

Možnosti recyklace elektronického odpadu

Possibilities of Electronic Waste Recycling

Ondřej Malaník

Bakalářská práce
2009



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav automatizace a řídicí techniky
akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ondřej MALANÍK**
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Automatické řízení a informatika**

Téma práce: **Možnosti recyklace elektronického odpadu**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s legislativou týkající se nakládání s elektronickými odpady v České republice.
2. Vypracujte literární studii zaměřenou na způsoby recyklace elektronického odpadu.
3. V teoretické části se věnujte možnostem separace desek plošných spojů (DPS), jejich složení s ohledem na následné využití pro přípravu izolačních panelů.
4. Připravte vzorky tepelně a zvukově izolačních panelů ze směsných plastových komponent DPS.
5. Testujte vlastnosti zhotovených vzorků v laboratorních podmínkách.
6. Dosažené výsledky a přínosy zhodnoťte v závěru práce.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. GRUBER V. Chemické metody recyklace elektroodpadu – Ústav chemických procesů AV ČR, Praha
2. MÁČALÍK T. Možnosti recyklace tištěných spojů, Bakalářská práce, UTB ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky, 2007
3. Předpis: 7/2005 Sb. [online]. Dostupný z WWW: http://abonent.lexdata.cz/lexdata/sb_free.nsf
4. PERRY, R., H.; GREEN, D., W. Perry's chemical engineers' handbook. (CD ROM). 7 th ed. New York: McGraw-Hill Book Co. 1999.
5. BOŽEK F., URBAN R., ZEMÁNEK Z. Recyklace — 1. vydání, Moravietisk Vyškov, 2003, 238 str., ISBN 80-238-9919-8

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Dagmar Janáčková, CSc.**
Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce: **27. února 2009**

Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2009**

Ve Zlíně dne 27. února 2009


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan




prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá možnostmi recyklace elektronických odpadů a jejich znovupoužití, výrobou vzorků pro testování tepelných a akustických vlastností. Seznámení se s legislativním rámcem recyklace a zjistit možné způsoby recyklace desek plošných spojů. V práci jsou uvedeny některé způsoby desintegrací a separátorů. V praktické části je popsána výroba vzorků a výsledky jejich testování.

Klíčová slova: Elektronický odpad, desky plošných spojů, desintegrace, recyklace, znovupoužití, separační procesy, tepelné a akustické vlastnosti

ABSTRACT

The bachelor's thesis deals with possibilities of recycling e-waste and its reuse, the making of samples for tests of their thermal and sonic characteristics. Information on legal issues of recycling and trying to find out possible ways of recycling printed circuit boards (PCB). The work mentions some ways of disintegration and types of separators. The practical part describes the production of samples and the results of the tests.

Keywords: e-waste, printed circuit boards, disintegration, recycling, reuse, separation processes, thermal and sonic characteristics

Děkuji vedoucí své bakalářské práce paní doc. Ing. Dagmar Janáčkové, CSc. za trpělivost, odborné rady a připomínky a všem, kteří se mnou měli trpělivost a poskytli mi cenné rady a zázemí k realizaci mé práce.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....
Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	7
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 SMĚRNICE A VYHLÁŠKY PRO ZPRACOVÁNÍ OEEZ	10
1.1 LEGISLATIVA V EU	10
1.1.1 Směrnice o odpadních elektrických a elektronických zařízeních OEEZ.....	10
1.1.2 Nařízení směrnice OEEZ	10
1.1.3 Situace v EU.....	12
1.1.4 Evropská síť podniků recyklace elektroodpadu	12
1.2 LEGISLATIVA V ČR	13
1.2.1 Zákon 185/2001 Sb. a předpis č. 7/2005 Sb.....	14
2 ZPŮSOBY RECYKLACE ELEKTRONICKÉHO ODPADU	17
2.1 ZÁKLADNÍ MATERIÁLY PRO VÝROBU ELEKTRONICKÉHO ODPADU	18
2.2 METODY DESINTEGRACE KOVU Z ELEKTRONICKÉHO ODPADU	19
2.3 ZPŮSOBY DESINTEGRACE PLASTŮ Z ELEKTRONICKÉHO ODPADU	20
2.3.1 Některé druhy separačních metod a separátorů	21
3 DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ	25
3.1 ZÁKLADNÍ MATERIÁLY PRO VÝROBU DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ	25
3.2 VÝROBA FR-4	26
3.3 DRUHY DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ	27
4 VLASTNOSTI DPS - TEPELNÁ VODIVOST A ŠÍŘENÍ ZVUKU	29
II PRAKTICKÁ ČÁST	30
5 TESTOVÁNÍ VZORKŮ	31
5.1 VÝROBA VZORKŮ	31
5.1.1 Vzorek z hrubší drti.....	32
5.1.2 Vzorek z práškové směsi.....	32
5.2 TESTOVÁNÍ VZORKŮ NA TEPELNOU VODIVOST	33
5.2.1 Tepelná vodivost vzorku z práškové směsi.....	37
5.2.2 Tepelná vodivost vzorku z hrubší drti.....	38
5.3 TESTOVÁNÍ VZORKŮ NA VLASTNOSTI ŠÍŘENÍ ZVUKU	40
5.3.1 Měření absorpce zvuku vzorku z práškové směsi.....	43
5.3.2 Měření zvukových vlastností vzorku z hrubé drti.....	45
ZÁVĚR	49
ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ	50
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	51
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	53
SEZNAM OBRÁZKŮ	54
SEZNAM TABULEK	55

ÚVOD

Každý z nás si jistě pořizuje stále novější a o to dokonalejší elektronické výrobky, které nám usnadňují a zlepšují život. Trendem vždy bylo vlastnit stále technicky vyspělejší prostředky pro každodenní využití, jako jsou například mobilní telefony, počítače, televize a spousta dalších. Trh je těmito výrobky, řekl bych až přesycen a my jako spotřebitelé máme obrovský výběr z celé škály těchto výrobků od různých známých i neznámých výrobců.

S technickým pokrokem ale jde ruku v ruce i problém s uskladněním nefunkčních nebo již zastaralých a o to méně potřebných elektronických výrobků. Ty byly donedávna ukládány na skládkách. Dnes jsou již recyklovány ve specializovaných firmách, které dokážou najít pro produkty recyklace nové využití.

Druhů elektronického odpadu je velká řada. Nejsou to jen již zmiňované výrobky denní potřeby, ale například i baterie, také vyřazené stavební kabelové sítě a jiné. Při recyklačním procesu je snaha o zpracování odpadů a jejich znovu využití. Čím méně je v odpadu rozdílných druhů materiálu, tím je postup recyklace daleko jednodušší. Proto je nutné elektronický odpad třídit a pro jednotlivé skupiny elektrošrotu zvolit vhodný způsob zpracování. Desky plošných spojů (DPS) jsou obsaženy v každém elektronickém zařízení. Pro představu, u televizorů tvoří 5 až 6 % z celkové hmotnosti. U více složitých zařízení typu PC nebo PLC je pak toto procento daleko vyšší.

Desky plošných spojů obsahují spoustu obecných i barevných kovů, jako například Fe, Al, Pb, Cu, Au a jiné. Jsou to bez pochyby suroviny, jejich zásoby se nezadržitelně snižují. Recyklací DPS můžeme tyto suroviny získávat daleko jednoduššími způsoby než je tomu u těžby či samotného zpracování. Recyklační proces je samozřejmě jak finančně tak i technologicky náročný. Avšak ve srovnání s již zmiňovanou těžbou je nejen šetrnější k životnímu prostředí, ale i levnější. Elektronický odpad se tak stává lukrativní záležitostí i z pohledu finančního a pro spousta firem je tak jakýmsi druhem kapitálu, kterého je a bude, stále dostatečné množství.

Dříve se elektronický odpad skladoval na skládkách, to však sebou přinášelo řadu rizik s kontaminací spodních vod a půdy těžkými kovy. Proto je potřeba na elektronický odpad nahlížet jako na nebezpečný. Společnosti zabývající se problematikou recyklace jsou s těmito riziky seznámeny a zajišťují taková opatření, aby ke kontaminaci nedocházelo. U vyspělé společnosti začíná zodpovědnost již u spotřebitele, který přispívá

do procesu recyklace tím, že takový elektronický odpad třídí a nevyhazuje jej do běžného komunálního odpadu.

Velké procento z elektronického odpadu tvoří právě desky plošných spojů. Dá se říci, že nejběžnějším elektrickým odpadem, který vyhazujeme, jsou spotřebiče a výrobky, které ony desky plošných spojů obsahují. Problematikou jejich recyklace se zabývá řada odborníků a specializovaných firem a jejich úspěchy jsou nemalé a cenné suroviny, které bez pochyby desky plošných spojů obsahují, se nám daří již z nepotřebných produktů znovu využít. Proto je potřeba toto téma nepřehlížet a aktivně, byť i pouhým tříděním, se na recyklaci podílet.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 SMĚRNICE A VYHLÁŠKY PRO ZPRACOVÁNÍ OEEZ

V roce 2004 se naše Česká republika stala členem Evropské Unie, čímž naše republika získala spoustu výhod, ale taky se zavázala k plnění směrnic a vyhlášek, které jsou společné pro všechny členy této federace.

1.1 Legislativa v EU

Dříve nebyl elektronický odpad považován za potenciálně nebezpečný. Dnes je tomu však jinak. Během posledních několika let byla pravidla nakládání s odpadem zpřísněna. Výrobci mají nyní větší zodpovědnost za své výrobky i po tom co doslouží. To znamená, že jejich odpovědnost za tyto výrobky jejich prodejem nekončí.

1.1.1 Směrnice o odpadních elektrických a elektronických zařízeních OEEZ

Směrnice 2002/96/ES o odpadních elektrických a elektronických zařízeních (dále jen OEEZ) již byla přijata v mnoha zemích Evropské Unie (dále jen EU), tedy i v ČR. Pro výrobce tak vyplývá povinnost zajistit nejen kvalitní a účelnou recyklaci odebraných zařízení, ale taky zajištění jejich odběru. Pro jednotlivé členské státy EU byly stanoveny stejné podmínky, přičemž každý stát dostal volnost směrnici přizpůsobit svému vnitrostátnímu právu, kvůli rozdílné počáteční situaci v jednotlivých členských státech. To má však za následek velkou rozmanitost v oblasti zacházení s elektronickým odpadem v různých zemích.[1]

1.1.2 Nařízení směrnice OEEZ

Dne 23. ledna 2003 přijal Evropský parlament společně s radou EU směrnici 2002/96/ES o OEEZ z důvodů stále rostoucího množství OEEZ. Je to v řadě již 3. směrnice přijatá Evropským parlamentem s účelem povinného odděleného sběru, opětovného využití a recyklace. Cílem je eliminace vzniku OEEZ, zvýšení opětovného použití a recyklace se snížením množství odpadu. Dále byla přijata směrnice 2002/95/ES o omezení používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních.

Směrnice 2002/96/ES o OEEZ byla rozdělena do deseti kategorií:

1. Velké domácí spotřebiče
2. Malé domácí spotřebiče
3. Zařízení informačních technologií a telekomunikačních zařízení
4. Spotřebitelská zařízení
5. Osvětlovací zařízení
6. Elektrické a elektronické nástroje (s výjimkou velkých stacionárních průmyslových nástrojů)
7. Hračky, vybavení pro volný čas a sporty
8. Lékařské přístroje (s výjimkou všech implantovaných a infikovaných výrobků)
9. Přístroje pro monitorování a kontrolu
10. Automaty

	Kategorie OEEZ	Využití [%]	Opětovné použití a recyklace [%]
1	Velké domácí spotřebiče	80	75
2	Malé domácí spotřebiče	70	50
3	Zařízení informačních technologií a telekomunikačních zařízení	75	65
4	Spotřebitelská zařízení	75	65
5	Osvětlovací zařízení	70	50
6	Elektrické a elektronické nástroje (s výjimkou velkých stacionárních průmyslových nástrojů)	70	50
7	Hračky, vybavení pro volný čas a sporty	70	50
8	Lékařské přístroje (s výjimkou všech implantovaných a infikovaných výrobků)	neuveďeno	neuveďeno
9	Přístroje pro monitorování a kontrolu	70	50
10	Automaty	80	76
	Plynové výbojky	neuveďeno	80

Tabulka 1 - Cíle využití, opětovného použití a recyklace v jednotlivých kategoriích[7]

1.1.3 Situace v EU

Přizpůsobení směrnic v zemích EU je mnohdy obtížná. Ve Velké Británii se podniky, zabývající se recyklací, již řadu let snaží o úspěšné začlenění směrnic, ale i tak stále dochází k uskladňování elektronických zařízení na skládkách. To by se však mělo změnit novou právní úpravou. I přes to jsou podniky, které financují moderní recyklační zařízení, avšak s malou výtěžností ze starých elektronických zařízení.

Irsko se do recyklačního procesu elektronického odpadu zapojilo teprve nedávno. I tak v polovině 90. let existovalo několik podniků zabývajících se recyklací desek plošných spojů s úspěšnými výsledky. Své úsilí začátkem roku 2006 rozšířili i o zpracování použitých zařízení vybudováním plně automatizovaného zařízení pro zpracování elektrošrotu se sídlem v Dublinu. Irsko se tak stalo vlastníkem jednoho z nejmodernějších zařízení v Evropě a díky rychlému přizpůsobení se evropským směrnicím i kvalitním zpracovatelem velkého množství elektrošrotu.

V kontinentálních zemích se často věnuje málo pozornosti při recyklaci celých elektronických přístrojů a spíše se investuje do odstraňování a využívání zařízení a nahlíží se na elektroodpad jako druh materiálu.

