaného měření a ovládání měřicího přístroje z počítače je vytvořen měřicí program. Měřicí program je vytvořen pomocí softwaru od firmy Agilent. Použit byl software Agilent VEE Pro 8.5. Jedná se grafické prostředí pro objektovou tvorbu měřících softwaru pro měřicí přístroje Agilent. Součástí programu je i komunikační rozhraní pro komunikaci počítače s měřicím přístrojem pomocí modulu USB/GPIB 82357A. Program pro komunikaci je Agilent IO Libraries Suite 15.0.



Obr. 17: Program na měření vzorku kompozitního materiálu vytvořený pomocí Agilent VEE Pro 8.5 [6]

Program je sestaven z jednotlivých bloků, tak aby byl uživatelský příjemný a jednoduchý na obsluhu. Na obr. 17 je zobrazen měřicí program pro automatizované měření vzorků kompozitního materiálu pomocí programu Agilent VEE Pro 8.5. V programu se v bloku frekvence nastavuje frekvence měření. Uživatel si jednoduše nastaví počáteční hodnotu frekvence, při které se má měření spustit a koncovou hodnotu frekvence pro ukončení měření. Pote si, v tomto poli ještě navolí, kolik chce změřit bodu na dekádu. Jelikož nastavení frekvence je v logaritmickém měřítku. Dále je možné v programu nastavit v poli DC napětí, stejnosměrné posunutí signálu. Hodnota DC napětí je implicitně nastavena na 0, aby nedocházelo ke stejnosměrnému posunu. Další možnosti nastavení je zvolení velikosti AC napětí. AC napětí představuje střídavou složku napětí. Střídavá složka napětí určuje velikost napětí, které se používá pro samotné měření. Další možností nastavení je pole měřené veličiny. V tomto poli vyroluje roletka funkcí, ve které jsou různé možnosti samotného měření. Je zde na výběr například měření kapacity, indukce, impedance a ztrátového činitele, dále reálnou část impedance a imaginární část impedance, a další možné funkce. Poslední zmíněnou položku, tedy měření reálné R a imaginární části X impedance, jsem při měření vzorků používal.

Spuštění měření pomocí programů se provádí tlačítkem start. Tlačítko start spustí vlastní měření. V prvním kroku se nastaví měřicí přístroj podle nastavených hodnot, poté program spustí výstupní soubor dat, který je formátu Microsoft Excel 2003, a který se nachází na definovaném místě na disku počítače. Do tohoto souboru začne měřicí přístroj ukládat naměřené data, a předpřipravený soubor dat, data zpracuje i do grafické závislosti.

Program je umístěn na příloženém CD disku, který je na koci práce.

2.1.10 Vlastní měření:

Změřeny byly tedy všechny vzorky. Měření probíhalo pomocí měřicího programu popsáno výše a měřicího přístroje Agilent RLC- metr E4980A, který byl připojen k počítači. U všech vzorku jsem proměřil vliv frekvence na složky komplexní impedance. Všechny vzorky jsem změřil pro frekvenční rozsah 100 Hz až 1 MHz. V tomto frekvenčním rozsahu jsem zjišťoval parametry vzorku, a to jak vzorků typu válečku, na které se měřicí elektrody přidělávaly, tak vzorky typu desek, které obsahovaly zalité měřicí elektrody. V tomto období měření bylo mým cílem najít vhodné vzorky a složení materiálu pro další zpracování. Bylo potřeba, aby u vzorku byla co nejnižší impedance, protože se počítá s využitím malého bezpečného napětí pro vytápění vzorku. U vzorku jako je např. NK57 E je velikost relativní části impedance $R=5,8 \Omega$ při frekvenci 100 Hz. Čili velikost reálné části impedance je nízká a nemožno tedy využít dostatečně malé bezpečné napětí. Pro vzorky, které dosahovaly dobrých hodnot reálné části impedance, jsem měření zopakoval a proměřil jsem dané vzorky ve frekvenčním rozsahu 20 Hz až 1 MHz. Proměření na nízkých kmitočtech bylo nutné provést, jelikož napájecí zdroj pracuje na frekvenci rozvodné sítě, čili na 50 Hz. Ovšem velikost reálné části impedance byla pro vzorek NK57 E rovna $R=5,8 \Omega$ při 20 Hz. Jak je vidět tak se reálná část impedance nezměnila.

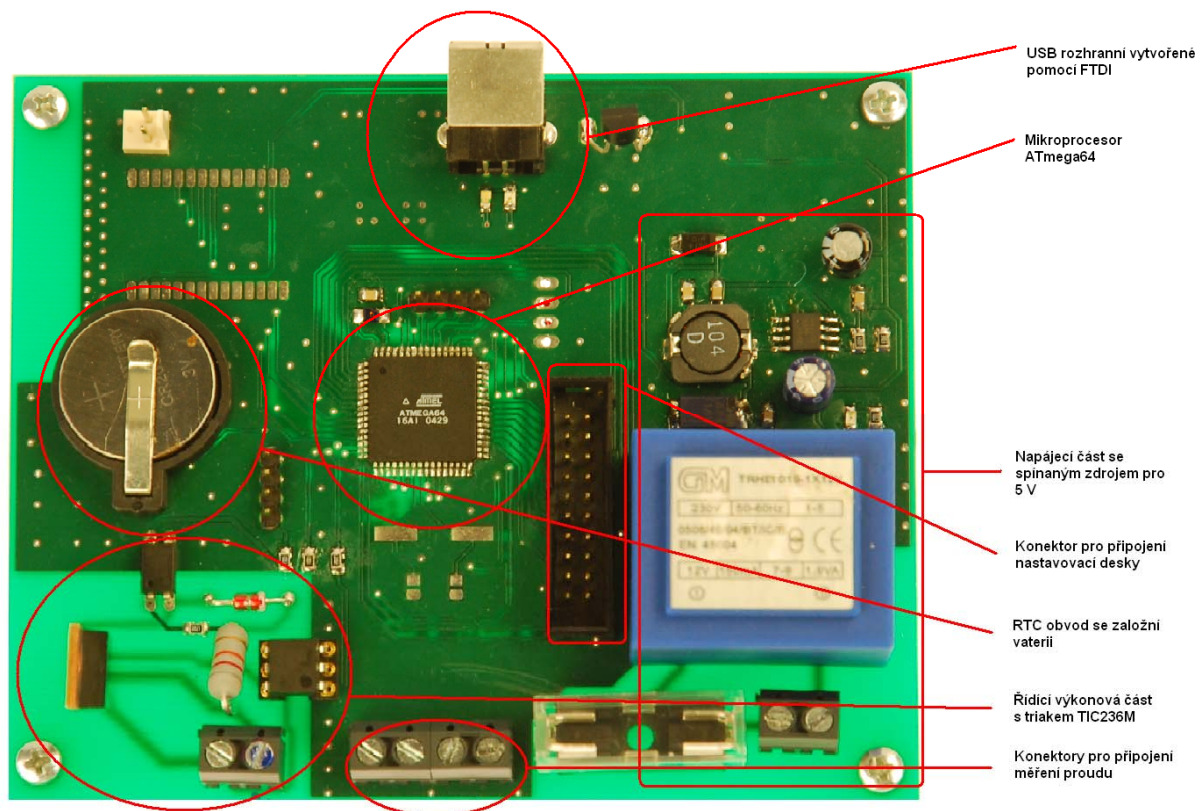
V příloze jsou v tab. 6 naměřené a srovnané všechny vzorky válečku, které jsou změřené a v tab. 7 jsou porovnány všechny typu vzorku desek, které jsou změřené. Poněvadž je naměřených spousta hodnot, jsou v tabulce pro porovnání vybrána pouze hodnoty na frekvencích 100 Hz, 1 kHz a 1 MHz. Tabulky naměřených hodnot jednotlivých vzorků a jejich grafické vyjádření jsou v příloze na příloženém CD disku na koci práce ve formátu Microsoft Excel 2007.

2.2 Realizace řídicí jednotky vytápění:

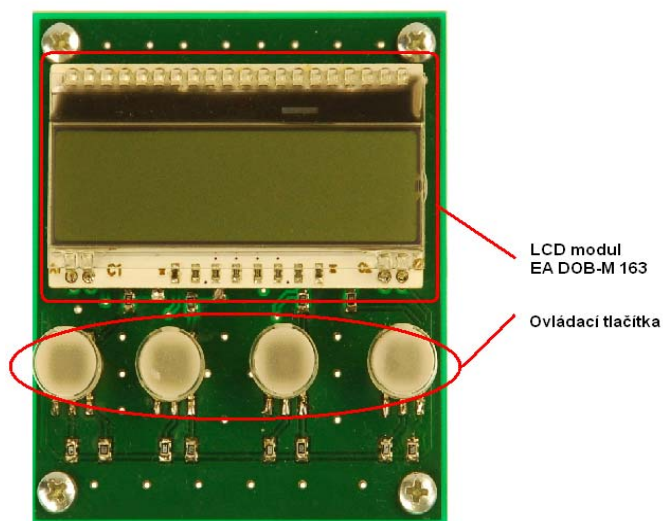
Řídicí jednotka pro vytápění je realizována na základě požadavků, zadání a analýzy vzorků kompozitního materiálu. Řídicí jednotka by měla být schopná regulovat výkon, který je distribuován do zařízení a vytápět tak daný kompozitní materiál na určitou danou teplotu, podle specifikace uživatele. Dalším požadavkem je, aby byla schopna měřit výstupní proud transformátoru, který teče do vytápěného vzorku kompozitního materiálu. Řídicí jednotka by měla obsahovat také komunikaci mezi počítačem a řídicí jednotkou a možnost nastavovat a spravovat celou řídicí jednotku z počítače. Také by zde mělo fungovat automatické odesílání dat do počítače, pro potřebu vyhodnocování údajů při vytápění.

Řídicí jednotka je rozdělena na dvě dílčí části. A to na obslužnou část tvořenou samostatnou deskou plošných spojů, která je zobrazena na obr. 18. Jedná se o část, která obsahuje napájecí modul, výkonový modul pro napájení vzorku kompozitního materiálu, obvod reálného času se záložní baterií, USB obvod s FTDI pro komunikaci s počítačem, konektor pro připojení teplotního čidla, které je zalité ve vzorcích kompozitního materiálu, obvody pro měření proudu, který teče do vzorku kompozitního materiálu při vytápění, mikroprocesor ATmega64 a konektor pro připojení nastavovací části.

