

Optimalizace síťovací reakce proteinových hydrolyzátů pro přípravu termo-izolačních panelů z recyklovaného plastu

Cross-linking optimization of protein hydrolysates for preparing of thermo-insulating panels made of recycled plastic

Bc. Tomáš Goňa

Diplomová práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Tomáš GOŇA
Osobní číslo: A09337
Studijní program: N 3902 Inženýrská informatika
Studijní obor: Automatické řízení a informatika

Téma práce: Optimalizace síťovací reakce proteinových hydrolyzátů pro přípravu termo-izolačních panelů z recyklovaného plástu

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii týkající se možnosti přípravy termoizolačních panelů z produktů recyklační technologie bílkovinného hydrolyzátu a separovaného plástu z elektrošrotu.
2. Seznamte se s možnostmi síťování bílkovinného hydrolyzátu a stanovte vhodné podmínky pro síťovací proces pro přípravu panelů.
3. Sledujte termofyzikální vlastnosti u připravených vzorků.
4. Dosažené výsledky zhodnoťte v závěru práce.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. BLAŽEJ, A. Technologie kůže a kožešin. 1st ed. Praha : SNITL, 1984. ISBN 04-817-84
2. KOLOMAZNIK, K., JANÁČOVÁ, D. & LANGMAIER, F., et. al Enzymatic Digestion of Chrome Tanned Solid Waste. In Proceedings of the 1st International Fur Congress. Kastoria, Greece: Research Center, 1998, p. 134-146. ISSN 1726-5479
3. KOLOMAZNIK, K., JANÁČOVÁ, D., LANGMAIER, F., MLÁDEK, M.: Protein Hydrolyzates from Tannery Waste in Agriculture and Building Industry. XXVI IULTCS Congress. Cape Town, South Africa, 2001, 6s. ISSN 0409-7467
4. JÍCHA, M. Přenos tepla a látky. Brno, 2001, 1.vydání, počet stran : 160. ISBN 80-214-2029-4
5. PŘÍHODA, M., RĚDL, M. Sdílení tepla a proudění. Brno, 2008, 2.vydání, počet stran : 180. ISBN 978-80-248-1748-4

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Dagmar Janáčková, CSc.
Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání diplomové práce:

25. února 2011

Termín odevzdání diplomové práce:

3. června 2011

Ve Zlíně dne 25. února 2011

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
rektor - ředitel ústavu

ABSTRAKT

Obsahem práce je recyklace desek plošných spojů a jejich další využití pro výrobu termoizolačních panelů. V teoretické části jsou popsány způsoby recyklace elektroodpadu, odpadů vznikajících v kožedělné výrobě a stanovení součinitele tepelné vodivosti u tuhých materiálů. Experimentální část je zaměřena na nalezení optimálního množství síťovadla použitého k modifikaci vlastností proteinového hydrolyzátu - Hykolu tak, aby se stal vodostálým. Dále pomletím desek plošných spojů byla získána drť, která byla smíchána s vytvořeným pojivem a za pomoci vyhřívaného lisu vyrobeny vzorky, na kterých byly testovány tepelné vlastnosti. Naměřená data součinitele tepelné vodivosti se následně porovnávaly s jinými materiály.

Klíčová slova: Termoizolační panel, Deska plošného spoje, Součinitel tepelné vodivosti, Hykol

ABSTRACT

The recycling of printed circuit desks and their next usage for manufacturing of thermo-insulating panels are the contents of my thesis. There is a description of electro-waste recycling methods, wastes that are made in leader-manufacturing, and the formulation of heat conductivity coefficient in firm materials. The finding of optimal cross-linking agent quantity used to protein hydrolysate modifications – Hykol, to be water-stable. We got crumble from grounded printed circuit desks that was mixed with made binder and there were made samples helping with warming press that were tested on heat properties. Measuring data of heat conductivity coefficient were confronted with other materials.

Keywords: Thermo-insulating panel, Printed circuit desk, Heat conductivity coefficient, Hykol