Cílem evropské směrnice je vyvolat odpovědnost při zpracování elektrických a elektronických zařízení a založit individuální přístup výrobců k této problematice.[3]

1.1.4 Evropská síť podniků recyklace elektroodpadu

Síť z názvem Recycling Network Europe (dále jen RENE) byla založena za účelem shromažďovat a spojovat malé a střední podniky s cílem využití a shromažďování zkušeností v oblasti recyklace elektroodpadu. V současnosti se síť skládá z 32 středních podniků 17 zemí EU s kapacitou zpracování přes 800 000 t ročně. Síť RENE nezajišťuje pouze sběr, logistiku a recyklaci elektroodpadů, ale i zpětný prodej recyklovaných výrobků se zajištěním kvality. Díky dodržování vnitřních norem a certifikací se organizace RENE stala jedním z nejúspěšnějších poskytovatelů služeb v oblasti zpracování elektroodpadu. Díky různým pohledům na recyklaci ze stran členů EU bylo možno najít kompromis a recyklaci elektrošrotu přizpůsobit na přijatelnou úroveň pro každého člena sítě RENE.

Aby kvalita a úroveň zpracování byla u všech členů stejná, vytvořila RENE s Bavorským institutem aplikovaného výzkumu životního prostředí a environmentální

techniky (BifA) chartu kvality. Jejíž prvotní podmínkou byla nutnost certifikace podle DIN ISO 14001.

Charta zahrnuje nejen speciální ustanovení pro procesy recyklace a řízení toku látek, ale i zásady pro ochranu životního prostředí a ochranu a bezpečnost při práci. Na dodržování těchto kritérií dohlíží již zmiňovaná nezávislá instituce Bifa prostřednictvím auditů. Četnost těchto auditů bývá zpravidla 1 ročně. [3]

1.2 Legislativa v ČR

Směrnice 2002/96/ES o OEEZ a 2002/95/ES o omezení používání některých nebezpečných látek v elektronických zařízeních byla přijata všemi členy EU tedy i ČR.

Tato směrnice byla přizpůsobena legislativě ČR v zákoně 185/2001 Sb., o odpadech.[1]

Látka	Výskyt v elektroodpadu
Halogenové směsi:	
PCB (polychlorované bifenyly)	Kondenzátory, transformátory
TBBA (tetrabromobisfenol)	Je nyní nejpoužívanější samozhášecí přísada v tištěných plošných spojích
PBB (polybromované bifenyly)	Zpomalovač hoření pro plasty (termoplasty, kabelová izolace)
PBDE (polybromované difenylétery)	
Freon - Chlorofluorocarbon (CFC)	Chladicí jednotka, izolační pěna
PVC (polyvinyl chlorid)	Kabelová izolace
Těžké a ostatní kovy:	
Arzen	Polovodičové součástky - diody
Baryum	V obrazovkách (CRT)
Berylium	Napájecí zařízení
Kadmium	Dobíjecí NiCd-baterie, fluorescenční vrstva (CRT obrazovky), tiskárnové inkousty a toner, kopírky (tiskárnové bubny)
Šestimocný chrom	Datové pásky (kazety), diskety
Olovo	CRT obrazovky, baterie, tištěné plošné spoje
Lithium	Li-baterie
Rtuť	Fluorescenční světla, která poskytuje prosvětlení v LCD, v některých alkalických bateriích, rtuťové spínače, jističe
Nikl	Dobíjecí NiCd-baterie nebo NiMH-baterie, elektronová tryska v CRT
Kovy alkalických zemin (Yttrium, Europium)	Fluorescenční vrstva (CRT obrazovka)
Selen	Starší kopírky (fotografické bubny)
Sulfid zinečnatý (ZnS)	Vnitřek CRT stěn, smíšený s kovy vzácných zemin
Radioaktivní látky:	
Americium	Lékařské vybavení, hlásiče požáru, aktivní čidlo v hlásičích požáru
Ostatní:	
Tonerový prach	Tonerové náplně pro laserové tiskárny / kopírovací stroje

Tabulka 2 - Obsah toxických látek v elektroodpadu[2]

1.2.1 Zákon 185/2001 Sb. a předpis č. 7/2005 Sb.

Zákon o elektrických a elektronických zařízeních stanovuje povinnosti výrobců a zpracovatelů elektroodpadu a upřesňuje pojmy související s elektrozařízením.

Povinnosti výrobce

Výrobce je na základě nařízení povinen zajistit oddělený sběr, zpětný odběr, zpracování, využití a odstranění elektrozařízení a elektroodpadu. A to vše na vlastní náklady či společně s jinými výrobci zajistit plnění těchto požadavků pověřením jiné právnické osoby, která bude s elektroodpadem nakládat podle státem stanovených norem a nařízení.

Zároveň je výrobce povinen zpracovávat roční zprávu o stavu plnění povinností týkající se odpadu a provést zápis do Seznamu výrobců elektrozařízení. Tento zápis musí obsahovat charakteristické údaje obchodní firmy nebo jednotlivce, druh a popis elektrozařízení, jakým způsobem bude plnit povinnosti stanovené zákonem o elektroodpadu a také způsob financování podle § 37n a 37o a doklady o něm.

Tímto nařízením vznikly výrobcům značné problémy nejen se zpětným odběrem a následným zpracováním, ale i se samotnou výrobou elektrozařízení a jeho distribucí. Na výrobce tak přešla povinnost, která prodejem jejich produktů nekončí. Samozřejmostí jsou pak nemalé finanční investice těchto výrobců, kteří kompenzují tento finanční deficit zavedením recyklačních poplatků.

Poplatek v Kč bez DPH	Poplatek v Kč s DPH	Externí třída (dočasné dle př. 7 7/2005 sb.)	Popis kategorie
0	0	0-0	Nezařazeno - položky bez poplatku (zařízení pod 100g, neelektrické, příslušenství atd.)
109,24	130	1.I	Velké domácí spotřebiče (pračky, sušičky, myčky nádobí, pečící zařízení, elektrické sporáky, elektrické plotny mimo sklokeramiku, ostatní velká zařízení používaná k vaření a jinému zpracování potravin, topení a ohřev vody nad 30kg, klimatizace, ostatní velké domácí spotřebiče v jiné podskupině neuvedené
352,94	420	1.II	Chlazení (velké chladicí zařízení, chladničky, kombinace chladničky a mrazničky, mrazničky, ostatní velká zařízení používaná pro chlazení, uchovávání a skladování potravin)

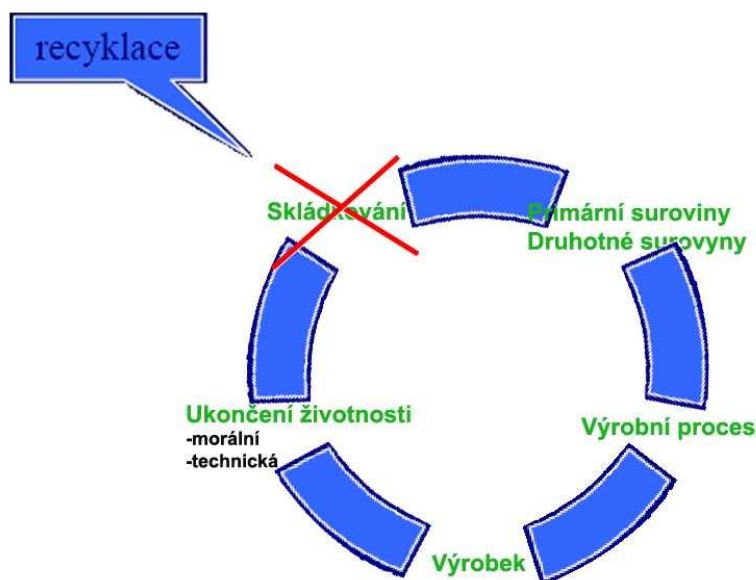
Poplatek v Kč bez DPH	Poplatek v Kč s DPH	Externí třída (dočasné dle př. 7 7/2005 sb.)	Popis kategorie
29,41	35	1.III	Vysavače (vysavače, čisticí stroje na koberce, ostatní zařízení pro čištění, mimo AKU), mikrovlnné trouby, odsavače, sklokeramické desky, topení a ohřev vody od 10kg do 30kg
8,4	10	2.I	Malé domácí spotřebiče (žehličky, mandlování, topinkovače, fritovací hrnce, mlýnky, kávovary, el. otvíráky, elektrické nože, spotřebiče pro stříhání vlasů, sušení vlasů, čištění zubů, holení, masáže, péči o tělo, hodiny, budíky, měření, čas, váhy, ventilátory, vařiče elektrické malé, AKU vysavače, topení a ohřev vody do 10kg
3,36	4	3.I	Mobilní telefony a příslušenství, telefonní přístroje, bezdrátové telefony, vysílačky, kapesní a stolní kalkulačky, myši, PC komponenty (harddisky, optické mechaniky, disketové jednotky, základní desky, grafické karty, procesory, paměti, modemy, faxmodemy, řadiče, síťové prvky apod.)
8,4	10	3.II	Klávesnice, elektronické diáře, telefonní záznamníky
29,41	35	3.III	PC základní jednotky, faxy, dálnopisy
50,42	60	3.IV	Monitory do úhlopříčky 21“, notebooky, laptopy, tiskárny nebo kopírky nebo skenery nebo multifunkční zařízení do hmotnosti 20 kg, elektrické psací stroje, telefonní ústředny
84,03	100	3.V	Tiskárny nebo kopírky nebo skenery nebo multifunkční zařízení do hmotnosti od 20 do 50 kg
168,07	200	3.VI	Monitory s úhlopříčkou nad 21“, tiskárny nebo kopírky nebo skenery nebo multifunkční zařízení o hmotnosti nad 50 kg, servery nebo mainframy nebo jiné počítače nad 50 kg
3,36	4	4.I	Analogové fotoaparáty, sluchátka, dálkové ovladače, mikrofony, komponenty zabezpečovacích systémů (čidla, ústředny apod.)
8,4	10	4.II	Discmany, walkmany, MP3 přehrávače, jiné osobní přehrávače, digitální fotoaparáty, radiobudíky, baby sitters (el. chůvy), sady autoreproduktorů
25,21	30	4.III	Videokamery, autorádia, navigační systémy, GPS, přenosné radiomagnetofony, sady reproduktorů
50,42	60	4.IV	Televize do úhlopříčky 21“ (55 cm) včetně, DVD, video přehrávače a rekordéry, mikro/mini/midi věže, hifi komponenty (zesilovače, receivery, tunery), SAT a DVBT přijímače, dataprojektory, elektrické a elektronické hudební nástroje

Poplatek v Kč bez DPH	Poplatek v Kč s DPH	Externí třída (dočasné dle př. 7 7/2005 sb.)	Popis kategorie
84,03	100	4.V	Domácí kina (DVD mechanika, tuner a zesilovač vše integrované v jeden celek + sada reproduktorů, bez TV)
168,07	200	4.VI	Televize s úhlopříčkou nad 21“
8	9,52	5.I	Světelné zdroje - podskupina 5.2., 5.3., 5.4., 5.5. = zářivky lineární a kompaktní, výbojky nízkotlaké/vysokotlaké (sodíkové/halogenové), určené pro instalaci mimo domácnosti 8,-Kč/ks (+ 19% DPH)
35	41,65	5.II	Svítidla - podskupina 5.1., 5.6 = interiérová/exteriérová svítidla pro zářivky, výbojky určené pro instalaci mimo domácnosti 35,-Kč/ks (+ 19% DPH)
8,4	10	6.I	Veškeré elektrické nářadí a nástroje, ruční elektrické nářadí, zahradní technika a čerpací technika (mimo velké průmyslové stacionární stroje)

Tabulka 3 – Aktuální tabulka s výší recyklačních poplatků[4]

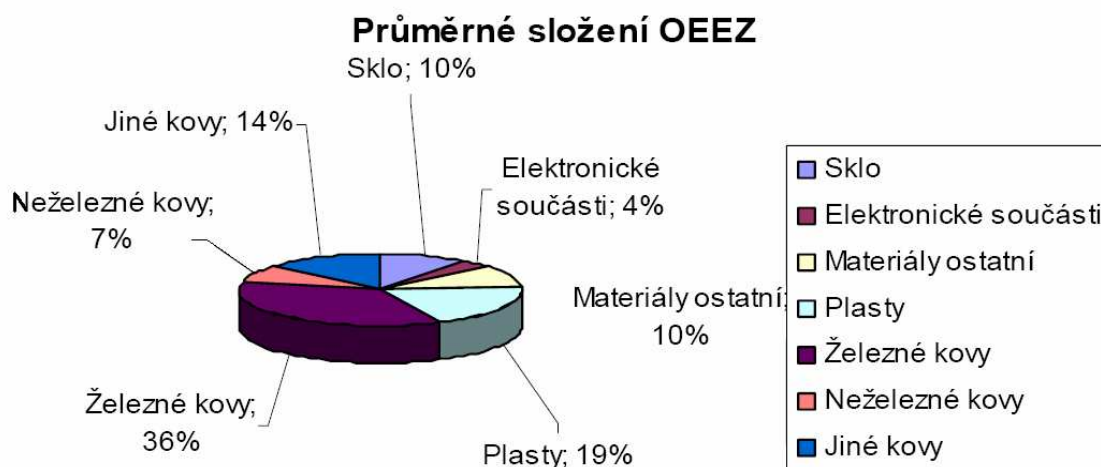
2 ZPŮSOBY RECYKLACE ELEKTRONICKÉHO ODPADU

Desky plošných spojů prošly značným technickým vývojem. S vynalézáním stále novějších a důmyslnějších systémů bylo pochopitelné měnit i technologie výroby a mimo jiné i druhy použitých výrobních materiálů. Elektronický odpad se jako celek skládá z mnoha částí a druhů materiálu. Proto je separace jako taková náročný a zdlouhavý proces. V neposlední řadě se také musí počítat i se stářím a druhem použitého materiálu. To znamená třídění, rozdělování a řadu dalších problémů. Nikoliv však neřešitelných.