Druhou částí je nastavovací část, která je taktéž na samostatné desce plošných spojů. Nastavovací část je zobrazena na obr. 19. Na obrázku není vidět konektor pro propojení s obslužnou částí, jelikož konektor je připevněn zespod desky. Na desce se nachází LCD modul, který zobrazuje datum a čas a aktuální informace při vytápění. Dále slouží pro nastavování zařízení uživatelem přímo na zařízení. Na nastavovací desce se nachází ještě 4 ovládací tlačítka s podsvětlenými hmatníky, které slouží pro pohyb v menu a nastavování zařízení.



Obr. 18: Obslužná část realizované řídicí jednotky



Obr. 19: Nastavovací část realizované řídicí jednotky

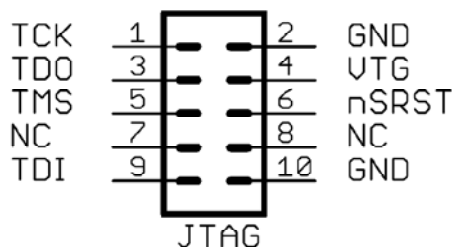
2.2.1 Volba Mikroprocesoru:

Pro řídicí jednotku vytápění je zvolen odpovídající typ mikroprocesor. Mikroprocesor je zobrazen na obr. 18, kde je okomentován. Mikroprocesor byl nakonec vybrán od firmy Atmel. Po pečlivém zvážení všech požadavků na zařízení byl nakonec vybrán mikroprocesor z rodiny mikroprocesoru Atmel ATmega a to ATMEGA 64. Mikroprocesor disponuje rozsáhlými periferiemi a dostatečnou rychlostí a pamětí pro danou realizaci řídicí jednotky. Procesor je použit v pouzdře TQFP a disponuje 64 vývody.

Základní údaje mikroprocesoru:

- 8 bit nízkonapěťový mikroprocesor
- Maximální pracovní kmitočet 16 MHz
- 64 kB Flash paměti
- 2 kB EEPROM paměti
- 4 kB SRAM paměti
- JTAG rozhraní
- SPI sériové rozhraní
- Dva 16 bitové časovače
- 8 kanálový ADC
- 2 sériové USART porty
- 8 externích přerušení

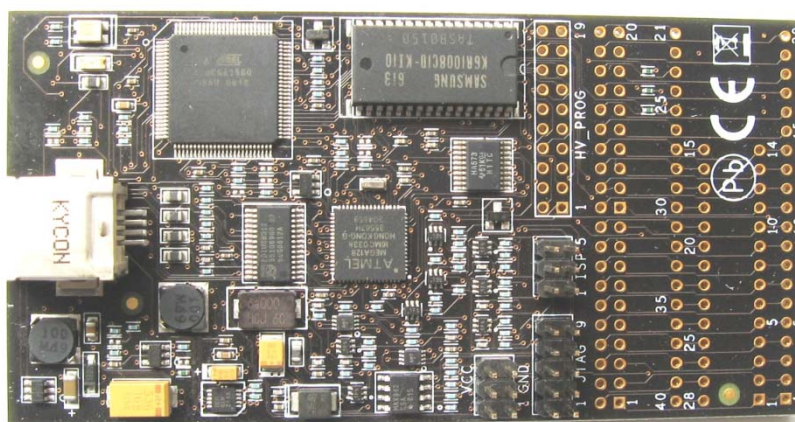
Pro programování mikroprocesoru je zvoleno rozhraní JTAG. Zapojení programovacího konektoru pro JTAG je na obr. 20. Programovací konektor je na zařízení rozdělený na 2 konektory, pro lepší návrh desky. JTAG je rozdělen na část napájení společně s resetem mikroprocesoru a na část programovací. Rozdělení má tu výhodu, že programovací část může být blízko mikroprocesoru a tím ušetřit místo pro realizaci desky plošných spojů.



Obr. 20: Zapojení programovacího konektoru JTAG

K programování procesoru byl použit programátor od firmy Atmel. Jedná se o programátor AVR Dragon, kterým se dá programovat velké množství procesoru Atmel AVR. Programátor AVR Dragon umí i debugovat zařízení. Bohužel v případě použití procesoru ATmega64 nelze procesor debugovat, jelikož programátor AVR Dragon umí debugovat procesory jen do velikosti paměti 32 kB a procesor jenž je osazen v zařízení disponuje paměti 64 kB.

Programátor je zobrazen na obr. 21. Jeho přednostmi jsou, že umí programovat jak pomocí standartu JTAG, tak i pomocí standartu ISP. Tedy v jeho případě není konstruktér omezen jen jednou možností programování zařízení.



Obr. 21: Programátor AVR Dragon

Programové vybavení pro mikroprocesor je vytvořeno pomocí programovacího jazyku C. Zdrojový kód byl sepsán v programu VodeVisionAVR. Tento program obsahuje C compiler pro převod programu z jazyku C do strojového kódu, který je potřeba pro naprogramování mikroprocesoru. Pro programování mikroprocesoru byl využíván program AVR Studio 4, který komunikoval pomocí USB sběrnice s programátorem AVR Dragon.

2.2.2 Volba výkonového řízení:

Požadavkem na dané zařízení bylo, aby bylo schopno řídit výkon, který je distribuován do zařízení. Výkonová část je vidět na obr. 18, kde je znázorněná a popsána. U realizovaného zařízení využívám pro napájení vzorku kompozitního materiálu toroidní transformátor, který je připojen na síťové napětí, $U_{vst}=230$ V. Výstupním napětí transformátoru jsou 2 vedení o stejném napětí $U_{výst}=24$ V. Transformátor disponuje

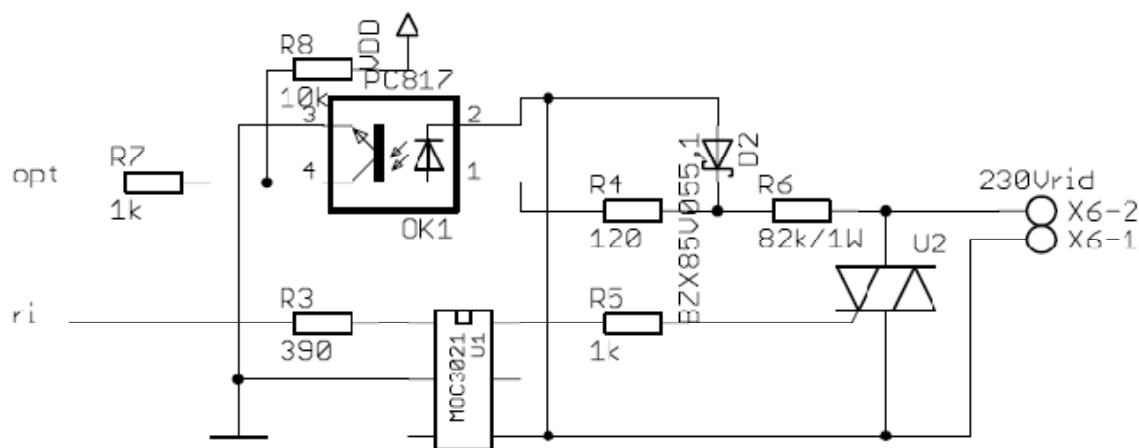
výkonem $P=500$ VA. Jelikož při plném zatížení na výstupu transformátoru v jedné větvi teče přibližně proud $I_{výst} \sim 10$ A, je proto vhodné, aby řízení výkonu probíhalo na primární straně transformátoru, z důvodu menších proudů, které jsou na vstupu transformátoru.

Pro řízení daného výkonu jsem si vybral triak TIC236M. Jedná se o triodový spínač střídavého proudu. Je to polovodičový spínací prvek, který je schopný vést elektrický proud oběma směry. Pro jeho sepnutí je zapotřebí, aby na hlavních elektrodách bylo dostatečně velké napětí, a na řídicí elektrodu musí být přiveden proudový impuls o velikosti vyšší, než je proud spínací. Triak se sepne a vede tak dlouho, dokud se velikost protékajícího proudu nezmenší pod hodnotu vratného proudu (tj. do okolí nuly). V této chvíli se triak vypne a to i při jakékoli hodnotě proudového impulsu přivedeného na řídicí elektrodu.

Daný typ triaku TIC236M má maximální napětí, které je schopen sepnout $U=600$ V a maximální proud, který vydrží trvalé sepnuty je $I=12$ A.

Pro generaci dostatečného proudového impulsu by byl výstup mikroprocesoru nedostatečný a navíc by mikroprocesor byl galvanicky propojen s triakem, který je na mnohem vyšším napětí. Proto byl pro generaci proudového impulsu zvolen optotriak MOC3021, který je určený právě ke generaci proudového impulsu pro triak. Optotriak navíc galvanicky oddělil část s napětím 230 V od části s napětím 5 V.

Na obrázku obr. 22 je schéma zapojení pro řízení výkonové části. Je zde vstup opt do mikroprocesoru, který je výstupem optočlenu PC817, jenž se díky zapojení s omezovací diodou D2 a omezovacím odporem R6 signalizuje průchod nulou střídavého napětí. Tato signalizace není přímo v nule, ale má menší zpoždění, které je zapříčiněno potřebným napětím pro rozsvícení diody v optočlenu. Optočlen navíc detekuje jen průchod kladnou půlvlnou, při záporné půlvlně optočlen nespíná. Tento malý problém společně s problémem přesného nespínání v nule, je odstraněn programově v mikroprocesoru. Mikroprocesor tedy přijme impuls s optočlenu a přes obsluhu přerušení se nastaví požadovaná hodnota na výstup ri. Délka sepnutí se triaku se řídí výstupem mikroprocesoru ri, podle nastavených hodnot uživatelem. Výstup ri sepne optotriak MOC3021, který následně na požadovanou dobu sepne výkonový triak TIC236M.