Děkuji všem, kteří mě podpořili při vytváření této diplomové práce, zejména však mé vedoucí doc. Ing. Dagmar Janáčové, CSc., za vedení, zájem, připomínky a čas, který mi věnovala, dále pak doc. Ing. Antonínu Blahovi CSc. a Ing. Haně Charvátové Ph.D. za poskytnutí cenných rad při přípravě a měření vzorků a umožnění práce v laboratořích UIP fakulty technologické, doc. Ing. Pavlovi Mokrejšovi Ph.D., jež mi umožnil rozdrčení plastové drti na kulovém mlýnu a doc. Ing. Zdeňku Dvořákovi CSc. za pomoc a rady při přípravě forem.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I. TEORETICKÁ ČÁST	11
1 MALOODPADOVÉ TECHNOLOGIE	12
1.1 CHARAKTERISTIKA DRUHOTNÝCH SUROVIN	13
1.2 ROZDĚLENÍ DRUHOTNÝCH SUROVIN	13
1.3 RECYKLACE SUROVIN	14
2 RECYKLACE ELEKTROODPADU	15
2.1 NEBEZPEČNÉ SLOŽKY ELEKTROODPADU	16
2.2 RECYKLAČNÍ TECHNOLOGIE ELEKTROODPADU	17
3 DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ	19
3.1 ROZDĚLENÍ ZÁKLADNÍCH MATERIÁLŮ DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ	20
3.2 DRUHY DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ PODLE STRUKTURY	21
3.3 RECYKLACE DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ	22
4 KOŽELUŽSKÝ PRŮMYSL	24
4.1 VZNIK KOŽELUŽNÁCH ODPADŮ	25
4.2 ENZYMOVÁ HYDROLÝZA	28
4.3 BÍLKOVINNÝ HYDROLYZÁT - HYKOL	29
4.4 PROCES SÍŤOVÁNÍ	29
4.5 SÍŤOVACÍ ČINIDLA	29
5 SDÍLENÍ TEPLA	31
5.1 SDÍLENÍ TEPLA VEDENÍM	32
5.2 SOUČINTEL TEPELNÉ VODIVOSTI	33
5.3 TEPELNÝ ODPOR	34
5.4 ZPŮSOBY MĚŘENÍ SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA	36
II. PRAKTICKÁ ČÁST	40
6 MODIFIKACE HYKOLU	41
6.1 PŘÍPRAVA ADHEZIVA Z MODIFIKOVANÉHO HYKOLU	41
6.2 URČENÍ OPTIMÁLNÍHO SLOŽENÍ SMĚSY	43
6.3 MĚŘENÍ DISIPAČNÍHO FAKTORU ZA ÚČELEM STANOVENÍ STUPNĚ SÍŤOVÁNÍ HYKOLU	49
7 VÝROBA DRTI Z DPS	52
8 VÝROBA TERMOIZOLAČNÍCH PANELŮ	54
9 MĚŘENÍ SOUČINITELE TEPELNÉ VODIVOSTI	56

ZÁVĚR	65
ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....	66
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	67
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK A POJMŮ	70
SEZNAM OBRÁZKŮ	722
SEZNAM TABULEK.....	74

ÚVOD

V dnešní době, době spěchu a rychlého životního stylu, je také potřeba se zamýšlet nad využitím námi vyprodukovaných odpadů, ve kterých je v nemalé míře zastoupen i elektroodpad. Velmi důležité proto je, položit si otázku, jakým způsobem se vzniklý odpad dá dále použít, abychom docílili minimální zátěže na životní prostředí a důležitým aspektem je také finanční návratnost. Jedním z aspektů ukazujících na aktuálnost tohoto tématu je neustále se zkracující životnost elektrospotřebičů, což je zapříčiněno zejména zvyšujícím se technickým pokrokem.

Část tohoto odpadu se dá bez větších problémů znovu použít, příkladem může být magnetická separace drti z desek plošných spojů, při které se částečně oddělí kovy od plastů. Najít uplatnění pro takto získané kovy je snadné, poněvadž technologie zpracování kovů získaných recyklací je již na vysoké úrovni, ovšem se zbývajícím odpadem již nastávají komplikace, obsahuje totiž velké množství plastů různých druhů smíchaného se zbytky kovů a pryskyřic. Proto tedy jemnější separace této drti je takřka nemožná nebo velmi finančně i časově náročná. Využití takového materiálu lze nalézt například při výrobě termo-izolačních panelů. Jelikož je tato drť sypkým materiálem je nutné použít vhodné pojivo, kterým by se granulát spojil a docílit tak celistvého tvaru panelu. Bylo by možné použít jakékoliv vodostálé pojivo, je však nutno brát ohled na cenu a na kvalitu lepeného spoje, z tohoto důvodu by bylo možné využít proteinový hydrolyzát – Hykol, který je taktéž produktem recyklační technologie, při zpracování tuhých činěných odpadů enzymovou hydrolýzou v koželužském procesu. Tento materiál je zdravotně nezávadný, ovšem ve vodě dobře rozpustný, což je pro přípravu termo-izolačních panelů nepřijatelné. Tuto vlastnost lze potlačit použitím síťovacího činidla.

Cílem mé práce tedy také bylo najít vhodné síťovací činidlo, které by jeho vlastnosti modifikovalo. Je pravdou, že vynikající síťovací vlastnosti má například formaldehyd. Jeho nevýhodou ovšem je, že z lepeného spoje se uvolňuje a je karcinogenní. Proto jsem se snažil nalézt síťovací činidlo podobných vlastností, avšak pro zdraví člověka neškodné. Takovou látkou, která se z lepeného spoje neuvolňuje je krotoaldehyd. Pro využití síťovacího činidla při výrobě termoizolačních panelů jsem také zkoumal vhodné dávkování krotoaldehydu a správnou teplotu při síťování tak, aby nedocházelo k rozpouštění adheziva ve vodě a množství použitého síťovacího činidla bylo minimální.