Obrázek 1 – Cyklus elektroodpadu[6]

2.1 Základní materiály pro výrobu elektronického odpadu



Obrázek 2 - Průměrné složení OEEZ[6]

Prvek	Použití	Obsah [%]
měď	vodivé cesty, dráty, chladiče	10 ÷ 25
železo	konstrukční a spojovací části	5 ÷ 10
olovo	složka pájky, kondenzátory	1 ÷ 5
nikl	akumulátory	1 ÷ 3
hliník	konstrukční části, chladiče	2
cín	složka pájky, kondenzátory	0,8 ÷ 4
zinek	fluorescenční materiály	0,3 ÷ 0,4
antimon	složka pájky, kondenzátory	0,1
stříbro	elektrické kontakty, konektory	0,05 ÷ 0,3
zlato	elektrické kontakty, konektory	0,01 ÷ 0,1
platina	elektrické kontakty, konektory	0,004
palladium	náhrada Au, kontakty, relé	0,004 ÷ 0,03
kadmium, titan, rtuť	akumulátory, baterie, spínače, relé	4 ÷ 10

Tabulka 4- Obsah kovu v deskách plošných spojů[2]

2.2 Metody desintegrace kovu z elektronického odpadu

Jak již bylo řečeno, elektroodpad je složen z mnoha rozdílných materiálů. Snaha je mimo jiné vytěžit co nejvíce drahých kovů a opět je využít ve výrobě. Existuje několik chemických procesů pro jejich oddělení. Nejčastější jsou tzv. pyrometalurgické procesy, při kterých dochází k vytěsnění kovů ze sloučeniny jiným kovem o větší afinitě.

Extrakce drahých kovů v tavenině olova

Jedná se o druh separace, při které se do rozžhaveného olova přenáší většina drahých kovů. Plasty vyhoří, železo a část barevných kovů jsou vyplaveny na povrchu, odkud je možno je separovat. Zbývá tavenina olova se prohání vzduchem. Vzduch způsobí oxidaci většiny olova a obecných kovů a ty se následně odstraní v podobě strusky. Část olova obohacená o vzácné kovy projde rafinací.

Nevýhodou je však poměrně nešetrný přístup k životnímu prostředí vlivem spalin z vyhořelých plastů a odpadem s obsahem těžkých kovů v podobě strusky.

Kyanidové loužení – separace zlata

Jedním z nejvíce žádaným kovem obsaženým v elektroodpadu je bezpochyby zlato. Procesem separace použitím zředěného roztoku alkalických kyanidů lze s velkou účinností izolovat zlato bez dotčení ostatních vzácných kovů (tyto zbylé kovy se pak dají snadno rafinovat). Podmínkou je však, že zlato musí být obnaženo a kyanidový roztok se musí přímo stýkat s povrchem.

Tento druh izolace zlata je velice účinný a jedná se takřka o 100% výtěžnost. Kyanidový luh je však vysoce toxický a neopatrná manipulace s ním může způsobit nemalé problémy.

Separace paladia

Jelikož by bylo značně nevýhodné na některé výrobky použít kontakty ze zlata, tak jako účinná náhražka slouží paladium. To se mimo jiné používá i jako nejiskřící kontakty v elektrozařízení nebo v deskových keramických kondenzátorech. Paládium lze s velkou účinností získat sulfáto-nitrátovou cestou. Roztok se pak dá po denitraci snadno redukovat formaldehydem a vytěžit paladium.

Permanentní magnety

V elektrozařízeních (např. harddisk, reproduktor, a jiné) jsou obsaženy buď permanentní magnety nebo materiály s vysokou magnetickou susceptibilitou (Sm, CO₅, Nd, B, Fe). Tyto materiály se izolují především proto, že jejich přítomnost zhoršuje kvalitu železné složky šrotu a způsobují také jiskřivost a pyroforičnost, která je u slitin nežádoucí. K odstranění těchto materiálů je většinou postačující kvalitní mechanická demontáž. Jednoduchým chemickým procesem je pak možno cenné složky (Co, Sm, Nd) z materiálu vytěsnit a dále je recyklovat.

Elektrolýza

Elektrolytický proces je pro získávání drahých kovů z elektrozařízení méně vhodný a k přepracovávání elektroodpadu se téměř nevyužívá. Vznikne roztok jako odpad s velkým obsahem kovů, což je jak ekologicky tak ekonomicky nevýhodné. Elektrolytický proces se však někdy používá, pokud je po procesu recyklace získána frakce barevných kovů. Výtěžnost materiálů je však touto metodou zanedbatelná.

Recyklace luminoforů

Při recyklaci televizí a PC obrazovek vzniká velký problém s odstraněním luminiscenční vrstvy uvnitř obrazovek. Luminofor jako takový je velice toxický a obsahuje řadu těžkých kovů. Znovu využití skla je tak nemožné z důvodu změny optických vlastností. Obrazové sklo je čištěno buď suchou nebo mokrou cestou. Při těchto procesech však vzniká kal a prach luminoforu, který je považován za toxický odpad a je dále nepřepřacováván. Obsahuje však přes 10% yttria a 2-3% europia, jejichž cena za kg se pohybuje řádově v desetitisících.[12]

2.3 Způsoby desintegrace plastů z elektronického odpadu

Plast lze z elektronického odpadu získávat daleko jednoduššími způsoby, než je tomu u kovu. Proto je jeho separace z elektronického odpadu jednodušší a méně náročná.

Základem desintegrace plastu z elektronického odpadu je získat materiál v takovém stavu, aby se dalo s takto upraveným odpadem lépe pracovat. Zpracování spočívá především ve zmenšení objemu, granulaci na zrna o velikosti 4 - 6 mm a oddělení všech kovů od směsi. Dalším důležitým prvkem ve zpracování plastů je jejich vytřídění podle jednotlivých druhů

a barev. Z technologického hlediska je efektivnější granuláty pojit pojivem nebo zalisováním za tepla do formy a získat tak další produkt na znovu využití.[10]

Fáze desintegrace

1. Ruční demontáž

Elektronický odpad je demontován a zbavován nebezpečných částí jako jsou například baterie, kondenzátory, součástky s obsahem rtuti, piny, plošné spoje a mnoho jiných. Demontují se taky více objemné části zařízení, jako jsou motory nebo velké železné či hliníkové části, které jsou především součástí konstrukce.

2. Hrubé zpracování

Při hrubém zpracování se očištěný odpad drtí ve speciálních drtičích. Získaná drť se po té opětovně ručně přebírá od viditelných nebezpečných částí.

3. Konečné zpracování

Ve třetí fázi se drť dále upravuje na potřebnou zrnitost dalším drcením a následnou granulací. Prostřednictvím sít s rozdílnou hrubostí se granulát roztřídí. Pozůstatky kovových magnetických částí jsou zachycovány magnetem.

Získaný granulát je následně dále zpracováván v separátorech, které dokážou oddělit části kovů od plastů. V závislosti na použité technologii separace, je pak výstupní produkt s různým obsahem kovu v granulátu. V separátorech tak získáme směs železných kovů, plastů a koncentráty mědi a hliníku.[2]

2.3.1 Některé druhy separačních metod a separátorů

Problematikou recyklace elektronického odpadu se začalo zabývat poměrně nedávno. Máme tak k dispozici velkou škálu moderní techniky, která nám výrazně ulehčí jinak zdlouhavou a náročnou práci. Separace plastů z DPS je tak pro nás výrazně zjednodušena. Jak již bylo výše uvedeno, výstupním produktem těchto separátorů jsou směsi kovů, plastů a koncentráty mědi a hliníku. Takto připravené suroviny se pak mohou lehce rafinovat.

Fluidní separace

Principem fluidního separátoru je kmitavý pohyb na ploše tvaru pravoúhlého trojúhelníku a současně profukování proudem vzduchu. Jemnější a tudíž lehčí částice jsou proudem vzduchu nadlehčovány a společně s kmitavým pohybem rozděleny na specifické složky dle hmotnosti. Takto rozdělené částice vystupují z třídící plochy výstupními hubicemi.[8]



Obrázek 3 - Příklad linky fluidní separace, AQUATEST a.s.[8].

Magnetická separace

Magnetické a elektromagnetické separace se využívá především při recyklaci obrazovek. Magnetickou separací se oddělí části z Fe od skleněných střepů a plastové drti. Při drcení obrazovek vzniká luminoformní prach, který je odsáván do samostatného filtru. V dalším procesu separace se pak nebude jednat o nebezpečný druh odpadu. Elektrodynamický separátor pak od drtě oddělí zbylé barevné kovy.[9]



Obrázek 4 - Příklad elektrodynamického separátoru, AQUATEST a.s.[9]

Suchá, mokrá gravitační separace

Separace se provádí buď na suchém nebo mokrém gravitačním splavu. Před drcený materiál se drtí v drtiči 2. stupně jehož výstupem jsou částice o velikosti 4 mm. Základem zpracování polymetalických materiálů je pomalé drcení (kvůli zabránění tvorby prachu a následné odprášení před separací platu a kovu). Výsledný produkt gravitačního splavu je pak velice cennou surovinou. [10]



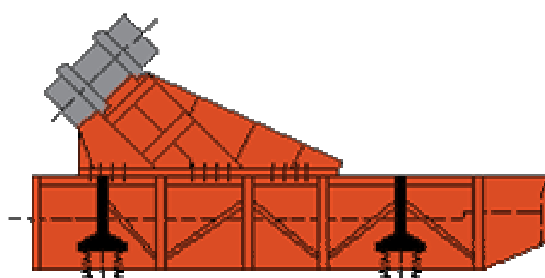
Obrázek 5- Příklad linky gravitačního splavu, Vitaro s.r.o.[10]

Některé druhy třídičů

K separaci desek plošných spojů je potřeba suroviny také třídit. K tomu slouží tzv. třídiče. Nejběžněji používané jsou třídiče vibrační a pneumatické.

Vibrační třídič

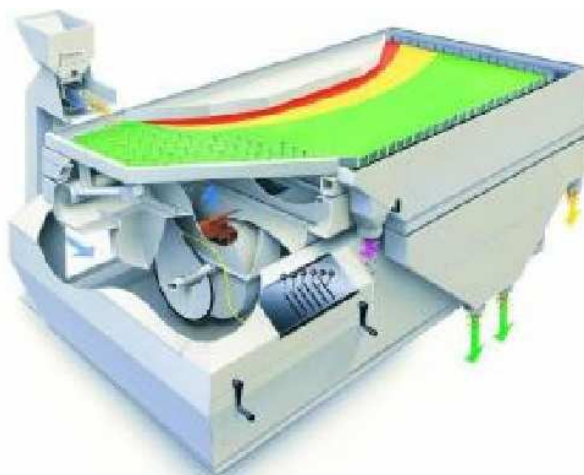
Jsou určeny k třídění sypkých a kusových materiálů. Můžou být také využívány k rozdělení drti na více frakcí. Jsou vybaveny jednou nebo více sít'ovými plochami. Ty jsou jak drátěné, gumové, štěrbinové (odvodňování), polyuretanové (abrazivní materiály). Jsou vyráběny jak s vibračním eliptickým tak s přímočarým pohybem.[11]



Obrázek 6 - Příklad vibračního univerzálního třídiče[11]

Pneumatické třídiče

Pneumatické třídící stoly se používají pro třídění stejně velkého zrnitého materiálu s rozdílnou specifickou hmotností. Tříděný materiál se pohybuje vějířovitě a chová se jako kapalina. Těžké zrna klesají, lehčí zrna stoupají. Pneumatický stůl lze naklánět podle potřeby buď to podélně nebo příčně. Existují rotační, kaskádové pneumatické třídiče.[13]



Obrázek 7 - Příklad pneumatického třídícího stolu, Cimbria s.r.o.[13]

3 DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ

Desky plošných spojů patří k jedné z nejvyužívanějších součástí při výrobě elektronických výrobků. Dá se říci, že vše co má baterie obsahuje plošný spoj. V dnešní době na nás i hračky pro malé děti mluví a vypráví pohádky. Avšak s plošnými spoji se nesetkáváme jen v podobě mluvících plyšáků, ale i v řadě dalších užitečnějších a prospěšných zařízení, bez kterých bychom si dnešní život nedokázali představit. Desky plošných spojů se dělí do tří skupin z hlediska uspořádání vodičů na jednostranné, oboustranné a vícevrstvé.

3.1 Základní materiály pro výrobu desek plošných spojů

Materiálů desek plošných spojů je celá řada. Liší se jak svými tepelnými či izolačními vlastnostmi, tak hlavně požadavky výrobce. Jedním ze stěžejních požadavků je samozhášivost (tzn., deska se nesmí vznítit, pokud dojde k překročení přípustného napětí a tím přepálení spoje). Dále musí být deska schopna vydržet vysoký rozsah frekvenčních vln bez poškození. Podle maximální přípustné frekvence se používají příslušné materiály pro výrobu.

Z hlediska pájení spojů musí také desky mít takovou teplotní roztažnost, aby nedocházelo k odtržení těchto spojů. Při pájení vzniká vysoká teplota, a proto je důležité, aby materiál měl nízkou teplotní roztažnost.

Při špatné volbě materiálu je riziko odtržení a poškození spoje.