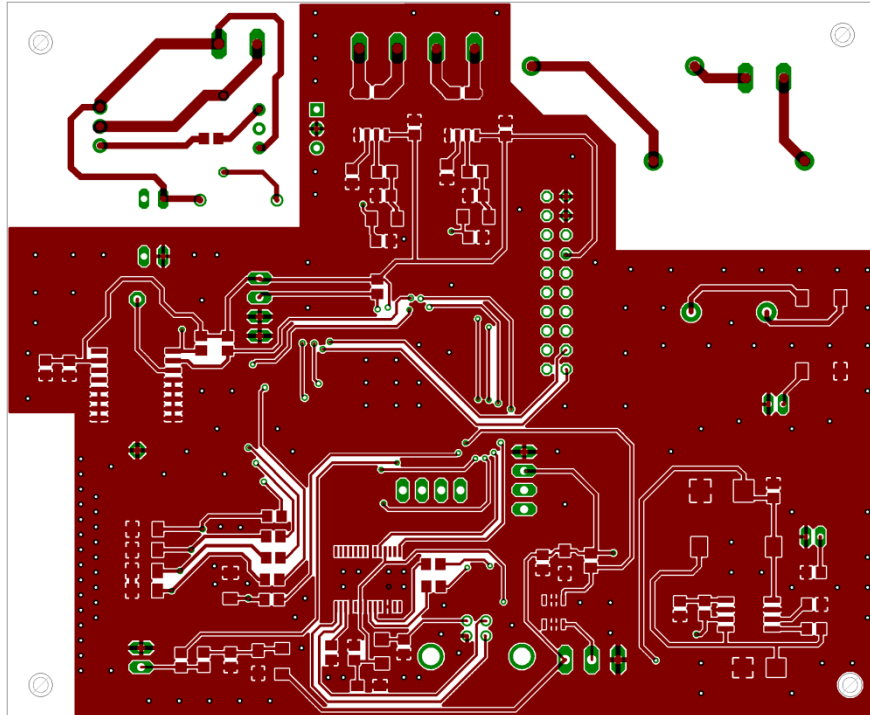


Obr. 22: Schéma výkonové části zařízení

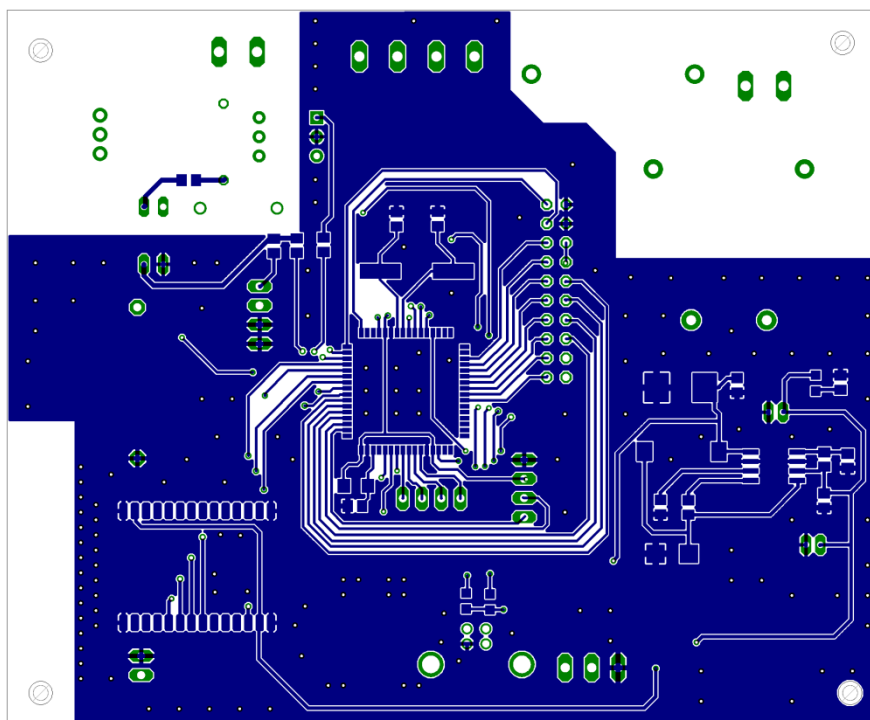
2.2.3 Obslužná část:

Obslužná část tedy obsahuje všechny potřebné části pro měření, nastavování výkonu a regulování vytápění. Schéma nastavovací desky je vloženo na konci práce jako samostatný list. Deska plošných spojů byla zrealizovaná jako 2 vrstva. Na obr. 23 je zobrazena vrchní strana, tedy Top vrstva. Spodní vrstva Bottom vrstva desky plošných spojů pro obslužnou desku je zobrazena na obr. 24. Desku plošných spojů vyrobila firma Pragoboard se sídlem v Praze. Seznam použitých součástek na obslužné desce je v elektronické příloze v souboru seznam součástek.xls.

Obslužná deska obsahuje mikroprocesor ATmega64, který je zobrazen na obr. 18. Parametry, funkce a důvod osazení tohoto typu mikroprocesoru byl již popsán výše v práci v kapitole Volba mikroprocesoru. Výkonová část zařízení sloužící pro ovládání výkonu vytápění kompozitního materiálu, je zobrazena na obr. 18. Princip funkce a zapojení výkonové části, již bylo popsáno výše v práci v kapitole Volba výkonového řízení.

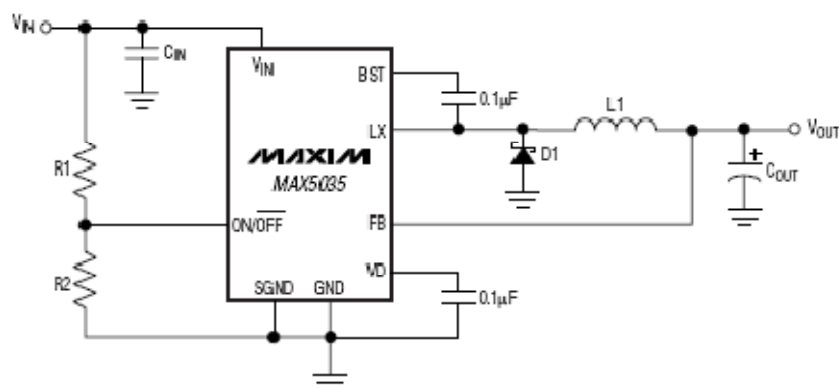


Obr. 23: Deska plošných spojů Top vrstva



Obr. 24: Deska plošných spojů Bottom vrstva

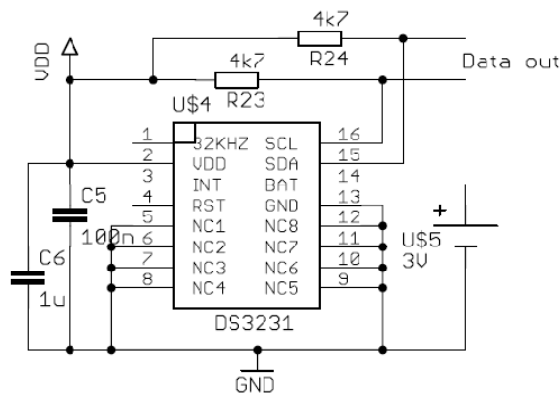
O napájení zařízení se stará transformátor 230 V/12 V o výkonu 1,9 VA. Transformátor má na primárním vstupu připojenou pojistku. Za transformátorem se nachází usměrňovací diodový smd můstek B380S. Pro napájení zařízení využívám spínaný zdroj. Spínaný zdroj je od firmy Maxim. Jedná se o MAX5035BASA, je to 5V spínaný zdroj o maximálním proudu 1 A. Na obr. 25 je zobrazeno schéma zapojení daného napájecího zdroje, podle kterého jsem zapojil daný zdroj.



Obr. 25: Schéma zapojení spínaného zdroje MAX5035BASA [12]

Vstupní stejnosměrné napětí může být v rozmezí 7,5 V do 76 V. V klidovém režimu odebírá 350 μ A a ve vypnutém režimu odebírá pouze 10 μ A. Zdroj je nepřetržitě zapnut v pracovním režimu a to rezistory R_1 a R_2 . Pokud by aplikace vyžadovala vypínání zdroje, je možné připojit paralelně k rezistoru R_2 spínač. Při sepnutí uvede spínaný zdroj do spánku. Zdroj obsahuje tepelnou a proudovou ochranu. Efektivita zdroje, může dosáhnout až 90 %.

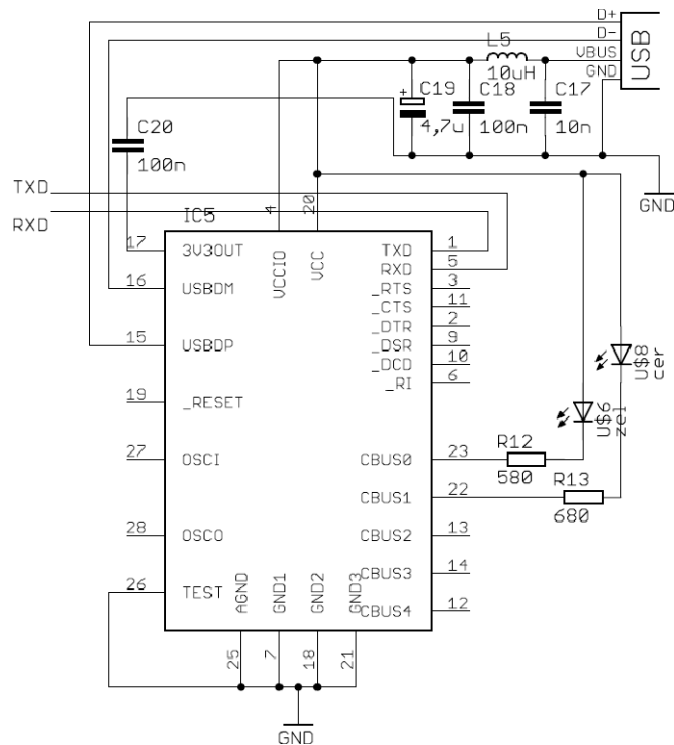
Dalším obvodem na obslužné desce je obvod reálného času (RTC). Tento obvod je opět od firmy Maxim. Jde o obvod DS3231. Tento obvod je napájen 5 V ze zdroje. Záložní napájení v případě výpadku napájení je zajištěno 3 V baterií. Baterie funguje pro běh vnitřní struktury tak, aby byl reálný čas generovaný i v případě výpadku napájení. Obvodu stačí k napájení jeho funkce napětí 2,3 V a maximální hodnota je 5,5 V. Komunikace s obvodem je zprostředkována komunikací I²C. Na obr. 26 je schéma zapojení obvodu RTC DS3231 tak, jak je zapojeno RTC v zařízení. RTC obvod generuje reálný čas. Generuje také signál s frekvencí 32 kHz, který je k dispozici na pinu 1.



Obr. 26: Zapojení RTC DS3231

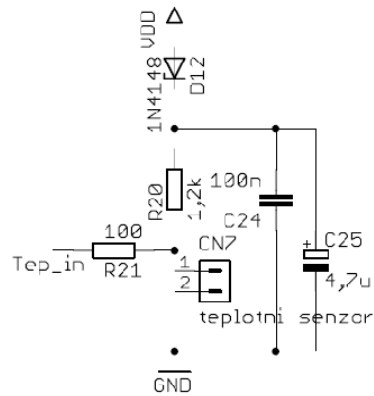
Komunikace I²C probíhá po dvou vodičích. Data vodič SDA (serial data) a hodinový signál SCL (seriál clock). V základní verzi se obvody adresují 7 bitově a v rozšířené verzi 10 bitově. To umožňuje připojení 128 nebo 1024 zařízení s různou adresou na jednu sběrnici. Přenosová rychlost je v mnoha aplikacích dostatečná i v základní verzi, kde je frekvence hodin 100 kHz. Ve vylepšených verzích to může být 400 kHz nebo 1 MHz. Tuto rychlost ovšem nemusí podporovat všechny integrované obvody. Oba vodiče musí být implicitně v logické 1. To znamená, že musí být připojeny pull-up rezistory. Čím je vyšší frekvence hodin, tím musí mít pull-up rezistory menší hodnotu. Pro 100 kHz postačuje hodnota $R=4,7\text{ k}\Omega$.

Pro komunikaci s počítačem využívám USB rozhraní. Pro komunikaci mezi USB počítače a mikroprocesorem využívám obvod FTDI FT232RL. Obvod je napájen přímo z USB portu počítače. Disponuje standartem plug & play, tedy obvod je v podporovaných operačních systémech počítače automaticky rozpoznán a automaticky se mu nainstalují ovladače pro jeho funkci. Schéma zapojení je na obr. 27. V zapojení jsou zapojeny i 2 indikační LED diody červená a zelená, které signalizují přenos dat mezi počítačem a obvodem FTDI.



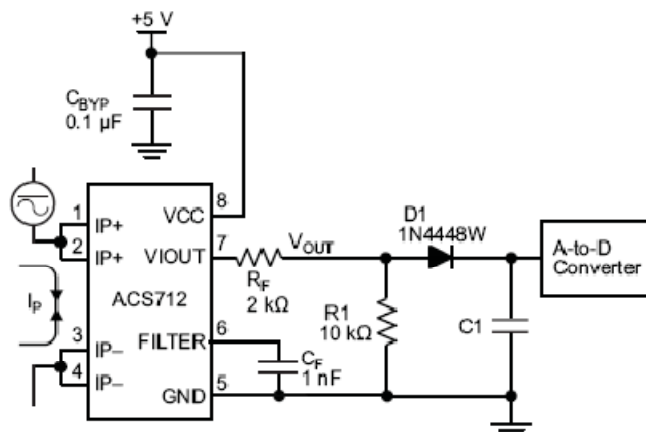
Obr. 27: Schéma zapojení FTDI232RL

Pro měření teploty betonu jsou ve vzorcích kompozitního betonu zalité teplotní čidla. Jedná se odporové teplotní čidla KTY81-120. Jejich výstupem je tedy změna odporu s teplotou. Teplotu snímanou těmito čidly vyhodnocují pomocí přesného napětí připojeného na odporový dělič. Úbytek napětí na odporovém čidle převádím přes 10 bitový A/D převodník integrovaný v mikroprocesoru na digitální hodnotu a následně na hodnotu teploty přes přepočítání v mikroprocesoru. Teplotní čidla KTY81-120 mají teplotní rozsah 55 °C až 150 °C. Při teplotě 25 °C je typická hodnota odporového čidla 1000 Ω. Přesnost čidla je ±2,5 %. Výhoda použití těchto typu čidel bylo jednoduché a rychlé zjištění teploty vzorku při provádění experimentu. Nebylo potřeba k získání hodnoty teploty žádné speciální měřicí přípravky, ke změření hodnoty postačoval multimetr. Teplotní čidlo bylo zapojeno podle obr. 28. Jedná se o odporový dělič, doplněný o ochrannou diodu a filtrační kondenzátory. Na výstupu je ochranný odpor omezující proud tekoucí do pinu mikroprocesoru.



Obr. 28: Schéma zapojení teplotního čidla KTY81-120

Dalším obvodem, který je důležitou součástí je proudové čidlo ACS712. Součástka je v pouzdru SOIC8. Jedná se o proudové čidlo schopno měřit proud do hodnoty 20 A a to jak střídavé proudy, tak i stejnosměrné proudy. Proud je snímán prostřednictvím hallova jevu. Výhoda tohoto typu měření je, že je galvanicky oddělený měřený proud od vyhodnocovací elektroniky. Tímto způsobem lze tedy snímat i větší proudy. Citlivost čidla je 100 mV/A. Napájecí napětí obvodu je 5 V a spotřeba čidla je 13 mA. Frekvence, kterou čidlo vzorkuje protékající proud, je 80 kHz. Izolační napětí, které čidlo vydrží je 2,1 kV. Výstup čidla je analogový s lineární závislostí. Udávána nelinearita je jen 1,5 %. Schéma zapojení obvodu je obr. 29. Na výstupu není potřeba používat napěťový sledovač, kvůli impedančního přizpůsobení výstupu čidla na vstup A/D převodníku mikroprocesoru. Napěťový sledovač obvod obsahuje ve vnitřním zapojení.



Obr. 29: Schéma zapojení proudového čidla ACS712 [15]

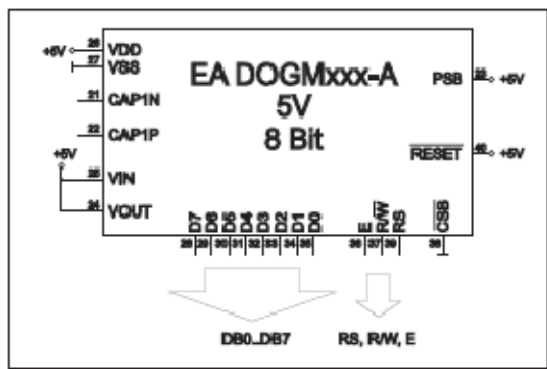
2.2.4 Nastavovací část:



Obr. 30: LCD modul EA DOGM163E-A [11]

Nastavovací část tedy obsahuje LCD modul a tlačítka. Pro zobrazování jsem se rozhodl použít moderní LCD modul EA DOGM163E-A. Modul je složen se 2 částí a to zobrazovací částí a z podsvětlovací částí. U zobrazovací části se jedná o 3 řádkový display, který umí zobrazit až 16 ASCII znaků. Podsvětlovací část obsahuje uvnitř ukryté ledky, které jsou rovnoměrně rozloženy a jsou napájené z pinů A1 A2. U podsvětlovací části si může zákazník zvolit, jakou barvu podsvětlení použije. Modul dále umožňuje komunikaci 8 bitovou, nebo 4 bitovou, popřípadě SPI komunikaci. Napájení modulu je možno si zvolit a to jak 5 V tak i 3,3 V. Na obr. 30 je zobrazen LCD modul EA DOGM163. LCD modul má malou spotřebu energie. Průměrnou spotřebu, kterou uvádí výrobce je 40 mA. Spotřeba energie lze však snížit při snížení intenzity poosvětlení. LCD modul obsahuje teplotní čidlo pro kompenzaci kontrastu pole teploty.

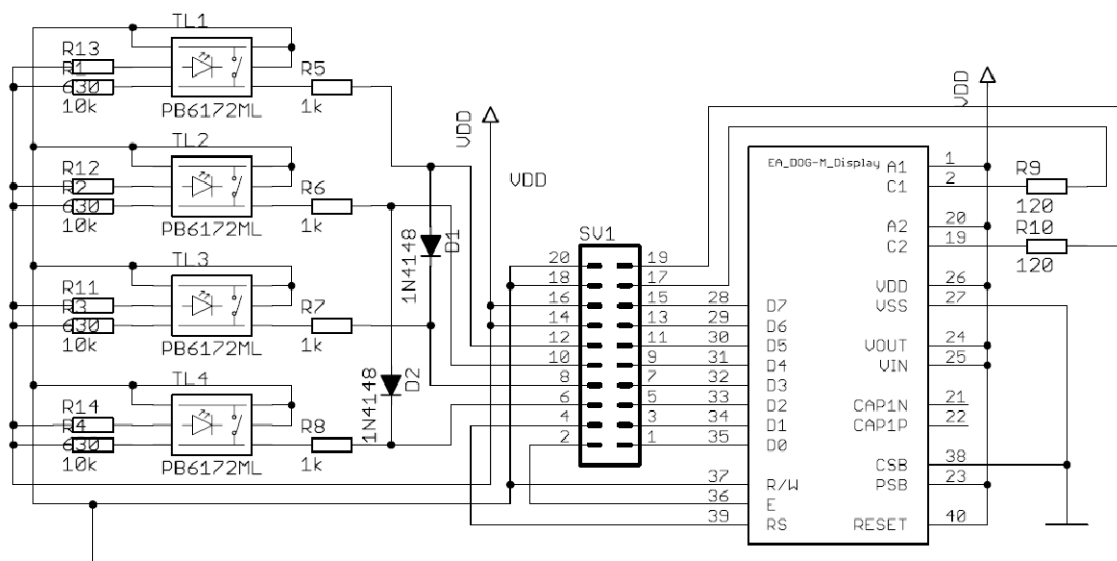
Pro vlastní aplikaci využívám bílého podsvětlení modulu a piny podsvětlení A1 a A2 jsou připojeny na mikroprocesor, pomocí něhož můžu řídit podsvětlení.