Jako základní materiál se považuje epoxidová pryskyřice, PTFE (polytetrafluoretylen – teflon), fenolický papír, polyimid.

Použité materiály jsou ve většině případů zařazeny do normy amerického sdružení výrobců - American National Electrical Manufacturers Association (NEMA), pro kterou je typické označení FR (Flame Resist – tepelná odolnost).

FR - 2

Zde patří fenolický papír, který je výhodný svou nízkou pořizovací cenou. Jeho využití je však omezené a nevhodné pro náročnější požadavky výrobce. Stále se však používá.

Dále jsou to polyimidy, které jsou sice dražší, ale za to kvalitnější. Vyztužují se skleněnými vlákny a průchozí otvory jsou pokovovány. Výhodou je rozměrová stálost.

FR – 3

Do kategorie FR-3 patří epoxidová pryskyřice, která se vyztužuje papírem. Její využití je omezené.

FR – 4 a FR – 5

Ve výrobě se používají spíše epoxidové pryskyřice vyztužené skleněným vláknem. Je to optimální materiál z hlediska ceny a kvality. Proto má FR-4 jedno z největších zastoupení jako materiál pro výrobu DPS.

FR-5 je dražší, ale má vyšší tepelnou odolnost.

3.2 Výroba FR-4

Jak bylo výše uvedeno, jde o druh epoxidové pryskyřice, která je vyztužena skleněným vláknem. Přesněji se jedná o spřádanou sklotextilii.

Postup výroby je takový, že jsou skleněná vlákna stáčena do svazků nití. Z nití se pak spřádá textilie. Hustota bývá zpravidla 17 nití ve směru textilie a 13 nití kolmo na směr textilie.

Tímto způsobem vyrobený polotovár se impregnuje epoxidem tak, že se pryskyřice rozpuštěná v rozpouštědle vsákne do textilie. Takto impregnovaný materiál se nazývá prepreg. Po vytvrdnutí pryskyřice získáme výsledný materiál, který se řeže na požadovaný rozměr, nebo se dále vrství na potřebnou tloušťku.

Pro vyšší odolnost vůči deformaci se materiál řeže tak, aby ,směr textilie‘ byl pod úhlem 45° oproti ,směru materiálu‘

Základem FR-4 je deska složená ze dvou vrstev prepregu. Tloušťka desek se pohybuje od 0,65 mm do 1,6 mm podle požadavku výrobce.

Výroba základní dvouvrstvé desky probíhá tak, že se na obě strany prepregu nanese měděná fólie vytvořena galvanickým plátováním válce z nerezové oceli, otáčejícího se v tekutém elektrolytu. Tloušťka měděné fólie se rovná tloušťce 36 μm nebo 18 μm .

Fólie je z jedné strany hladká a z druhé matná a zrnitá. Na prepreg se fólie lepí matnou zrnitou stranou, aby byla zajištěna dokonalejší přilnavost.[5]

3.3 Druhy desek plošných spojů

20. století bylo dobou, kdy DPS spatřily světlo světa. Za tu dobu prošly řadou změn, jak materiálu, tak samotného výrobního procesu a technologie.

Jednostranné desky plošných spojů

Vodiče jsou umístěny pouze na jedné straně desky. Otvory pro montáž vývodů součástek bývají zpravidla pokoveny kvůli zlepšení kontaktu mezi součástkou a deskou.

Oboustranné desky plošných spojů

U oboustranných desek jsou vodiče umístěny na obou stranách desky. Je to výhodou především z hlediska minimalizace. Vodiče na obou stranách jsou elektricky spojeny průchozím pokovením.

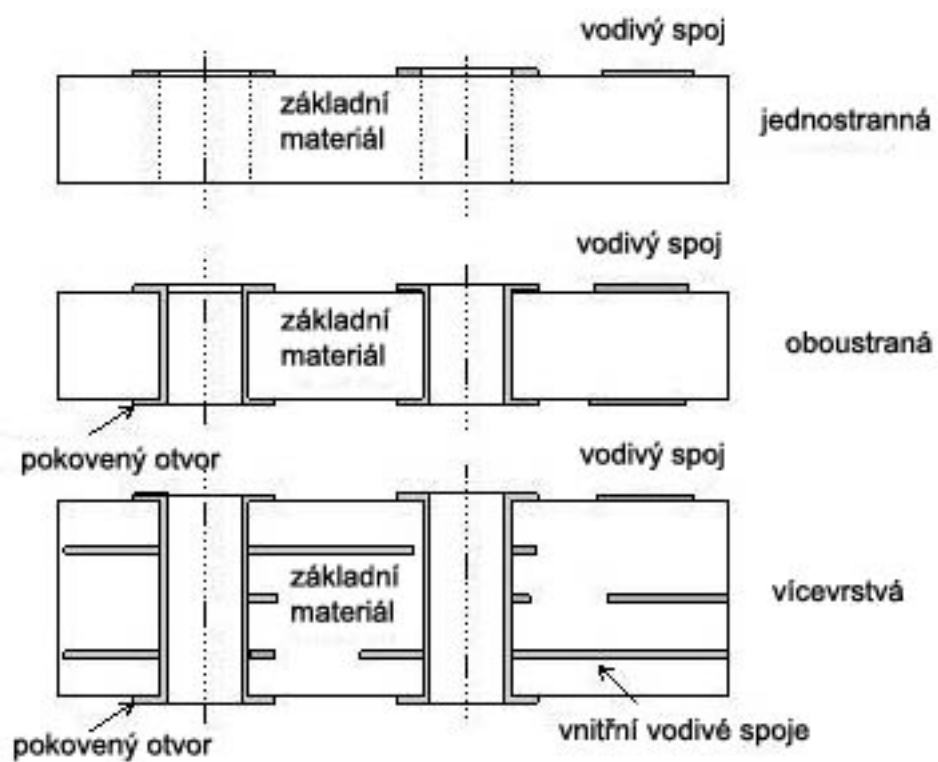
Vícevrstvé desky plošných spojů

Vícevrstvé desky se začaly používat se zvyšujícím se požadavkem na přenos signálu. Ať se jednalo o zkrácení délky vodičů nebo ke snížení doby přenosu signálu.

Konstrukce je daleko složitější a také finančně náročnější oproti běžným deskám.

Uvnitř desky plošného spoje se vytvářejí další stupně obvodů. Ty jsou realizovány několika tenkými deskami nad sebou elektricky propojenými průchozím pokovením.

Se zvyšujícím počtem vnitřních vrstev však prudce rostou také náklady na výrobu, proto je cílem počet minimalizovat. Běžně mají vícevrstvé DPS 4 až 6 vnitřních vrstev. Tvar a konečná konstrukce je většinou dána prostorem pro instalaci desky.



Obrázek 8 - Modely desek plošných spojů[5]

4 VLASTNOSTI DPS - TEPELNÁ VODIVOST A ŠÍŘENÍ ZVUKU

Praktická část bakalářské práce je zaměřena na přípravu vzorků pro testování tepelných a akustických vlastností. Detailnější popis a principy měření jsou uvedeny v praktické části.

Tepelná vodivost

Jedná se o fyzikální veličinu, která popisuje schopnost látky vést teplo. Představuje rychlost, s jakou se teplo šíří z jedné části látky do chladnějších částí. Tepelná vodivost je charakterizována součinitelem tepelné vodivosti, bývá také označován přímo jako tepelná vodivost. Je definována jako množství tepla, které musí za jednotku času projít tělesem, aby na jednotkovou délku byl jednotkový teplotní spád. Přitom se předpokládá, že teplo se šíří pouze v jednom směru, např. v desce s rovnoběžnými povrchy.

Tuto definici lze také vyjádřit tak, že součinitel tepelné vodivosti je výkon (tzn. teplo za jednotku času), který projde každým čtverečním metrem desky tlusté metr, jejíž jedna strana má teplotu o 1 Kelvin vyšší než druhá a značí se λ [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$].[17]

Šíření zvuku v DPS

Zvuk šířící se vlněním částic příslušného prostředí, nejčastěji vzduchem, je vedle poklesu akustické intenzity se vzdáleností ovlivňován řadou dalších faktorů. Jsou jimi například rychlostní a teplotní gradienty akustického prostředí, které mění rychlost akustického vlnění a tím i jeho směr. Viskozita tekutiny způsobuje pohlcování části akustické energie, tedy absorpci vlnění ve vzduchu.

Absorpce zvuku ve vzduchu se mění s frekvencí, vlhkostí a teplotou. Obecně je absorpce větší pro vyšší frekvence, pro snižující se teplotu a pro nižší vlhkost vzduchu. Pohlcování zvuku ve vzduchu je ale poměrně malé. Při dopadu akustické vlny na rovinnou plochu, která má ideální odrazivost, se tato vlna od roviny odrazí obdobně jako například světelný paprsek od zrcadla.

Prakticky při každém dopadu akustické vlny na rozhraní dvou homogenních prostředí, které nejčastěji tvoří vzduch a pevné látky, dochází k neúplnému odrazu, tedy část akustické energie se odrazí a část vnikne do druhé látky.[15]

PRAKTICKÁ ČÁST

5 TESTOVÁNÍ VZORKŮ

Cílem praktické části bylo připravit vzorky pro testování vlastností tepelně a zvukově izolačních panelů ze směsných plastových komponent DPS. Tepelné a akustické vlastnosti jsem pak testoval na připravených vzorcích. Na výrobu potřebných vzorků jsem použil drť připravenou z DPS s průměrnou zrnitostí 5 mm a směs plošných spoju v podobě prášku. Takto upravené drtě jsem pojil buď bílkovinným hydrolyzátem nebo polyuretanem. Bílkovinný hydrolyzát je produktem zpracování tuhých činěných odpadů. Získává se z postružin procesem enzymové hydrolýzy. Hydrolyzát je tak čistě přírodním produktem, který není nijak škodlivý životnímu prostředí.[16]

Drť s pojivem jsem následně lisoval v lisu. Potřebné vzorky jsem připravil ve spolupráci s pracovníky Ústavu výrobního inženýrství Fakulty technologické, UTB.

5.1 Výroba vzorků

K dosažení dostatečné kvality vzorků jsem využil několika sítok s rozdílnou velikostí oček kvůli roztřídění drtě. Vzorky byly dvojího typu. První ze vzorků jsem lisoval z hrubší drtě, druhý z práškové směsi. K dispozici byl lis s možností nastavení teplot spodní a horní topné desky v rozsahu 0 až 200°C. Tyto teploty byly srovnatelné a vždy 100°C. Jako formu jsem použil čtvercovou desku z PVC o tloušťce 4mm uvnitř s otvorem o \varnothing 90mm. Tuto formu jsem vložil mezi 2 kovové desky, mezi kterými byla vložena pečící fólie (na základě několika pokusů jsem zjistil, že pečící fólie je pro naše laboratorní účely nejvhodnější).

Bylo potřeba také zajistit nepřipékání lisovaného materiálu k okrajům formy. Jako nejlépe vyhovující jsem použil izolepu. Na izolepu jsem nanesl film separačního spreje bez příměsí silikonu, aby byla izolace formy od materiálu co nejúčinnější a nedocházelo k připékání.

Tlak lisu nesměl být příliš velký, aby nedocházelo k deformaci formy a následnému znehodnocení vzorku.

Po vylisování jsem vzorek nechal zchladnout popřípadě zapéct v horkovzdušné peci.

5.1.1 Vzorek z hrubší drti

Při výrobě tohoto vzorku se objevila řada problémů. Drť obsahovala spoustu rozdílných materiálů. Použití hydrolyzátu jako pojiva pak bylo poměrně náročné.

Jak jsem již zmínil, k dispozici jsem měl drť desek plošných spojů prosetou přes hrubé síto. Tím se mi podařilo získat drť plastů a větší části kovu odseparovat. Magnetem byla snaha separovat magnetický kov. Tento způsob však nebyl natolik účinný, jak jsem předpokládal. Při výrobě vzorku jsem tak větší částičky kovu odstranil manuálně.

Celk. množství	Protříděná drť	Zbytky kovu
100g	74,48g	25,52g

Tabulka 5 - Množství drtě a kovu ve 100g směsi

Takto přetříděnou drť jsem smíchal s pojivem, vložil do formy a zalisoval. Po 1-2 hodinách byla forma vytažena z lisu. Materiál jsem poté nechal vytvrdit v horkovzdušné troubě na 90°C po dobu 1 hodiny.

Drť	Hydrolyzát	Teplota lisování	Doba lisování	Teplota pečení	Doba pečení
23,6g	8,1g	100°C	1,45h	90°C	1h

Tabulka 6 - Množství drtě a pojiva ve vzorku

Pro měření tepelné vodivosti bylo nutné, aby drsnost povrchu vzorku byla co nejmenší. Toho však za našich laboratorních podmínek nebylo možné dosáhnout. Vzorek byl i přesto testován.

5.1.2 Vzorek z práškové směsi

Na výrobu druhého vzorku jsem použil stejnou technologii výroby. Výrobek byl pro účely testování tepelných a akustických vlastností daleko přijatelnější. Výsledná drsnost povrchu byla nižší, než tomu bylo u předchozího vzorku. Práškovou směs jsem přesel přes jemné síto, čímž jsem získal jemný prášek s nízkým obsahem kovu. Jako zbytek jsem získal směs kovu a hrubších částí plastu.

Celk. množství	Prosetý prášek	Zbytek
100g	59,6g	40,4g

Tabulka 7 - Množství prosetého prášku a zbytku ve 100g směsi

Získaný prášek jsem smíchal s hydrolyzátem a slisoval.