Obr. 31: Zapojení LCD modulu DOGM163 [11]

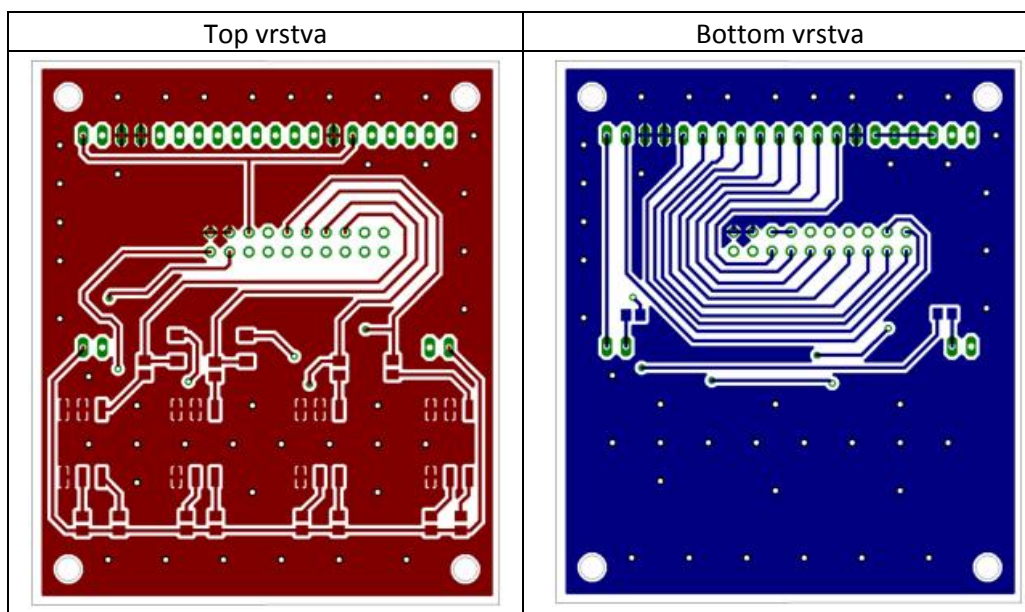
Komunikaci s mikroprocesorem používám 8 bitovou a napájecí napětí 5V. Zapojení LCD modulu pro tyto hodnoty je vidět na obr. 31. Pro obsluhu je potřeba také mít zapojeny řídicí vstupy. Pin R/W jsem připojil na zem, jelikož se jedná o povolení zapisování, nebo čtení z modulu. Ve svojí aplikaci pouze zapisují data do modulu a tudíž jsem nastavil na pin R/W trvale nulu, která reprezentuje stav zápis. Pin E (enable) slouží k povolení zapisování do modulu. Pokud na pin E přivedu log0, data na vstupech D0-D7 se zapíší do struktury. Při log1 se data nezapíší. Dalším pinem je RS, který umožňuje inicializaci modulu. Pokud je RS v log1, data na vstupech D0-D7 jsou určena pro nastavování a pokud je RS v log0, jsou data určená pro zobrazení.

Nastavovací tlačítka jsou použita 4 a to nahoru, dolů, potvrdit a zpět. Pomocí tlačítek může obsluha zařízení nastavit parametry pro vytápění přímo na zařízení. Tlačítka jsem použil v smd provedení s podsvětlenými hmatníky. Tlačítka jsou připojena na přerušení procesoru, a to tak, že jedno tlačítko je připojeno přímo na pin přerušení procesoru a druhé tlačítko je připojeno na normální pin procesoru a je spojeno diodou k tlačítku, které je připojeno na přerušení. Tímto způsobem jsem ušetřil 2 piny přerušení na procesoru a vyhodnocování tlačítek se téměř nezpomalilo.



Obr. 32: Schéma zapojení nastavovací desky

Na obr. 32 je schéma zapojení nastavovací části řídicí jednotky. Je zde vidět propojení vždy dvou tlačítek na jedno přerušení pomocí diod D1 a D2. Dále je zde vidět konektor SV1 pro propojení s obslužnou deskou, výhodou tohoto řešení je, použití jednoho konektoru pro veškeré propojení. Jedná se o 20 pinový konektor ML-20 se zámkem, proti špatnému zapojení. Propojení je realizováno plochým 20 žilovým kabelem. Seznam součástek, použitých na nastavovací části, je umístěn v elektronické příloze v souboru seznam součástek.xls. Na obr. 33 je zobrazena deska plošných spojů pro nastavovací část. Na obr. 33 je v levé polovině zobrazená deska plošných spojů pro vrchní vrstvu Top a v pravé polovině zobrazena deska plošných spojů pro spodní vrstvu Bottom. Deska je tedy vyrobena ve dvou vrstvé technologii. Desku nešlo vyrobit jedné vrstvě, jelikož je zde velké množství propojení v důsledku použití jednoho konektoru, který je navíc osazen v horní vrstvě Top. Výrobu desky plošných spojů provedla firma Pragoboard, která má výrobní linku v Praze. Návrh desky plošných spojů byl realizován pomocí programu EAGLE 4.15 Professional.



Obr. 33: Deska pločných spoju pro nastavovací desku

2.2.5 Funkce řídicí jednotky

Řídicí jednotka má za úkol vytápět kompozitní materiál. K tomuto účelů slouží výkonová část. Řídicím prvkem výkonové části je triak, kterým je možno nastavovat velikost proudu potažmo výkonu distribuovaného do kompozitního materiálu. Nastavení velikosti proudu je možno nastavit přímo na řídicí jednotce, nebo prostřednictvím počítače. Aby bylo možné monitorovat vytápění kompozitního materiálu je jednotka osazena konektorem pro připojení teplotního čidla, které je zalito v kompozitním materiálu už při výrobě. Pomocí tohoto čidla je možno sledovat teplotu kompozitního materiálu. Dále je vybavena externím čidlem teploty, které má za úkol měřit venkovní teplotu. Podle naměřené venkovní teploty je pak rozhodováno, jestli má, či nemá řídicí jednotka vytápět kompozitní materiál, jelikož při velmi nízké venkovní teplotě nelze účinně vytápět kompozitní materiál. Tato hodnota, pod kterou se již nebude vytápět kompozitní materiál, je možno navolit prostřednictvím nastavení řídicí jednotky. A to buď přímo na rozhraní řídicí jednotky nebo prostřednictvím počítače. Další funkcí řídicí jednotky je monitorování proudu, který teče do kompozitního materiálu. Tento proud je snímán pomocí proudového čidla a vyhodnocován pomocí mikroprocesoru, který naměřené informace odesílá do počítače a ukládá do tabulky v programu Microsoft Office Excel. Do souboru se navíc ukládá i čas a datum, kdy byl daný záznam pořízen a velikost teploty betonu a teploty okolí. Kontrolní údaje jsou zobrazeny i na LCD modulu řídicí jednotky.

2.2.6 Popis menu zařízení:

Na nastavovací části zařízení se na základní obrazovce zobrazuje aktuální čas, datum, informaci o vytápění, tedy jestli je vytápění zapnuté, nebo vypnuté. Tato základní obrazovka se střídá s druhou základní obrazovkou a to v intervalech 5 sekund. Na druhé základní obrazovce se zobrazují údaje aktuální teploty betonu, aktuální teplotu okolí a proud výstupu, který teče do vzorku kompozitního materiálu.

Po stisknutí libovolného tlačítka se uživatel dostane do nastavování řídicí jednotky. Zde je na výběr ze dvou možností. První možnost je Nastavení vytápění a druhou je Nastavení zařízení. Pohyb mezi jednotlivými položkami menu probíhá pomocí tlačítek nahoru a dolů. Po stisknutí tlačítka zpět se uživatel dostane zpět na základní obrazovku. Po stisknutí tlačítka enter se uživatel dostane do pod menu vybrané položky nastavení. V pod menu nastavení výkonu je možné zvolit tlačítka nahoru a dolů, jednu z 5 možností. Tlačítkem zpět se uživatel dostane zpět o jeden krok, tedy na obrazovku Nastavení výkonu, nebo na obrazovku Nastavení zařízení, podle toho, v kterém pod menu se nacházel. Položky na výběr v pod menu jsou Výkon, Teplota betonu, Povolení vytápění, Teplota pod kterou nevytápět a Velikost hystereze vytápění. Po stisknutí tlačítka enter na jedné z položek pod menu se dostane na nastavení jednotlivé položky, kterou poté potvrdí enterem a dostane se zpět na položky v pod menu.

V položce Výkon je možno nastavovat velikost výkonu, jakým se bude vzorek kompozitního materiálu vytápět. Je to velikost výstupního výkonu, který bude napájet vzorek kompozitního materiálu. Na výběr je od 0 % do 100 % po kroku 10 %. Po potvrzení položky tlačítkem enter se hodnota nastaví do řídicí jednotky.

V položce Teplota betonu si uživatel může navolit maximální vnitřní teplotu kompozitního vzorku, na kterou bude řídicí jednotka vzorek kompozitního materiálu vytápět. Zvolit si může možnost od 0 °C do hodnoty 30 °C s nastavovacím krokem 2 °C.

V položce Povolení vytápění se může uživatel zvolit, jestli se má vytápění vzorku zapnout, nebo vypnout. Potvrzením vybrané volby tlačítkem enter se spustí nebo vypne vytápění.

V položce Teplota pod kterou nevytápět, si může uživatel navolit velikost venkovní teploty, pod kterou zařízení automaticky vypne vytápění vzorku kompozitního materiálu.

Uživatel může volit nastavení venkovní teploty v rozmezí od 0 °C do -15 °C s krokem nastavení 1 °C.

V položce Velikost hystereze vytápění je možno volit velikost hystereze vytápění. Tedy maximální a minimální teplotu, která bude na vzorku při vytápění na určitou požadovanou hodnotu teploty. Na výběr při nastavení je 0 °C až 6 °C s krokem 1 °C.

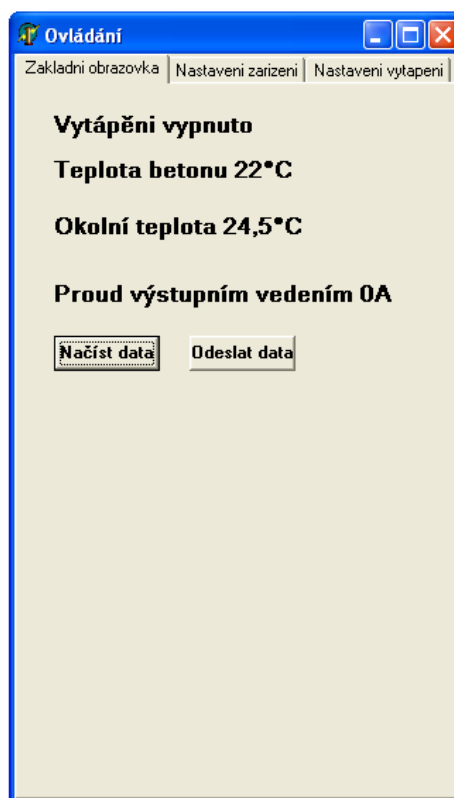
V položce menu Nastavení zařízení je na výběr jen jedna položka a to podsvětlení. Po potvrzení této položky tlačítkem enter je možno ve 4 krocích nastavit podsvětlení LCD modulu. Na výběr jsou možnosti max, což znamená, že nastaví podsvětlení LCD modulu na maximum, další položkou je položka vnitřní diody, ta nastaví na podsvětlení LCD modulu jen vnitřní diody podsvětlení. Dalším položkou je vnější diody, která nastaví podsvětlení LCD modulu jen na vnější diody. Poslední položkou je položka vypnuté. V této položce se podsvětlení LCD modulu vypne.

Menu se po době 10 sekund nečinnosti, tj. že nebylo zmačknuté žádné tlačítko automaticky vrátí na základní obrazovku.