Prášek	Hydrolyzát	Teplota lisování	Doba lisování	Teplota pečení	Doba pečení
26,2g	22,2g	100 °C	1,3h	90 °C	1h

Tabulka 8 - Množství prášku a pojiva ve vzorku

5.2 Testování vzorků na tepelnou vodivost

K testování tepelných vlastností jsem měl k dispozici dva vzorky s rozdílnou hrubostí materiálu. Vyrobene vzorky jsem testoval na speciálním zařízení pro měření teplotní vodivosti. Jak již bylo zmíněno, ne vždy se mi podařilo dosáhnout co nejmenší drsnosti povrchu. K testování tak musela být použita hliníková pasta, která měla nerovnosti na povrchu co nejvíce snížit. Pasta byla směsí hliníkového prášku a silikonového oleje.

Princip měřícího zařízení

K měření se používá měřící aparatura sestavená podle Fitcha. Tento přístroj se používá zejména pro měření tepelné vodivosti fólií a desek plastů, pryží a usňových materiálů. Přesnost a správnost měření je dána drsností povrchu testovaného vzorku. Jedná se tedy o plošné měření.[14]

Měřící aparát funguje následovně. Měřený vzorek je vložen mezi mosazný válec, který je temperován na teplotu $t_1=25^\circ\text{C}$ a mosazný měřící válec, na který je připojen termočlánek.

Po vytemperování vzorku na teplotu $t_2=50^\circ\text{C}$ je mosazný válec s vyšší teplotou odejmut a přiložen mosazný válec, který je temperován na teplotu t_1 . Současně je spuštěno

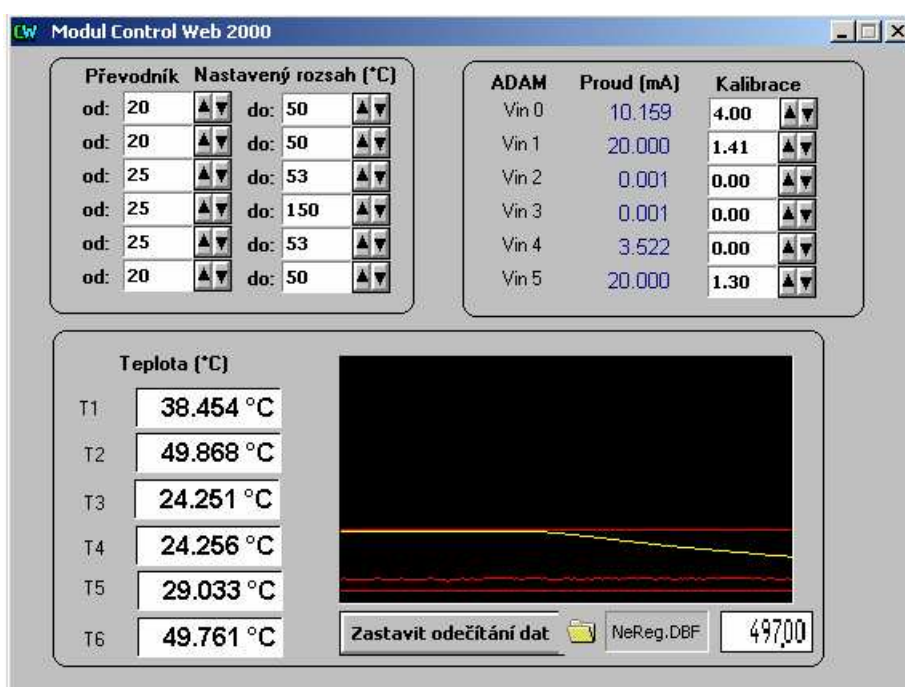
snímání teploty pomocí upraveného modulu Control Web 2000 na osobním počítači, který převádí data převodním systémem ADAM přes komunikační port do osobního počítače.

Měřená teplota postupně klesá směrem k ustálené teplotě t_1 a snímání dat se ukončí.

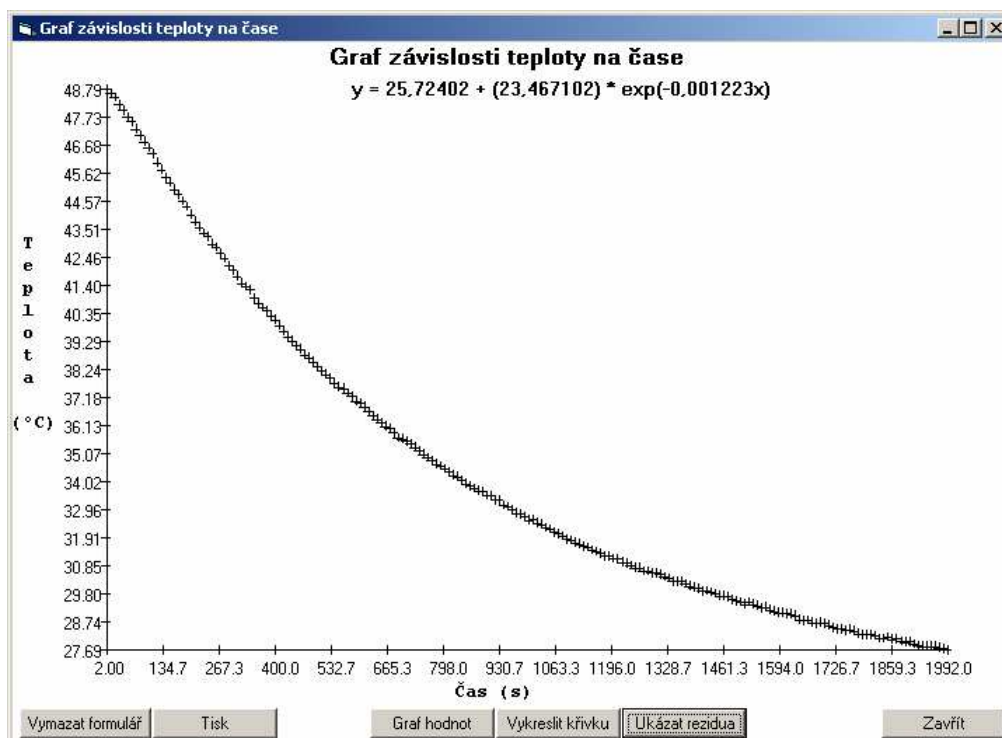
Získaný soubor pak obsahuje závislost času na teplotě. Dále je možno data vyhodnocovat za pomoci programu NeReg02, který umožňuje výpočet tepelné vodivosti, zobrazení grafu závislosti teploty na čase a graf závislosti reziduálního rozptylu na teplotě.

Součástí měřícího zařízení jsou také termostaty, které udržují nastavené teploty t_1 a t_2 , také stabilizovaný stejnosměrný zdroj a izolační kryt měřícího válce.[14]

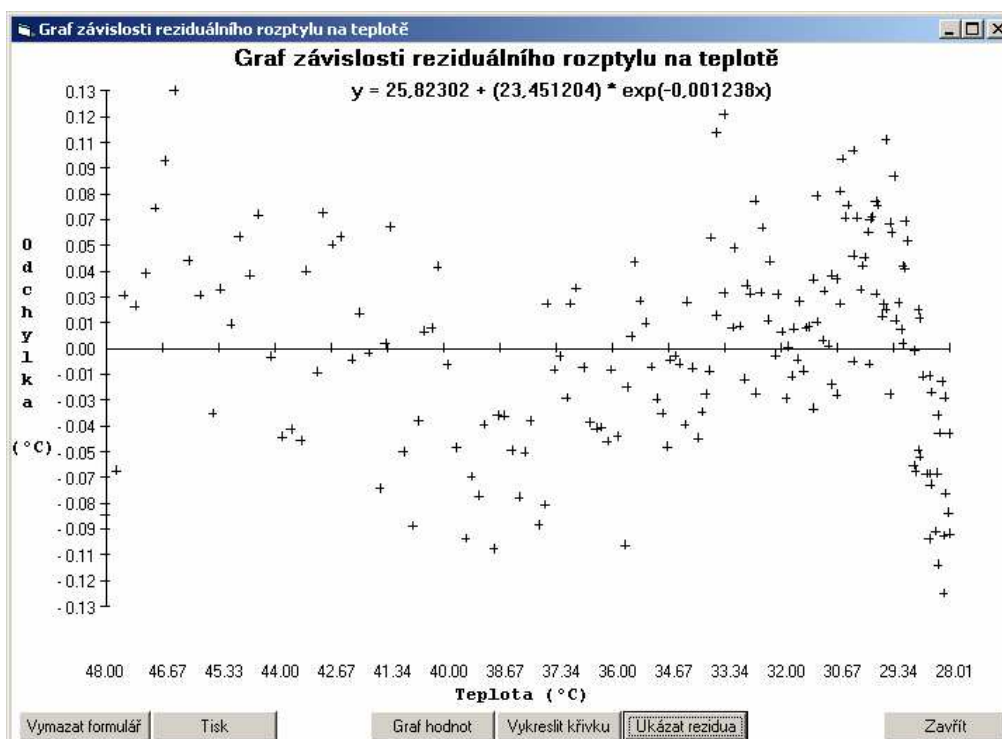
Níže jsou zobrazeny obrázky vyhodnocených dat z programu NeReg02.



Obrázek 9 - Panel měření Control Web 2000



Obrázek 12 - Graf závislosti teploty na čase NeReg02



Obrázek 13 - Graf závislosti reziduálního rozptylu na čase NeReg02

Program NeReg02 značně ulehčil vyhodnocování a výpočet samotné tepelné vodivosti. Na obrázcích výše jsou uvedeny příklady vyhodnocení. Na obrázku číslo 9 je měřící panel

vytvořený v prostředí Control Web2000. Následující obrázky popisují samotný výpočet tepelné vodivosti s možností vykreslení závislosti teploty na čase do grafu. Na obrázku číslo 13 je vykreslen graf závislosti reziduálního rozptylu na čase. Tento průběh popisuje velikost odchylky teploty v jednotlivých časových úsecích.

5.2.1 Tepelná vodivost vzorku z práškové směsi

U tohoto vzorku jsem provedl celkem čtyři měření. První z nich byl čistý vzorek, zbylé tři se prováděly za použití hliníkové pasty. Měření jsem realizoval bez zatížení vzorků. Společně s Ústavem inženýrství polymerů Fakulty technologické, UTB jsem naměřené hodnoty vyhodnotil a zapsal do tabulky. Měření neprobíhaly vždy za stejných podmínek. Na měřicí soustavu však působily poruchové veličiny (zvýšení teploty v místnosti, otevření okna). Pro vyhodnocení jsem proto vybíral vždy takových průběhů teplot, kde byla zjištěna menší odchylka. Podle tabulek jsem zjistil, že hodnoty tepelné vodivosti odpovídaly běžným plastům. Průměrná hodnota λ byla $0,17 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$. Z tabulky je patrné, že vzorek bez pasty nemá takovou tepelnou vodivost jako vzorky s použitím pasty. Důvodem je větší drsnost povrchu. Tepelná vodivost byla realizována rozdílem teplot z 50°C na 25°C . Naměřené a vypočtené hodnoty jsou zobrazeny níže v tabulce.

Měření	Tloušťka [mm]
1	3,83
2	3,82
3	3,74
4	3,79
5	3,845
6	3,945
7	3,85
8	3,78
9	3,84
10	3,78
Průměr	3,822
Smodch	0,056

Tabulka 9 - Tloušťka vzorku z práškové směs

Měření	S [m ²]	δ [m]	a3 [s ⁻¹]	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	Počet měření	Teplota OD - DO [°C]	Odchylka	Podmínky
1	0,006362	0,003822	-0,0000938	0,11044	206	47 - 27	0,1	bez pasty
2	0,006362	0,003822	-0,001196	0,15793	144	47 - 29,4	0,1	s pastou
3	0,006362	0,003822	-0,001269	0,17088	152	46,5 - 29	0,1	s pastou
4	0,006362	0,003822	-0,001336	0,18464	154	45 - 28	0,1	s pastou

Tabulka 10 - Naměřené a vypočtené hodnoty tepelné vodivosti

Popis tabulky:

S = plocha vzorku, δ = tloušťka vzorku, a3 = parametr vyhodnocený nelineární regresí, λ = tepelná vodivost.

5.2.2 Tepelná vodivost vzorku z hrubší drti

U tohoto vzorku jsem provedl celkem šest měření. Z toho tři byly bez použití pasty a zbylé tři s použitím pasty. Měření probíhaly taktéž bez zatížení vzorku a tepelná vodivost byla realizována ve stejných podmínkách, jako tomu bylo u předchozího vzorku. Teplotní rozdíl byl z 50°C na 25°C.

Naměřené hodnoty jsem vyhodnotil a zapsal do tabulky. Průměrná hodnota tepelné vodivosti λ vzorků bez použití pasty byla 0,04 Wm⁻¹K⁻¹. Průměrná hodnota tepelné vodivosti λ vzorků s použitím pasty byla 0,17 Wm⁻¹K⁻¹. Drsnost povrchu testovaného vzorku však neodpovídala požadavkům měření na přístroji. Hodnota odchylky teploty se pohybovala okolo dvojnásobku hodnoty, než tomu bylo u vzorku z práškové směsi. Vybral jsem takové hodnoty teplot, aby odchylka byla co nejmenší.