Kód programu je uložen v textovém souboru s názvem Program jednotky.txt v elektronické příloze na přiloženém CD.

2.2.7 Obslužný program pro PC:

Obslužný program pro počítač jsem vytvořil za pomoci programu Delphi. Pomocí programu je možné z počítače jak nastavovat všechny parametry řídicí jednotky, tak i získávat data z řídicí jednotky. Navíc je možno pomocí programu ukládat data to souboru tabulkového procesoru Excel. Na obr. 34 je zobrazena základní obrazovka programu pro obsluhu řídicí jednotky. Na Základní obrazovce je možno odesílat nastavení pro řídicí jednotku pomocí tlačítka odeslat data, nebo načítat nastavení řídicí jednotky pomocí tlačítka načíst data. Po načtení dat z řídicí jednotky se na základní obrazovce vypíší aktuální informace o vytápění. Tedy jaká je teplota betonu, velikost venkovní teploty, velikost proudu, který odebírá zátěž a poslední informační položkou je, zdali je vytápění zapnuto, nebo vypnuto.



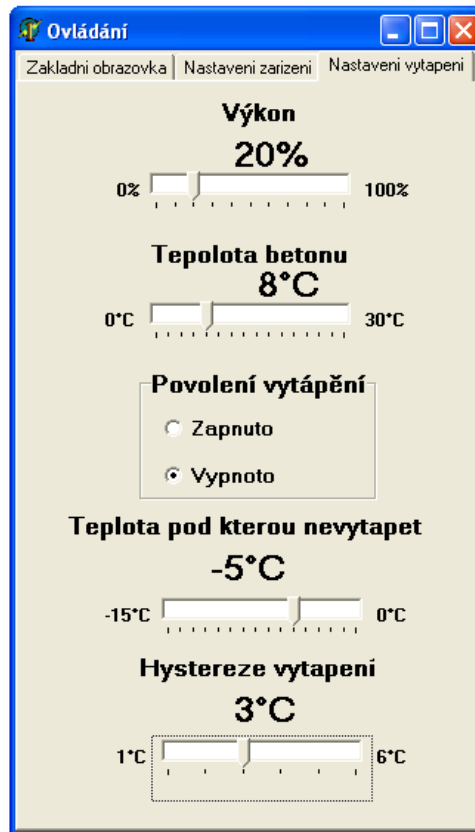
Obr. 34: Základní obrazovka obslužného programu

Na obr. 35 je další záložka obslužného programu a to Nastavení zařízení. Zde je možno nastavit v položce intenzita podsvětlení intenzitu podsvětlení LCD modulu. Další položkou je položka Hodiny. Pomocí tlačítka nastav čas, je možné nastavit aktuální čas, který běží v programu do řídicí jednotky. Nastavení času je možné pouze prostřednictvím obslužného programu na počítači.



Obr. 35: Nastavení zařízení v obslužném programu

Poslední položkou v možnostech programu je Nastavení vytápění. Obrazovka programu je znázorněna na obr. 36. Zde je možno nastavovat velikost výkonu vytápění v položce Výkon. V položce Teplota betonu je možno nastavit velikost teploty betonu, po kterou se má vytápět. V další položce Povolení vytápění je možno zvolit zdali má být vytápění vypnuto, nebo zapnuto. Další možnosti je možnost navolit velikost blokovací teploty v položce Teplota pod kterou nevytápět. Zde je možno nastavit velikost teploty, pod kterou se vytápění automaticky ukončí. Poslední položkou nastavení je položka Hystereze vytápění. Zde je možné navolit na jakou maximální a na jakou minimální hodnotu teploty se bude vytápět vzorek kompozitního betonu při definované teplotě vytápění.



Obr. 36: Nastavení vytápění v obslužném programu

3 Závěr:

Ve své závěrečné diplomové práci jsem analyzoval předložené vzorky kompozitního materiálu z hlediska použitelnosti pro aplikaci řízeného vytápění kompozitního materiálu. Na vzorcích kompozitního materiálu jsem provedl měření, které sloužilo ke zjištění parametru daných vzorku. K měření jsem používal měřicí přístroj RLC-metr E4980A od firmy Agilent. Pomocí měřicího přístroje jsem měřil velikost reálné a imaginární složky komplexní impedance. Pro měření vzorku jsem vytvořil měřicí program pomocí programu Agilent VEE Pro 8.5. Pomocí měřicího programu a propojení měřicího přístroje s počítačem jsem mohl efektivně proměřit všechny vzorky kompozitního materiálu a následně zpracoval naměřené data ze vzorků kompozitního materiálu v tabulkovém procesoru Microsoft Office Excel. Všechny naměřené data jsem vyhodnotil. Naměřené výsledky jsou vyhodnoceny zvlášť pro vzorky válečku kompozitního materiálu, jenž sloužily, jen pro zjištění vlastností daného materiálu a pro vzorky desek kompozitního materiálu, které byly určeny pro experimenty a pro vlastní vytápění. Naměřené výsledky jsou v tab. 6 pro vzorky válečku kompozitního materiálu a v tab. 7 pro vzorky desek kompozitního materiálu. Tabulky jsou umístěny v příloze práce. Z vyhodnocení měření jsem vybral nejlepší vzorky kompozitního materiálu vhodné pro další použití.

Na vybraných vzorcích jsem provedl další experimenty, ke zjištění dalších informací o parametrech a chování vzorku za určitých podmínek. Prvním experimentem bylo zkoumání vlivu stárnutí vzorku na jeho parametry. Výsledky experimentu zjistili, že změna parametru impedance u stárnutého vzorku je minimální a impedance se zmenšuje. U druhého experimentu jsem zkoumal, jak se změny parametry impedance při zalití vzorku kompozitního materiálu do betonové výztuže. Výsledek experimentu prokázal, že změna impedance vlivem zalití vzorku kompozitního materiálu do betonu je minimální a jako v předešlém případě se impedance zmenšovala. U posledního experimentu jsem zkoumal jaký vliv má vytvoření kruhových otvorů do vzorku kompozitního materiálu na rovnoměrné rozložení teploty. Výsledek experimentu prokázal, že rozložení děr v kompozitním materiálu ovlivňuje rozložení teploty ve vzorku. Experiment ukázal, že nejlepší rozložení děr je u vzorku NK57_1E a u vzorku NK57_5E. Nejlepší vzorky kompozitního materiálu jsou vzorky ze série NK57. U těchto vzorků je nejnižší impedance, a proto jsou velmi vhodné pro použití v aplikaci řízeného vytápění kompozitního materiálu.

Další částí mojí práce bylo navrhnout a zrealizovat řídicí jednotku pro vytápění kompozitního materiálu. Řídicí jednotku jsem navrhl a zrealizoval podle požadavku ze zadání. Vytvořil jsem schéma zapojení, poté jsem navrhl desku plošných spojů pro zařízení. Dalším krokem bylo osazení desek plošných spojů součástkami a oživení zařízení. Poté jsem vytvořil program pro řídicí jednotku podle požadavku zadání a naprogramoval do mikroprocesoru. Další částí mojí práce bylo vytvoření obslužného programu pro ovládání řídicí jednotky pomocí počítače. Program jsem vytvořil v programovacím prostředí Delphi. Pomocí programu lze tedy ovládat a nastavovat celé zařízení. Zařízení tedy je schopné ovládat velikost výkonu pro vytápění sledovat teplotu okolí a teplotu betonu a podle naměřených a nastavených hodnotu vytápět podle požadavku uživatele. Zařízení dále měří velikost proudu při vytápění vzorku kompozitního materiálu a obsahuje obvod reálného času.

4 Použitá literatura:

- [1] CHUNG, D D L. *Electrically conductive cement - based materials*. 2004 [cit. 2008-02-23]. Dostupný z WWW: <http://wings.buffalo.edu/academic/department/eng/mae/cmrl/Electrically%20conductive%20cement-based%20materials.pdf>
- [2] CHUNG, D D L. *Cement - Based Electronics*. 2000 [cit. 2010-02-23]. Dostupný z WWW: <http://wings.buffalo.edu/academic/department/eng/mae/cmrl/Cement-based%20electronics.pdf>
- [3] CHUNG, D D L. *Cement - matrix composites for smart structures*. 2000 [cit. 2010-02-23]. Dostupný z WWW: <http://wings.buffalo.edu/academic/department/eng/mae/cmrl/Cement-matrix%20composites%20for%20smart%20structures.pdf>
- [4] CHUNG, D D L. *Dispersion of Short Fibers in Cement*. 2005 [cit. 2010-02-23]. Dostupný z WWW: <http://wings.buffalo.edu/academic/department/eng/mae/cmrl/Dispersion%20of%20short%20fibers%20in%20cement.pdf>
- [5] AGILENT E 4980A. Datasheet k LRC – metro. [cit. 2010-12-1]. Dostupné z WWW: <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/E4980-90070.pdf>
- [6] AGILENT VEE 8.5. Datasheet k programu. [cit. 2010-12-1]. Dostupné z WWW: <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/W1140-90036.pdf>
- [7] ATMEL ATmega64. Datasheet k mikroprocesoru. [cit. 2010-12-1]. Dostupné z WWW: http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/2490s.pdf
- [8] TIC236M. Datasheet k triaku. [cit. 2010-12-1]. Dostupné z WWW: http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/120/323041_DS.pdf
- [9] MAXIM DS3231. Datasheet k programu. [cit. 2008-12-1]. Dostupné z WWW: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/112132/DALLAS/DS3231.html>
- [10] PHILIPS KTY81-120. Datasheet k programu. [cit. 2008-12-1]. Dostupné z WWW: http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/philips/KTY81-1SERIES_3.pdf
- [11] EA DOG-163E-A. Datasheet k programu. [cit. 2008-12-1]. Dostupné z WWW: <http://www.lcd-module.de/eng/pdf/doma/dog-me.pdf>
- [12] MAX5035BASA. Datasheet k programu. [cit. 2008-12-1]. Dostupné z WWW: <http://www.alldatasheet.net/datasheet-pdf/pdf/298343/MAXIM/MAX5035BASA.html>

- [13] MOC3021. Datasheet k programu. [cit. 2008-12-1]. Dostupné z WWW: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/motorola/MOC3021.pdf>
- [14] PC817. Datasheet k programu. [cit. 2008-12-1]. Dostupné z WWW: <http://www.farnell.com/datasheets/73758.pdf>
- [15] ACS712. Datasheet k programu. [cit. 2008-12-1]. Dostupné z WWW: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/168326/ALLEGRO/ACS712.html>
- [16] FTDI FT232RL. Datasheet k programu. [cit. 2008-12-1]. Dostupné z WWW: <http://www.farnell.com/datasheets/11529.pdf>
- [17] FAJKUS, M. *Řízené vytápění kompozitního materiálu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 41 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.

5 Přílohy:

Tab. 6: Vybrané naměřené hodnoty pro vzorky valečku kompozitního materiálu

Měřeno 31.3.2009,7.4.2009 vzorky valečku, vzdálenost elektrod 20mm							
Vzorek	Vyrobeno	f = 100 Hz		f = 1 kHz		f = 1 MHz	
		R	X	R	X	R	X
		[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]
38d_1		145942	-11326	116913	-18928	2762,82	-4873,67
38d_2		613591	-122321	363558	-212308	2656,7	-5099,87
38d_3		547152	-101980	320040	-196288	2637,87	-4497,95
38d_4		72891,2	-7714,8	59314,9	-12466	2743,41	-3987,06
38d_5		92742	-15102	67964,3	-19775	2619,51	-3687,56
38d_6		131044	-19550	97708	-27812	2816,74	-4489,53
38d_7		356313	-37016	248070	-125886	2436,18	-3816,9
38d_8		157479	-18088	123789	-34217	2671,93	-4229,2
38d_9		74397,2	-6051,5	63175,7	-12590	2671,93	-4229,2
54d_1		98278,9	-6238,7	87478,8	-15278	2574,84	-3802,15
54d_2		627881	-167421	248786	-231546	2408,38	-3720,95
54d_3		162186	-9905,4	131200	-26937	2694,5	-4106,61
54d_4		101970	-12143	78121,9	-26060	2015,23	-2515,73
54d_5		59094,9	-4783,6	50448,4	-9993,4	2115,89	-2601,04
54d_6		65438	-3540,8	57309,2	-10905	1864,97	-2348,68
54d_7		110999	-12797	79217,2	-26652	2518,51	-3284,07
54d_8		82633,6	-5005,1	75153,2	-16014	2474,48	-3252,29
54d_9		116430	-9673,5	91707,9	-26910	2612,79	-3438,07
55d_1		7395,75	-55,962	7267,3	-136,33	756,451	-1106,99
55d_2		9878,85	-103,75	9652,91	-251,92	734,253	-1123,81
55d_3		19236,7	-259,22	18792,5	-691,74	723,013	-1386,62
55d_4		3925,2	-28,765	3852,76	-63,898	694,623	-735,088
55d_5		3341,76	-24,826	3291,34	-57,998	643,149	-592,32
55d_6		4227,96	-29,788	4158,44	-77,368	612,657	-621,229
55d_7		2562,42	-25,153	2510	-51,832	583,85	-485,637
55d_8		1982,33	-15,491	1948,23	-33,371	508,872	-411,167
55d_9		1292,14	-6,1778	1279,59	-13,123	712,052	-332,398
55d1_1		9777,86	-675,37	8714,66	-807,96	1463,72	-1343,63
55d1_2		8390,62	-691,31	7326,47	-779,56	1603	-1239,07
55d1_3		8182,25	-666,02	7157,43	-757,22	1532,2	-1160,75
55d1_4		9080,23	-659,03	8054,39	-781,83	1646,58	-1270,7
55d1_5		8382,47	-587,33	7474,6	-683,48	1705,6	-1330,58
55d1_6		8133,73	-623,22	7168,37	-714,16	1589,44	-1248,39

Vzorek	Vyrobeno	f = 100 Hz		f = 1 kHz		f = 1 MHz	
		R	X	R	X	R	X
		[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]
55d1_7		10660,4	-828,83	9384,22	-960,12	1643,65	-1404,57
55d1_8		10137,6	-841,71	8841,08	-948,92	1773,07	-1457,02
55d1_9		8465,07	-516,72	6509,01	-1176,9	1461,93	-1103,73
56d_1		7494,69	-41,653	7404,79	-131,84	356,509	-997,628
56d_2		5238,96	-33,759	5170,93	-93,398	582,189	-972,591
56d_3		10370	-81,473	10119	-258,32	308,22	-977,181
56d_4		4082,34	-10,241	4061,14	-35,728	482,505	-923,593
56d_5		2641,09	-9,2063	2617,33	-25,367	452,014	-723,393
56d_6		2242,62	-6,2022	2220,31	-26,325	359,883	-477,893
56d_7		1454,66	-2,149	1444,91	-8,1313	568,506	-529,416
56d_8		2154,12	-3,3643	2132,57	-12,628	616,97	-694,17
56d_9		1484,11	-0,7168	1458,9	-18,304	226,12	-251,735
57d_1		67,5545	0,00218	67,0938	-0,0058	66,9295	-0,95578
57d_2		319,382	0,43882	322,232	-0,0077	305,249	-76,5314
57d_3		139,057	0,06341	138,072	-0,0126	134,146	-12,8347
57d_4		43,2618	0,00046	43,2511	-0,0069	42,9961	-0,95214
57d_5		73,41	0,00145	73,4096	-0,0208	71,5926	-7,38144
57d_6		128,912	0,00704	128,679	-0,0224	126,944	-10,0336
57d_7		107,962	0,01155	107,957	-0,0347	105,077	-12,7385
57d_8		49,277	0,00159	49,2869	-0,0072	49,0185	-1,32778
57d_9		19,489	0,00094	19,4914	-0,0009	19,4925	0,520602
71b_1		11557,7	-61,23	11430,8	-153,72	3447,88	-3128,32
71b_2		51845	-2000,4	48423,6	-4182	4749,1	-5671,72
71b_3		2088,34	0,76316	2117	-8,3107	1155,06	-757,425
71b_4		830057	-315348	295391	-264283	6802,99	-12213,2
71b_5		97379,5	-4962,2	84594,5	-11011	5122,28	-7626,54
71b_6		7337,45	-77,316	7201,95	-143,04	2024,35	-1771,95
71b_8		35951,1	-529,74	19692,2	-483,5	2801,38	-2868,83
71b_9		2765830	-2E+06	732200	-881503	4700,2	-9827,99
Měřeno 9.4.2009, vzorky valečku, vzdálenost elektrod 20mm							
NK17h_1		5525,6	-320,67	5123,29	-236,77	993,224	-1009,75
NK17h_2		4982,9	-298,12	4536,93	-211,15	1138,13	-1077,72
NK17h_3		13422,2	-674,65	11311,8	-787,26	1021,59	-1384,32
NK17h_4		3727,34	-412,21	3266,9	-245,89	1150,18	-821,115
NK17h_5		8040,35	-761,73	7193,58	-681,25	1040,36	-916,129
NK17h_6		3823,72	-238,75	3413,23	-173,17	723,53	-748,785
NK17h_7		13869,7	-1563,6	11325,1	-1240,1	1118,84	-1191,35
NK17h_8		8586,45	-948,79	7560,25	-577,71	1507,22	-1550,55

Vzorek	Vyrobeno	f = 100 Hz		f = 1 kHz		f = 1 MHz	
		R	X	R	X	R	X
		[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]
NK17g_1		87367,2	-16548	64707	-21750	1192,13	-1752,11
NK17g_3		116564	-26418	71121,1	-37690	1055,03	-1523,71
NK17g_4		39453,5	-7476,4	31397,8	-6559,4	961,797	-1324,19
NK17g_5		345636	-162492	105631	-122222	991,336	-1411,58
NK17g_6		266107	-70099	127424	-95631	1095,81	-1583,96
NK17g_7		45886,2	-12748	32866,8	-9087,3	1078,18	-1451,78
NK17g_8		100121	-20120	65137,1	-29980	1335,11	-1972,86
NK51b mix_1		2996,39	-10,764	2974,37	-45,995	500,558	-449,079
NK51b mix_2		3261,14	-30,841	3217,3	-82,63	376,92	-414,974
NK51b mix_3		1421,02	-15,098	1394,11	-28,531	303,515	-284,095
NK51b mix_4		1698,75	-4,8354	1694,12	-22,321	351,398	-360,412
NK51b mix_5		6241,82	-44,234	6032,25	-181,95	412,921	-483,356
NK51b mix_6		2546,68	-8,3859	2558,33	-46	659,178	-399,535
NK51b mix_7		3999,81	-23,599	3961,79	-65,952	623,681	-645,089
NK52b_1		40288,4	-2902	35923,9	-5802,1	1330,21	-1543,82
NK52b_2		504409	-245161	84862,3	-156679	1470,53	-1660,98
NK52b_3		25406,4	-1191	21812,5	-2712,7	1178,84	-1209,23
NK52b_4		55740,7	-6941,3	44542	-12293	1501,82	-1705,17
NK52b_5		67036	-6342,4	54694,6	-17161	1465,39	-1599,74
NK52b_6		33996,1	-1549,3	31351	-4044,8	1696,25	-1878,88
NK52b_7		12306,1	-176,66	12037,3	-498,85	1257,08	-1288,49
NK53b mix_1		33495,8	-2251	28011,2	-7957,8	929,095	-748,909
NK53b mix_2		26469	-2238,2	22767,6	-4646,2	1037,39	-875,023
NK53b mix_3		31608,4	-1900,4	27677,9	-6079,7	1046,51	-852,859
NK53b mix_4		21977	-2819,3	18256,9	-3390,1	975,741	-817,647
NK53b mix_5		24771,3	-2295,4	21142,2	-4166,5	1050,18	-848,479
NK53b mix_6		30601	-1605,3	27740,1	-4843,9	1021,19	-892,508
NK53b mix_7		35675,5	-3255,5	30189,6	-6669,5	900,065	-784,906
Měřeno 16.4.2009, vzorky valečku, vzdálenost elektrod 20mm							
NK4_1	9,2,09	338,479	-93,468	208,153	-64,962	94,4283	-35,8719
NK4_2	9,2,09	4100,07	-677,97	3073,47	-546,35	204,138	-443,85
NK10_1	29,1,09	13349,7	-3802	10514,9	-2906,8	2521,63	-1531,43
NK10_2	29,1,09	8819,15	-2000,7	7153,66	-1251,1	2141,67	-1401,72
NK10h_1	6,2,09	81862,7	-22658	63710	-18459	4916,4	-6498,27
NK10h_2	6,2,09	129484	-35191	96605,6	-36273	5670,12	-7954,41
NK13i_1	4,3,09	5126,56	-663,39	4016,4	-788,29	466,798	-512,123
NK13i_2	4,3,09	1924,39	-294,64	1445,49	-339,51	315,047	-150,804
NK13st_1	23,2,09	13051,9	-3056,6	8775,31	-2897,9	1093,89	-821,545