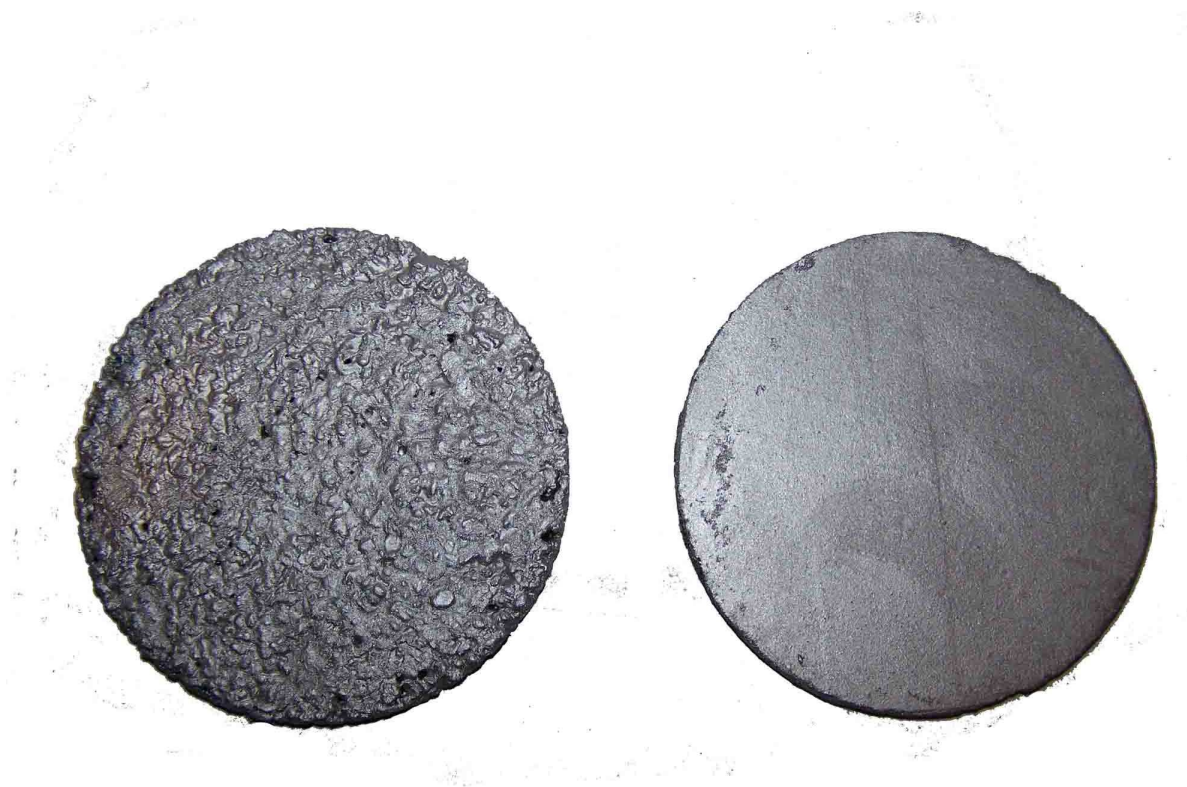
Vyhodnocené výsledky měření jsou zobrazeny níže v tabulce.

Měření	Tloušťka [mm]
1	5,07
2	5,255
3	5,205
4	5,565
5	5,49
6	5,695
7	5,805
8	5,44
9	5,385
10	5,305
Průměr	5,4215
Smodch	0,226

Tabulka 11 - Tloušťka vzorku z hrubší drti

Měření	S [m ²]	δ [m]	A3 [s ⁻¹]	λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	Počet měření	Teplota OD-DO [°C]	Odchylka	Podmínky
1	0,006362	0,0054215	-0,00051	0,0414	284	49,5 - 32	0,19	bez pasty
2	0,006362	0,0054215	-0,00051	0,04031	291	49 - 32	0,19	bez pasty
3	0,006362	0,0054215	-0,00052	0,03977	304	49 - 32	0,18	bez pasty
4	0,006362	0,0054215	-0,00106	0,18723	200	49 - 29	0,12	s pastou
5	0,006362	0,0054215	-0,00096	0,16883	215	48 - 30	0,14	s pastou
6	0,006362	0,0054215	-0,00086	0,14069	218	48 - 29	0,15	s pastou

Tabulka 12 - Naměřené a vypočtené hodnoty tepelné vodivosti



Obrázek 14- Připravené vzorky - zleva vzorek z hrubší drti, zprava vzorek z práškové směsi

5.3 Testování vzorků na vlastnosti šíření zvuku

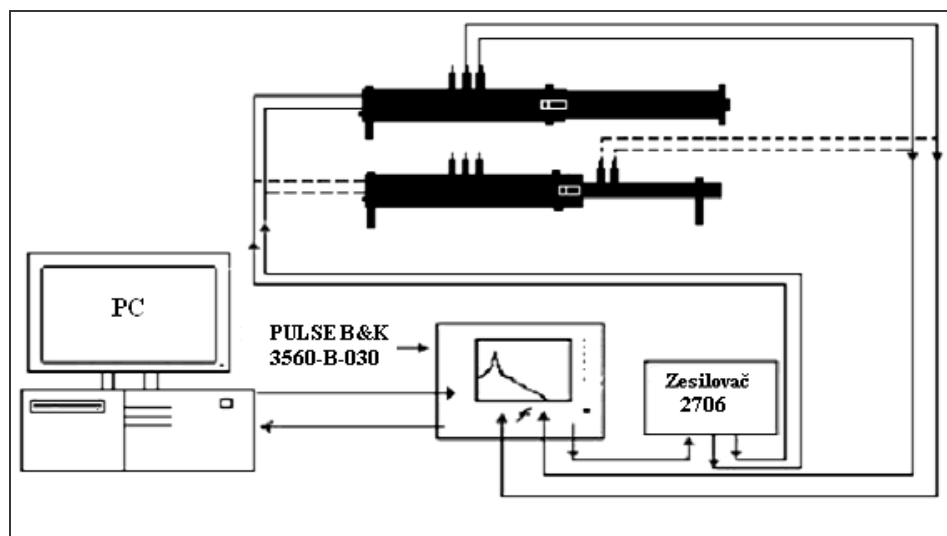
K testování jsem měl k dispozici celkem 4 vzorky. 2 z práškové směsi a 2 vzorky drtě z DPS. Pojivo jsem použil stejné jako při výrobě vzorků pro testování tepelné vodivosti a to bílkovinný hydrolyzát. Lisoval jsem je v kovových formách kruhového průřezu s \varnothing 100mm a 30mm za teploty spodní a horní topné desky 85°C.

Testy jsem provedl ve spolupráci s Ústavem fyziky a materiálového inženýrství Fakulty technologické, UTB.

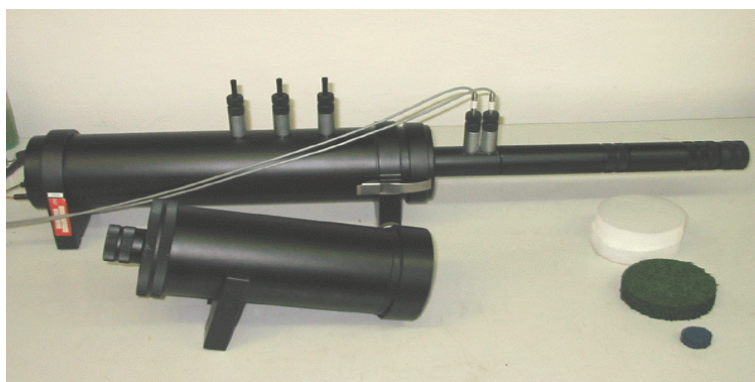
Princip měřícího zařízení

Zkoušky jsem prováděl na sestavě pro měření součinitele zvukové pohltivosti α a zvukové odrazivosti r . Skládá se z Kudtovy impedanční trubice (malá, velká), generátoru zvukového signálu Brüel & Kjær 2706 a dvoukanálového analyzátoru PULSE Brüel &

Kjær 3560-B-03. Pro snadnější obsluhu analyzátoru a zpracování dat je k analyzátoru připojen PC s aplikačním programem BZ 5050.[15]



Obrázek 15 - - Zapojení aparatury s velkou a malou měřící trubicí[15]

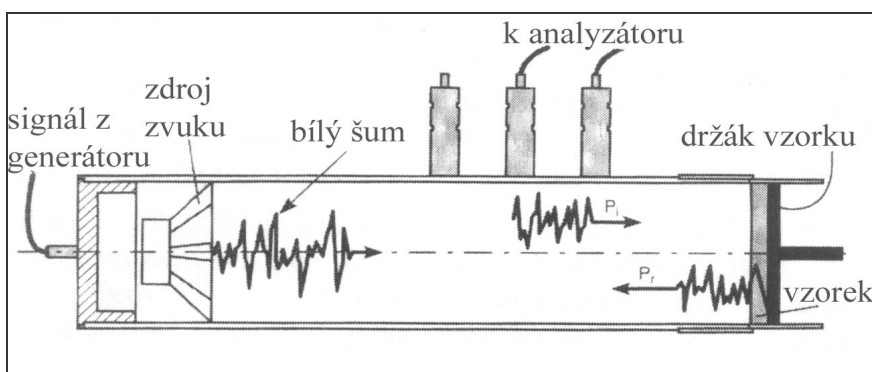


Obrázek 16 - Kundtova impedanční trubice a vzorky pro měření koeficientu zvukové pohltivosti[15]

Vzorek se umístí do velké nebo malé Kundtovy trubice. Ta byla sériově spojena generátorem zvukového signálu B&K 2706, který po přijetí příkazu zadaného z počítače vyslal signál do Kundtovy impedanční trubice. Výsledky měření byly zpracovány pomocí analyzátoru PULSE B&K 3560-B-030 a s jeho pomocí odesílány do počítače. V počítači byly díky speciálnímu programu (Brüel & Kjær – PULSE LabShop verze 10.0) tato data zaznamenána a dále upravována.

Velká měřicí trubice, která je určena pro měření ve frekvenční (kmitočtové) oblasti 16 Hz – 1,6 kHz. Je vybavena zdrojem zvuku, dále obvodem pro vyvažování frekvencí a obsahuje tři pozice pro montáž mikrofonů. Malá měřicí trubice je zkonstruována pro měření v oblasti frekvencí 64 Hz – 6,4 kHz a obsahuje dvě pozice určené pro montáž mikrofonů.

Trubice obsahuje dva mikrofony spojené s analyzátozem PULSE B&K 3560-B-030, ty jsou umístěny mezi zdroj zvuku a vzorek zkoumaného materiálu, co nejbližší vzorku. První mikrofon snímá intenzitu signálu vyzářeného zdrojem těsně před vzorkem, druhý mikrofon pak intenzitu akustické vlny, která byla vzorkem odražena. Nákres trubice a znázornění měření je na obrázku níže.[15]

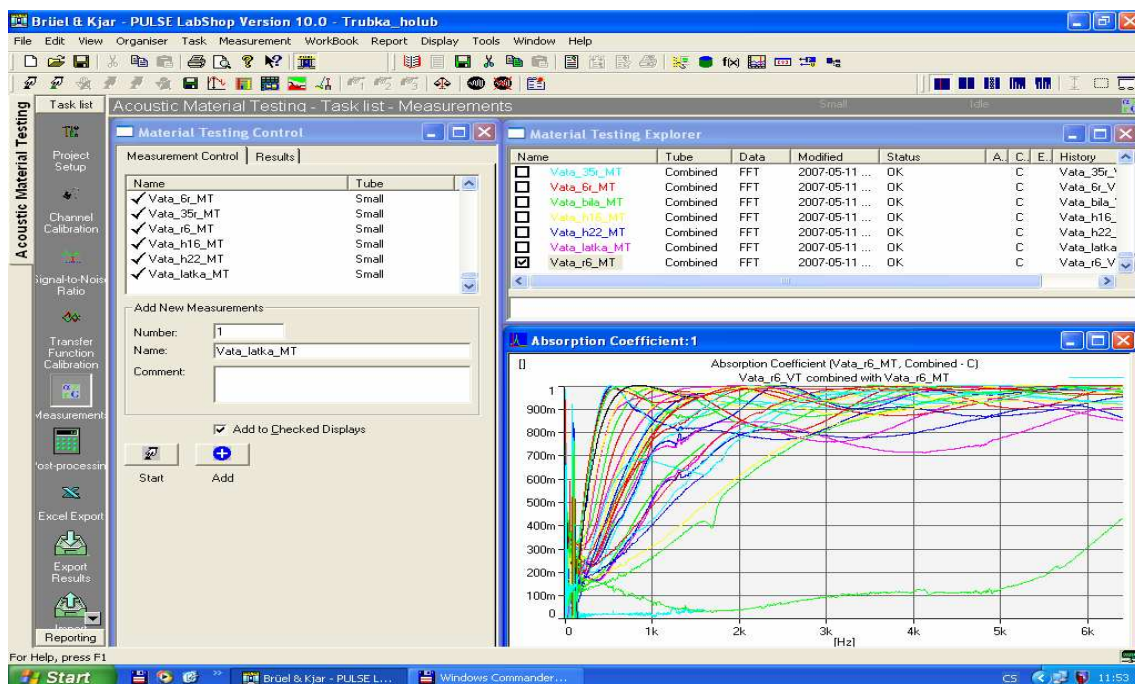


Obrázek 17 - Schématické znázornění dvou-mikrofonové impedační trubice[15]

Pro měření koeficientu zvukové pohltivosti a odrazivosti byl použit analyzátoz firmy B&K PULSE typ 3560-B-030 a softwarové rozhraní spojené s analyzátozem LabShop.



Obrázek 18 - Pulse typ 3560-B-030[15]



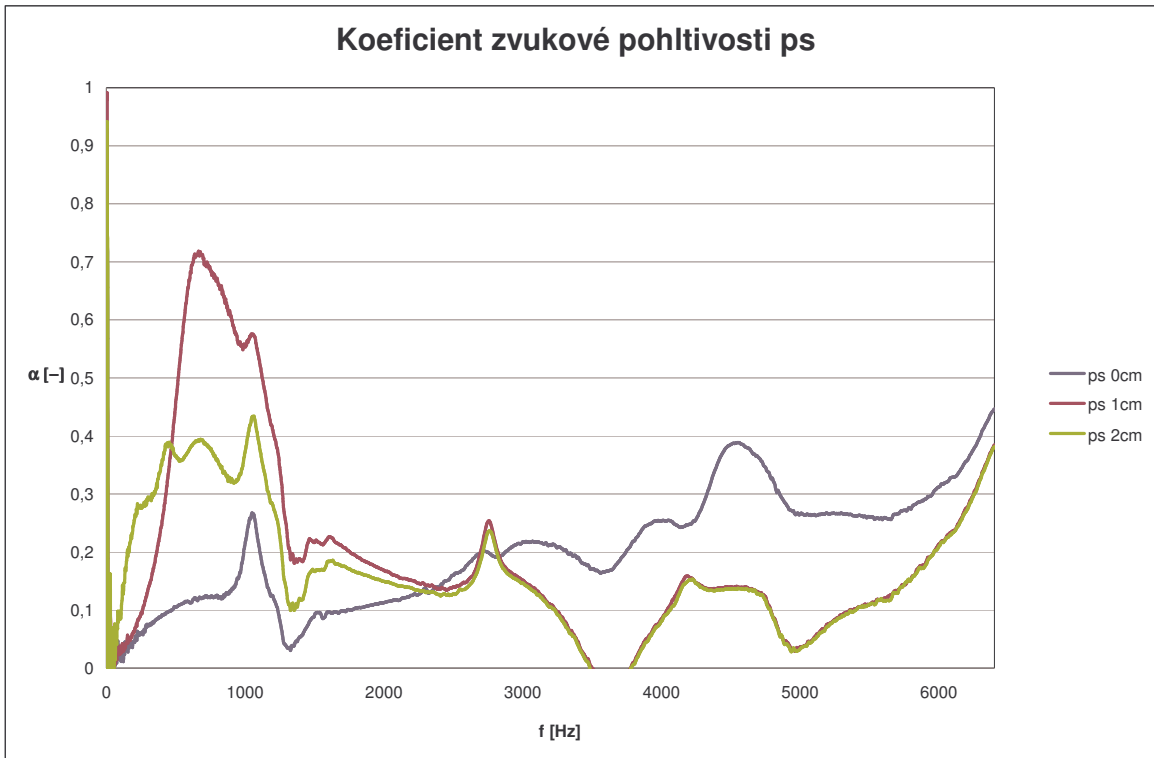
Obrázek 19 - Prostředí LabShop pro vyhodnocení absorpce zvuku[15]

5.3.1 Měření absorpce zvuku vzorku z práškové směsi

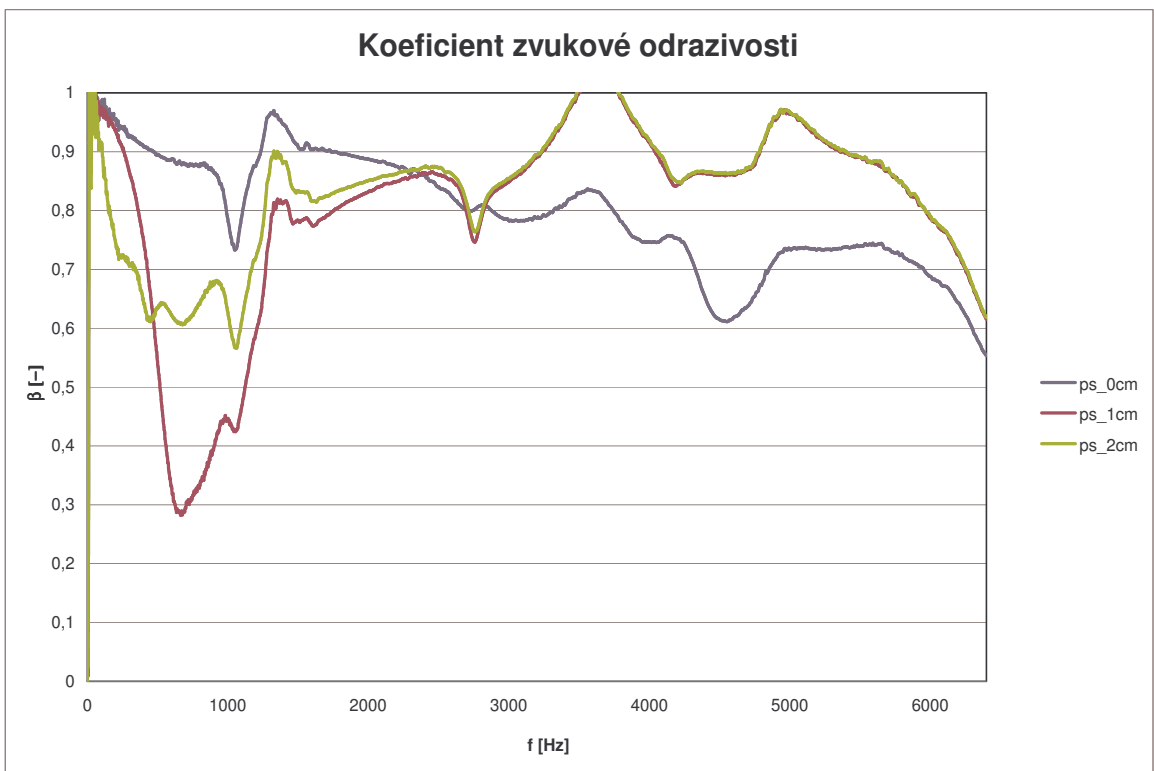
U každého ze vzorků jsem provedl celkem 3 měření. Měřil jsem s nulovou mezerou, mezerou 10mm a mezerou 20mm mezi akusticky tvrdou zadní deskou a frekvencí 0 až 6400hz. 1. vzorek byl o \varnothing 100mm a průměrné tloušťce 7,66mm. 2. vzorek o \varnothing 30mm a průměrné tloušťce 5,99mm. Naměřené výsledky jsem vyhodnotil a jednotlivé průběhy zvukové pohltivosti a odrazivosti vykreslil do grafu.

Měření	Vzorek \varnothing 100mm		Vzorek \varnothing 30mm	
	Měření	Tloušťka [mm]	Měření	Tloušťka [mm]
1	7,62	1	6,06	
2	7,66	2	5,98	
3	7,68	3	5,94	
4	7,66	4	5,96	
5	7,68	5	5,96	
6	7,70	6	6,00	
7	7,66	7	6,02	
8	7,62	8	6,02	
9	7,64	9	5,98	
10	7,66	10	5,98	
Průměr	7,66	Průměr	5,99	
Smodch	0,02	Smodch	0,03	

Tabulka 13 - Tloušťka vzorků z práškové směsi



Obrázek 20 - Koeficient zvukové pohltivosti vzorku z práškové směsi



Obrázek 21 - Koeficient zvukové odrazivosti vzorku z práškové směsi

Vysvětlivky ke grafu:

ps – vzorek z práškové směsi

ps_0-2cm – vzduchová mezera mezi vzorkem a akusticky tvrdou zadní deskou

Vzorek ps byl hodnocen z hlediska koeficientu zvukové pohltivosti velmi negativně, protože jeho povrch byl velmi hladký. Toto bylo způsobeno jemnou drtí, která nevytvářela jakoukoliv porézní strukturu a tudíž zvuk nemohl pronikat do struktury materiálu a měnit akustickou energii v tepelnou popřípadě se pohltit ve struktuře. Přesto z použitých variant měla nejefektivnější pohltivost varianta vzorku ps s 20mm vzduchovou mezerou, která dosahovala maximum $\alpha = 700\text{Hz}$. Přesto je frekvenční rozsah použitelnosti velmi malý a tato varianta není vhodná pro zvukovou absorpci ale odrazivost.

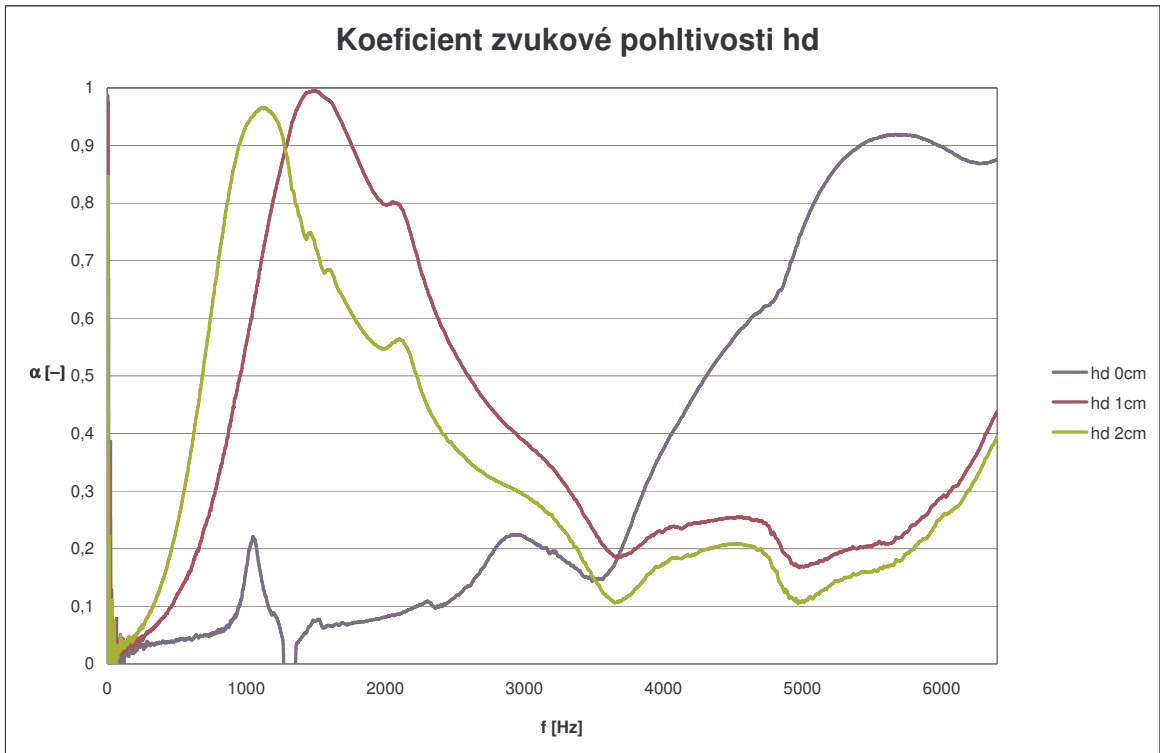
Z grafu je patrné, že ve frekvenčním pásmu 0 – 4000Hz jsou vzorky výhodné pro použití odclonění, odražení nebo jiné formy usměrnění akustické energie.

5.3.2 Měření zvukových vlastností vzorku z hrubé drti

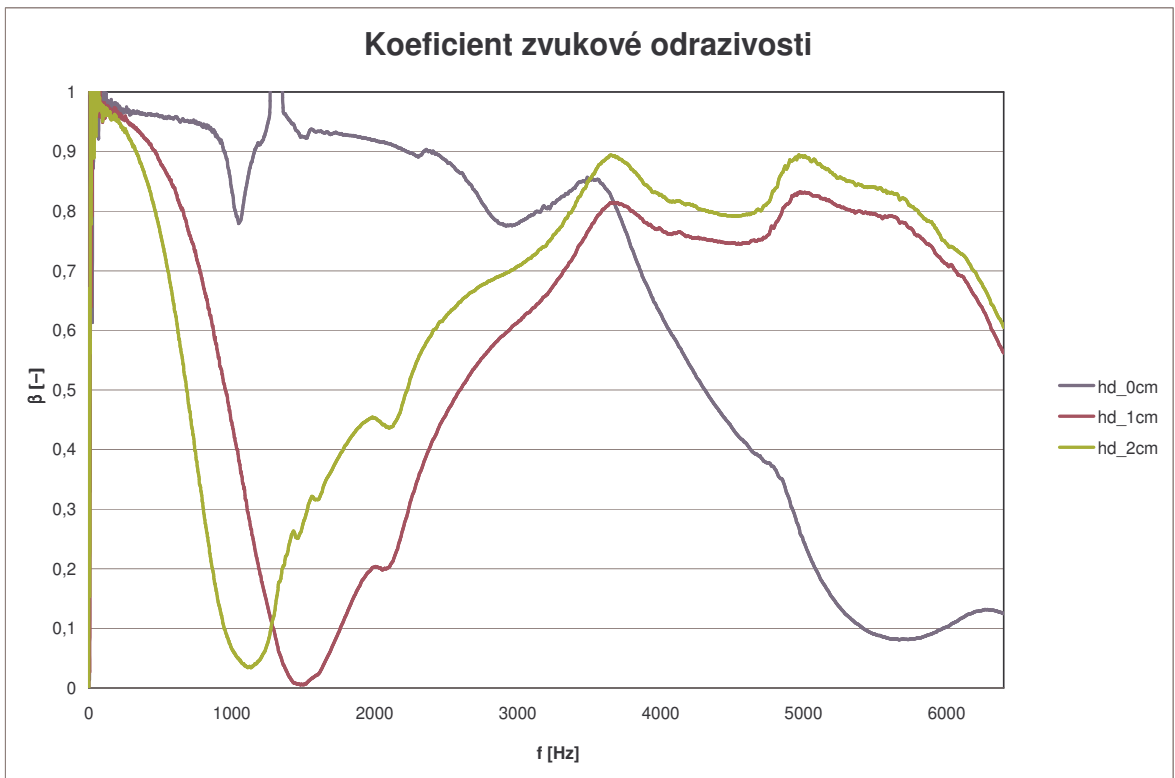
Měření u těchto vzorků probíhalo stejně jako u předchozího měření. Vyhodnocení je uvedeno níže.