Vzorek	Vyrobeno	f = 100 Hz		f = 1 kHz		f = 1 MHz	
		R	X	R	X	R	X
		[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]
NK13st_2	23,2,09	16871,5	-4884	11251,8	-3929,3	984,382	-828,741
NK13rg_1	23,2,09	12328,2	-3186,7	8874,61	-2631	1110,79	-793,062
NK13rg_2	23,2,09	9822,57	-2434	7114,02	-2040,3	1032,12	-663,349
NK16_1	3,2,09	377,649	-65,618	311,38	-72,07	126,743	-28,4455
NK16_2	3,2,09	274,514	-39,061	230,462	-41,6	106,526	-19,8069
NK17_1	3,2,09	594,451	-169,97	407,108	-148,48	139,074	-47,8819
NK17_2	3,2,09	578,612	-152,31	410,793	-132,98	151,768	-45,114
NK17_1	6,2,09	377,649	-65,618	311,38	-72,07	126,743	-28,4455
NK17_2	6,2,09	16,5204	-0,6063	15,1887	-1,6304	5,88708	0,164564
NK18_1	3,2,09	1022,02	-361,04	991,058	-442,08	193,18	-97,3552
NK18_2	3,2,09	204,936	-68,671	156,404	-65,109	39,294	-7,62983
NK19_1	29,1,09	16,7934	-0,1298	16,5433	-0,3113	13,1913	0,89495
NK19_2	29,1,09	54,9451	-0,796	54,259	-1,831	32,2561	-2,44826
NK19_1	3,2,09	234,386	-41,279	191,836	-41,288	87,4399	-14,3608
NK19_2	3,2,09	224,691	-36,22	183,19	-40,094	80,9348	-13,0412
NK19st_1	24,2,09	59,9926	-2,7218	54,9325	-4,5651	34,2024	-2,23578
NK19st_2	24,2,09	66,8455	-4,2796	59,7953	-6,9041	33,4999	-2,65231
NK19rc_1	24,2,09	298,168	-40,103	274,675	-60,341	102,813	-29,6279
NK19rc_2	24,2,09	79,1312	-4,4796	71,3388	-6,9698	41,8642	-3,70658
NK20_1	28,1,09	3311,27	-375,97	2798,34	-386,58	801,775	-408,54
NK20_2	28,1,09	3808,34	-421,99	3242,4	-433,2	872,954	-480,409
NK31_1	13,2,09	1513,12	-417,79	913,891	-331,52	220,767	-92,624
NK31_2	13,2,09	3101,95	-754,83	1998,64	-608,58	426,174	-313,342
NK32_1	13,2,09	512,102	-52,521	419,861	-68,984	138,715	-42,1139
NK32_2	13,2,09	1021,6	-94,477	864,472	-120,06	281,36	-148,777
NK33_1	13,2,09	751,623	-78,034	613,017	-108,59	179,073	-59,5113
NK33_2	13,2,09	680,278	-70,922	552,942	-99,62	159,574	-51,6813
NK34_1	13,2,09	1561,65	-172,08	1242,2	-261,41	298,317	-118,132
NK34_2	13,2,09	1561,92	-172,1	1242,48	-261,46	298,327	-118,099
NK35_1	18,2,09	3121,91	-723,1	2135,81	-587,64	481,882	-259,331
NK35_2	18,2,09	3584,55	-938,73	2382,5	-724,29	481,449	-274,931
NK36_1	18,2,09	3574,91	-974,43	2356,23	-678,72	468,106	-300,938
NK36_2	18,2,09	2773	-737,66	1820,61	-526,25	478,325	-259,504
NK37_1	18,2,09	1403,12	-79,467	1233,64	-138,24	327,971	-278,943
NK37_2	18,2,09	458,2	-37,062	381,887	-60,67	133,746	-45,2097
NK38_1	18,2,09	3698,42	-751,38	3061	-658,1	1147,87	-511,163
NK38_2	18,2,09	4641,6	-1177,7	3771,67	-953,8	1192,69	-554,278
NK54d_1	28,1,09	3090,79	-504,1	2418,12	-473	679,113	-314,608
NK54d_2	28,1,09	3013,93	-519,66	2344,57	-464,47	654,596	-308,981

Vzorek	Vyrobeno	f = 100 Hz		f = 1 kHz		f = 1 MHz	
		R	X	R	X	R	X
		[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]
NK54dv_1	20,2,09	143,174	-18,266	118,219	-18,211	49,2314	-18,0712
NK54dv_2	20,2,09	6083,56	-604,67	5622,56	-709,4	147,725	-523,242
NK57_1	9,2,09	213,397	-14,864	184,963	-21,118	84,4	-38,6584
NK57_2	9,2,09	145,386	-4,6417	136,039	-7,931	80,9877	-32,1197
NK58_1	9,2,09	22,1554	-1,4051	19,2852	-3,0992	7,31587	0,404821
NK58_2	9,2,09	87,0667	-4,5612	79,0974	-9,3877	35,5201	-5,23476
NK58v_1	20,2,09	51,5352	-2,6211	47,1952	-5,2314	24,8232	-2,61691
NK58v_2	20,2,09	41,5626	-3,0791	36,5512	-5,301	17,4271	-1,63897
NK59_1	9,2,09	12,2762	-0,5048	11,2751	-1,0874	5,27748	0,987163
NK59_2	9,2,09	14,1644	-0,8031	12,4547	-1,6211	6,17105	0,962527
NK59y_1	20,2,09	37,434	-6,2936	29,4651	-7,4101	11,0274	-0,29921
NK59y_2	20,2,09	33,6013	-3,4998	28,1609	-4,7412	11,6798	-0,52378
Měřeno 20.5.2009, vzorky valečku, vzdálenost elektrod 20mm							
NK39_1	17,3,09	83261,3	-26369	35288,7	-14753	4843,55	-6150,62
NK39_2	17,3,09	75524	-23402	52029,7	-15930	4769,83	-5952,85
NK40_1	17,3,09	11398,1	-3114,4	7731,26	-2136,5	1670,26	-1059,02
NK40_2	17,3,09	12720,4	-3650	8420,87	-2567,2	1504,9	-952,738
NK60_1	19,3,09	13954,6	-3935,6	9587,9	-3099,1	956,943	-731,086
NK60_2	19,3,09	13527,6	-4043,8	9313,97	-2963,4	966,099	-710,615
NK61_1	19,3,09	9630,12	-3066,9	6487,74	-2109,7	784,209	-556,288
NK61_2	19,3,09	9151,62	-2564,9	6215,58	-1973,9	815,882	-548,073

Tab. 7: Naměřené hodnoty vzorku kompozitu dlaždic

Měřeno 20.5.2009 vzorky dlaždic							
Vzorek	Vyrobeno	f = 100 Hz		f = 1 kHz		f = 1 MHz	
		R	X	R	X	R	X
		[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]
NK4	9.2.2009	141,982	-25,63	110,886	-14,223	71,9911	-19,9609
NK54 d1	12.2.2009	777,413	-19,4812	742,67	-27,776	560,143	-70,2308
NK54dv_1	20.2.2009	15,4124	-0,43975	14,5599	-0,719	9,5104	1,25538
NK54dv_2	20.2.2009	19,7662	-0,57271	18,6325	-0,9757	11,8108	0,301488
NK57_1	17.4.2009	15,0884	-0,51137	14,0096	-0,8274	9,57992	1,53493
NK57_2	17.4.2009	7,34096	-0,00707	7,32642	-0,0141	6,82253	1,81498
NK57	3.4.2009	151,835	-0,02513	151,779	-0,0969	149,326	-0,245447
NK57	9.2.2009	15,0528	-0,51129	13,9744	-0,828	9,55178	1,11757
NK58	9.2.2009	77,5552	-3,48736	72,7278	-3,1199	20,284	-12,8196
NK58v	20.2.2009	26,6839	-0,31177	26,1355	-0,4791	12,7928	-3,34234

Vzorek	Vyrobena	f = 100 Hz		f = 1 kHz		f = 1 MHz	
		R	X	R	X	R	X
		[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]
NK59		26,4695	-3,71681	21,1028	-5,1041	9,64743	1,44845
NK59v	20.2.2009	14,0496	-0,60623	13,3722	-0,4194	11,1403	2,8837
NKX		249,895	-0,55253	248,848	-1,0237	234,219	-13,4253
Měřeno 19.3.2009, vzorky dlaždic							
NK13		95,78923	-0,68749	94,23473	-1,9255	69,8653	-5,773966
NK54		-203,992	80,01772	264,2413	8,0523	185,705	-31,64777
NKP13		183,017	-0,0917	182,8297	-0,338	172,067	-5,401148
NKP14		444739,4	-189964	266315,2	-91830	18987,9	-31003,49
Měřeno 10.2.2009, vzorky dlaždic							
54d		1699,069	-21,915	1659,716	-34,267	1333,7	-213,4264
54da		1686,246	-17,8038	1654,162	-28,078	1353,94	-238,9871
55d		616,6786	-0,71102	615,2727	-1,6977	587,402	-30,77735
55da		678,6217	-0,61187	677,4023	-1,5058	649,463	-32,9222
56d 2.10.08 A		270,0658	-0,33612	265,1982	-0,9659	105,172	-111,9042
56d 2.10.08 B		295,767	-56,5468	343,4238	246,214	250,478	-5,012781
56d 2.10.08 C		357,3106	-30,1809	350,5566	6,40052	340,069	-8,490464
56d 2.10.08 D		260,343	-0,11427	260,0798	-0,3234	254,801	-11,14114
56d		223,839	-0,05136	223,7179	-0,1949	219,28	-1,715255
56da		218,131	-0,017	218,091	-0,1027	215,09	-1,402603
Měřeno 27.10.2009, vzorky dlaždic							
NK57 Ep	28.8.2009	5,9515	-0,03168	5,88799	-0,0561	5,00959	1,68821
NK57E	28.8.2009	5,80635	-0,00017	5,80198	-0,0013	5,45091	2,39344
NK57_1 E velka	28.8.2009	7,76703	-0,00035	7,76509	0,00141	7,75092	4,37326
NK57_2 E velka	28.8.2009	8,36334	-0,00142	8,35949	-0,0014	8,2539	3,81415
NK57_3 E velka	28.8.2009	9,03706	-0,00125	9,03382	-0,001	8,89055	4,0259
NK57_4 E velka	28.8.2009	6,97871	-5,6E-06	6,97745	0,00169	6,92841	4,27971
NK57_5 E velka	28.8.2009	9,95534	-0,00055	9,95304	-0,0003	9,79589	3,81823