Vzorek \varnothing 100mm		Vzorek \varnothing 30mm	
Měření	Tloušťka [mm]	Měření	Tloušťka [mm]
1	10,08	1	5,78
2	9,84	2	5,98
3	9,86	3	6,02
4	9,80	4	5,84
5	10,08	5	5,92
6	10,02	6	6,04
7	9,64	7	5,96
8	9,82	8	5,86
9	9,62	9	5,90
10	9,88	10	6,00
Průměr	9,86	Průměr	5,93
Smodch	0,15	Smodch	0,08

Tabulka 14 - Tloušťka vzorků z hrubší drti



Obrázek 22 - Koeficient zvukové pohltivosti vzorku z hrubší drti



Obrázek 23 - Koeficient zvukové odrazivosti vzorku z hrubší drti

Vysvětlivky ke grafu:

hd – vzorek z hrubší drti

hd_0-2cm – vzduchová mezera mezi vzorkem a akusticky tvrdou zadní deskou

Z grafů je patrné, že vzorek hrubší drti má vyšší koeficient pohltivosti a odrazivosti než vzorek z práškové směsi a je pro izolaci zvuku vhodnější. Nejvyšší hodnoty koeficientu pohltivosti nabývá 1 a to při měření s mezerou 10mm a frekvenci cca 1000Hz U vyšších frekvencí hodnota koeficientu klesá. Z modré křivky (hd0) je patrné, že je vzorek velmi nepohltivý. Nejlepší pohltivost má vzorek s 20mm vzduchovou mezerou. Celkově jsou vzorky z hlediska absorpce velmi málo pohltivé a jsou tudíž výhodnější pro odrazivost a odclonění zvukové emise požadovaným směrem.

Odrazivost byla nejlepší pro vzorek bez vzduchové mezery, který prakticky představoval celistvou matici tvořenou speciální drtí. Odrazivost byla velmi vysoká a efektivní ve frekvenčním rozsahu 0 – 4000 Hz, kde se nacházely hodnoty $\beta = 0,8-1,0$.



Obrázek 24 - Ukázka vzorků z hrubší drti



Obrázek 25 - Ukázka vzorků z práškové směsi

ZÁVĚR

Elektronický odpad byl řadu let opomíjen a tiše přehlížen na skládkách, kde ho každým dnem bylo stále větší množství. Dnes je naštěstí tento druh elektroodpadu recyklován. Recyklací můžeme získat spoustu nerostných surovin, kterých je čím dál tím méně a to i jednodušším a méně náročným způsobem než je tomu u těžby. Takto získané suroviny můžeme dále zpracovávat a znovu využít. V každém elektronickém zařízení je obsaženo určité procento DPS. Záleží na složitosti zařízení.

Bakalářská práce je zaměřena na možné zpracování a následné znovu využití. Přesněji výrobou vzorků a testování na tepelné a zvukové vlastnosti.

V první části literární studie jsem uvedl směrnice a nařízení, které jsou platné pro všechny členy EU, tedy i pro ČR. Cílem těchto směrnic je eliminace OEEZ, zvýšení opětovného použití a recyklace se snížením množstvím odpadu.

V teoretické části jsem se zaměřil na způsoby separace kovů a plastů z DPS, ve které je taky popsáno průměrné složení DPS. Uvedl jsem některé ze způsobů desintegrace drahých kovů pyrometalurgickými procesy a metody desintegrace plastů z elektronického odpadu, jednotlivé fáze a některé druhy separačních metod a separátorů.

Třetí část je věnována DPS, jejich složení, základním druhům materiálů a typům DPS.

V praktické části jsem popsal výrobu vzorků a jejich následné testování. Vzorky jsem vyrobil z práškové směsi a drtě z DPS. Ty jsem testoval nejprve na tepelnou vodivost. Zjistil jsem, že vyrobené vzorky mají tepelnou vodivost odpovídající běžným plastům. Což je pro naše účely recyklace pozitivní. Z provedených experimentálních měření a zjištěných hodnot součinitele tepelné vodivosti připravených vzorků vyplývá, že termoizolační vlastnosti má poměrně dobré avšak velmi závislé na „hrubosti“ povrchu vzorku. Využití vzorků pro výrobu protihlukových panelů velmi závisí na velikosti částic směsné drti. Vzorky připravené ze směsné drti o velmi malých rozměrech (prášková drť) vykazoval velmi dobrou pohltivost a odrazivost zvuku.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

Electronic trash has been omitted for many years and ignored on junkyards, where the piles grew bigger every day. Fortunately, today e-waste is being recycled. By recycling many rare raw materials can be extracted. That is much more easier than regular mining. The raw materials can be further processed and reused. In any electronic device, there is a certain amount of DPS. That depends on the complexity of the device.

The thesis aims to report on possible processing and subsequent reuse. More precisely the production of samples and tests of their thermal and sonic characteristics.

In the first part of the literary study I mentioned the directives and regulations applicable for all members of the EU and hence for Czech Republic. The aim of the directives is the elimination of EEEW, their reuse and recycling with reduced amounts of waste.

The theoretical part deals with the ways of metal and plastic separation. The description includes the average content of DPS. I mentioned some ways of disintegration of precious metals by pyrometallurgical processing and some methods of disintegration of plastic from e-waste, the respective stages and some types of separation methods and separators.

The third part is dedicated to DPS, its content, basic types of materials and types of DPS.

In the practical part I described the production of the samples and their subsequent testing. I made the samples by using a powder mix and e-waste debris. First I tested their thermal conductivity. I learned that the samples have the same conductivity as common plastic. That is very positive for our needs of recycling. There was a problem with measuring rough-surface-debris. Exhibits preparing from mixed gravel about very exiguosness (powdery gravel) embody very good absorption capacity and reflectance sound.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Plné znění směrnice 2002/96/ES OEEZ. Dostupné z WWW:
<http://www.sagit.cz>, poslední revize 22.4. 2009
- [2] Chochruň R., Recyklace elektrických a elektronických odpadů, způsoby desintegrace plošných spojů. Bakalářská práce, UTB ve Zlíně, Fakulta technologická, 2005, 70. str.
- [3] Evropská síť BIFA. Dostupné z WWW:
<http://www.env.cz>, poslední revize 17.4. 2009
- [4] Aktuální tabulka s výší recyklačních poplatků. Dostupná z WWW:
http://www.alphaobchod.cz/Recyklace_cenik.htm, poslední revize 15.4. 2009
- [5] Materiál plošných spojů. Dostupné z WWW:
<http://www.smtcentrum.cz>, poslední revize 29.4. 2009
- [6] Význam ecodezingnu v recyklaci OEEZ, Safina a.s. Elektronická podpora pdf.
Ing. Eva Minaříková, Presentace společnosti, 29 str.
- [7] Elektroodpad - Směrnice EU 2002/96/ES a 2002/95/ES - Co přináší a nařizuje
Elektronická podpora pdf. Ing. David Beneš, Dewarec s.r.o. 5 str.
- [8] Linka fluidní separace, příklady dodávaných linek. AQUATEST a.s. Kovohutě
Mníšek
- [9] AQUATEST a.s., Modulové technologie recyklace plochých obrazovek, Ing.
Lubomír Štolc, Václav Hrabák, Odpadové fórum 2008
- [10] Martin Bouša, Vitaro s.r.o., Demontáž elektronických zařízení za účelem
znovupoužití a recyklace, Dostupné z WWW:
<http://www.vitaro.cz>, poslední revize 25.4. 2009
- [11] Vibrační třídiče, Filamos s.r.o., Dostupné z WWW:
<http://www.filamos.cz/vibracni-technika/vibracni-tridice>, poslední revize 25.4. 2009
- [12] Ing. V. Gruber, Csc, Chemické metody recyklace elektroodpadu, Ústav chemických
procesů AV ČR, Praha

- [13] Pneumatické třídiče, Cimbira HEID ČR, s.r.o., Dostupné z WWW:
<http://www.cimbria.cz>, poslední revize 25.4. 2009
- [14] Měření tepelné vodivosti plastů, Ing. D. FOJTŮ, doc. Ing. A. BLAHA, CSc.
Fakulta Technická, UTB ve Zlíně.
- [15] Fyzikální vlastnosti a šíření zvuku, Ing. M. Juříčka, Ph.D. Fakulta technologická,
UTB ve Zlíně
- [16] Řízení enzymové hydrolýzy, Habilitační přednáška, Ing D. JANÁČOVÁ, Csc.
Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní. Ostrava, 2002,
1. vydání
- [17] Součinitel tepelné vodivosti. Dostupné z WWW:
http://wapedia.mobi/cs/Tepeln%C3%A1_vodivost, poslední revize 15.5. 2009

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

BIfA	:	Bavorský institut aplikovaného výzkumu životního prostředí a enviromentálních technik
ČR	:	Česká Republika
ČSN	:	Česká státní norma
DIN	:	Národní norma vydána Deuche Institut für Normung
DPH	:	Daň s přidané hodnoty
DPS	:	Desky plošných spojů
EEZ	:	Elektrické a elektronické zařízení
EU	:	Evropská Unie
FR	:	Flame Resist – tepelná odolnost
ISO	:	International Organization for Standardization - mezinárodní organizace pro normalizaci
NEMA:		National Electrical Manufactures Association - sdružení výrobců elektrotechnických zařízení
OEEZ	:	Odpady elektrických a elektronických zařízení
PC	:	Personal Computer - osobní počítač
PTFE	:	Polytetrafluoretylen – teflon
PVC	:	Polyvinylchlorid
RENE	:	Recycling Network Europe - Evropská síť recyklace el. odpadů

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1 – Cyklus elektroodpadu[6]</i>	17
<i>Obrázek 2 - Průměrné složení OEEZ[6]</i>	18
<i>Obrázek 3 - Příklad linky fluidní separace, AQUATEST a.s.[8].</i>	22
<i>Obrázek 4 - Příklad elektrodynamického separátoru, AQUATEST a.s.[9]</i>	23
<i>Obrázek 5- Příklad linky gravitačního splavu, Vitaro s.r.o.[10]</i>	23
<i>Obrázek 6 - Příklad vibračního univerzálního třídiče[11]</i>	24
<i>Obrázek 7 - Příklad pneumatického třídícího stolu, Cimbria s.r.o.[13]</i>	24
<i>Obrázek 8 - Modely desek plošných spojů[5]</i>	28
<i>Obrázek 9 - Panel měření Control Web 2000</i>	34
<i>Obrázek 10 - Výsledky výpočtu NeReg02</i>	35
<i>Obrázek 11 - Výpočet tepelné vodivosti NeReg02</i>	35
<i>Obrázek 12 - Graf závislosti teploty na čase NeReg02</i>	36
<i>Obrázek 13 - Graf závislosti reziduálního rozptylu na čase NeReg02</i>	36
<i>Obrázek 14- -Ukázka vzorků - zleva vzorek z hrubší drti, vzorek z práškové směsi</i>	40
<i>Obrázek 15 - - Zapojení aparatury s velkou a malou měřící trubicí[15]</i>	41
<i>Obrázek 16 - Kundtova impedanční trubice a vzorky pro měření koeficientu zvukové pohltivosti[15]</i>	41
<i>Obrázek 17 - Schématické znázornění dvou-mikrofonové impedační trubice[15]</i>	42
<i>Obrázek 18 - Pulse typ 3560-B-030[15]</i>	42
<i>Obrázek 19 - Prostředí LabShop pro vyhodnocení absorpce zvuku[15]</i>	43
<i>Obrázek 20 - Koeficient zvukové pohltivosti vzorku z práškové směsi</i>	44
<i>Obrázek 21 - - Koeficient zvukové odrazivosti vzorku z práškové směsi</i>	44
<i>Obrázek 22 - Koeficient zvukové pohltivosti vzorku z hrubší drti</i>	46
<i>Obrázek 23 - Koeficient zvukové odrazivosti vzorku z hrubší drti</i>	46
<i>Obrázek 24 - Ukázka vzorků z hrubší drti</i>	47
<i>Obrázek 25 - Ukázka vzorků z práškové směsi</i>	48

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1 - Cíle využití, opětovného použití a recyklace v jednotlivých kategoriích[7].....</i>	<i>11</i>
<i>Tabulka 2 - Obsah toxických látek v elektroodpadu[2]</i>	<i>13</i>
<i>Tabulka 3 – Aktuální tabulka s výší recyklačních poplatků[4]</i>	<i>16</i>
<i>Tabulka 4- Obsah kovu v deskách plošných spojů[2]</i>	<i>18</i>
<i>Tabulka 5 - Množství drtě a kovu ve 100g směsi</i>	<i>32</i>
<i>Tabulka 6 - Množství rdtě a pojiva ve vzorku.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabulka 7 - Množství prosetého prášku a zbytku ve 100g směsi.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabulka 8 - Množství prášku a pojiva ve vzorku</i>	<i>33</i>
<i>Tabulka 9 - Tloušťka vzorku z práškové směs</i>	<i>37</i>
<i>Tabulka 10 - Naměřené a vypočtené hodnoty tepelné vodivosti.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabulka 11 - Tloušťka vzorku z hrubší drti.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabulka 12 - Naměřené a vypočtené hodnoty tepelné vodivosti.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabulka 13 - Tloušťka vzorků z práškové směsi</i>	<i>43</i>
<i>Tabulka 14 - Tloušťka vzorků z hrubší drti.....</i>	<i>45</i>