Výroba termoizolačních panelů by byla velmi výhodná, poněvadž by řešila využití dvou produktů recyklační technologie zároveň a přitom by byl získán výrobek jehož náklady na výrobu a dopad na životní prostředí, i díky použitým materiálům, by byly nízké.

I. TEORETICKÁ ČÁST

Současný trend při výrobě vychází z předpokladu, že není třeba za každou cenu produkovat velké množství odpadů a následně jej recyklovat, ale je velmi důležité zamyslet se a navrhnout takové technologie, aby množství vyprodukovaného odpadu bylo minimální. Abychom mohli minimalizovat odpady tj. navrhnout maloodpadové technologie je nutností využívat nástrojů procesního inženýrství.

1 MALOODPADOVÉ TECHNOLOGIE

Nové pojetí výroby z hlediska využívání produktů a vzniku odpadů spočívá v celé řadě opatření, které výhledově vyústí v zavedení maloodpadových (nízkoodpadových) a bezodpadových technologií [4].

Maloodpadové technologie lze obecně definovat jako technologie, u nichž dochází vhodnou změnou původního výrobního procesu ke snížení množství odpadů odcházejících do našeho životního prostředí. V podstatě jde o vysoký stupeň využití surovin a podstatné snížení zpracovatelského odpadu. Mohou být považovány za specifické způsob recyklace, kdy nedochází ani k časovému ani prostorovému posunu mezi vznikem odpadu a jeho využitím. Účinnost maloodpadové technologie je určována minimálním množstvím energie spotřebované k tomu, aby se vzniklý odpad znovu použil [4].

Bezodpadové technologie jsou založeny na koncepčním řešení celého cyklu: surovina – výroba – spotřeba – odstraňování a recyklace odpadu. Princip tohoto řešení je, výrobek s požadovaných parametrů vyrobit s minimální spotřebou surovin a energie. Při vlastní výrobě by neměly vznikat dále nezpracovatelné či nevyužitelné odpady. Pojem bezodpadové technologie není příliš výstižný, protože jeho realizace je prakticky nedosažitelná. Jde spíše o určitý stupeň maloodpadových technologií. Každá technologie tohoto typu produkuje odpady v minimálním množství, ale vždy s určitým dopadem na životní prostředí [4].

Proto se lze setkat i s termínem ekologicky bezodpadové technologie, které aspoň nemají negativní důsledky na životní prostředí. Pokud u maloodpadových technologií jde zejména o vysoký stupeň využití surovin a snížení zpracovávaného odpadu, podstatou bezodpadových technologií jsou technologické cykly (recyklace) [4].

1.1 Charakteristika druhotných surovin

Druhotné suroviny jsou zužitkovatelné výrobní zbytky, vedlejší produkty technologických postupů, substráty vzniklé likvidací emisí, především z čištění spalin a vody, dále opotřebené výrobky z průmyslu, zemědělství a odpady z celé sféry našeho života. Pojem zužitkovatelné znamená, že jsou známy nebo vyvíjeny postupy, které umožňují převést uvedené materiály za technicko-ekonomicky vyhovujících podmínek na suroviny pro další přepracování nebo přímo na nové výrobky. Pokud se druhotné suroviny dále nevyužívají, je to obvykle zapříčiněno následkem nedostatečné kapacity nebo časového zpoždění ve vybudování nových výrobních celků [1].

Odpady jsou dosud nezužitkovatelné druhotné suroviny, které by se měly řízeným způsobem skladovat a zpracovat nebo podle technického vývoje s přihlédnutím k místním podmínkám zachovat pro výhledové přepracování [1].

Druhotné suroviny a odpady se do určité míry prolínají. S rozvojem techniky je řada odpadů postupně zhodnocována a tak se stávají druhotnými surovinami [1].

1.2 Rozdělení druhotných surovin

Podle oblasti výskytu se uvádějí tyto oblasti výskytů:

- Výrobní odpady (jsou zbytky surovin materiálů nebo polotovarů odpadajících v jednotlivých stupních výroby, popřípadě v určitých fázích úpravy a zpracování výchozí suroviny) [1]
- Zpracovatelský odpad (vzniká při opracování materiálu v průmyslové výrobě) [1]
- Spotřebitelský odpad (tvoří jej použité předměty, které následkem opotřebením ztratily svoje základní užitkové vlastnosti, avšak jejich materiální podstata je z části zachována) [1]

Podle místa využití se v uvedených materiálech rozlišuje:

- Návrtný odpad (materiál, se využívá ve výrobní jednotce, v níž vznikl a to buď při výrobě hlavního výrobku nebo v doprovodné výrobě) [1]

- Nenávratný odpad (materiál využívaný na výrobu jiných užitkových hodnot ve výrobních jednotkách odlišného výrobního zaměření nebo není-li dosud technicky i ekonomicky vhodný způsob přepracování) [1]

1.3 Recyklace surovin

Pod pojmem recyklace si lze představit znouvyužití, znovuuvedení do cyklu a lze ji považovat za strategii, která opětovným využíváním odpadů šetří přírodní zdroje a současně omezuje zatěžování prostředí škodlivinami. Recyklace odpadů je jednou z východisek k řešení problému s neustálou těžbou přírodních surovin, k úspoře materiálů a energií při výrobě, k ochraně životního prostředí a k postupnému sbližování zájmů ekonomie, energetiky a ekologie. K omezování vzniku odpadů nám slouží využití tzv. recyklačních technologií, což si lze představit jako soubory na sebe navazujících procesů postupů nebo technologických operací [2].



Obr. 1 Logo recyklace [26]

2 RECYKLACE ELEKTROODPADU

Elektroodpad patří mezi odpady, které ruku v ruce s vývojem nových technologií neuvěřitelným způsobem narůstají. Málokteré výrobní odvětví zaznamenává tak převratné změny v technologiích a volbě materiálu. Jde o odpad získaných většinou likvidací vysloužilých elektrozařízení, mezi které patří nespočet výrobků různého druhu, u kterých, dalo by se tvrdit, mají společný především druh energie, který je využit při realizaci jejich činností, pro které byli vyrobeny [21].

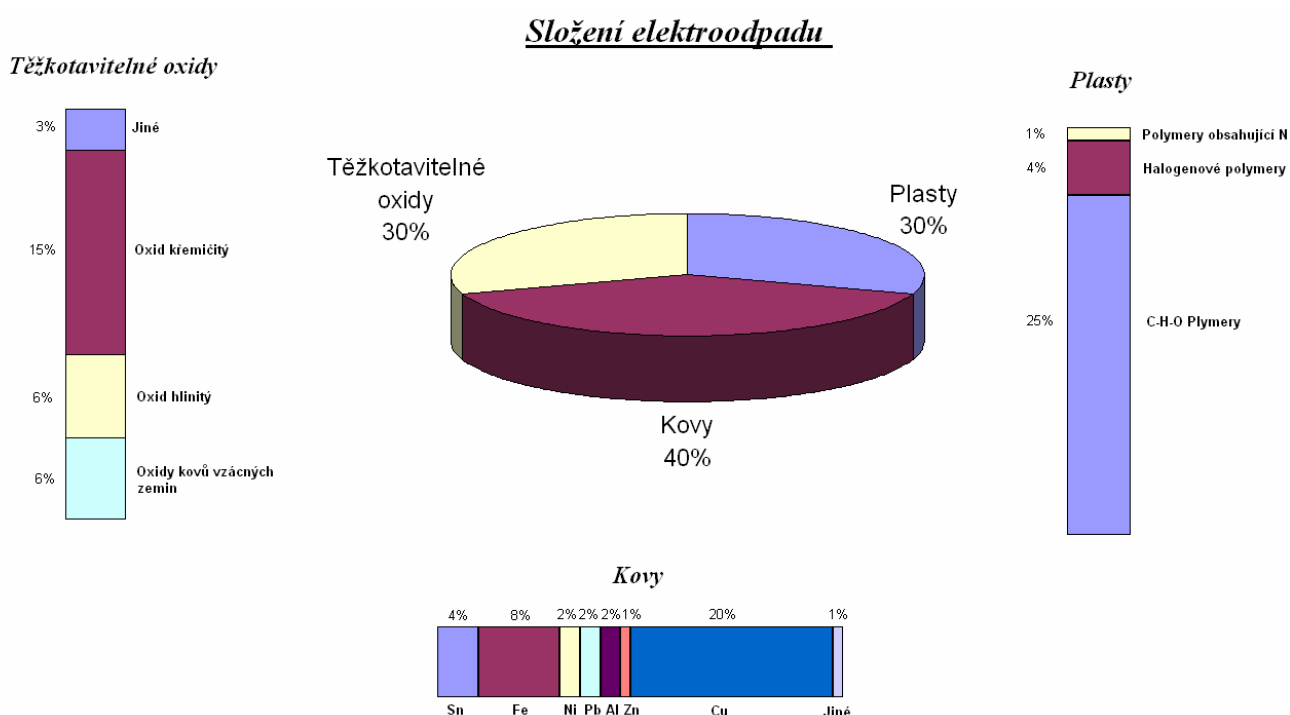
Především se jedná o:

- Kancelářskou techniku (počítače, tiskárny, kopírky, faxy, komunikační zařízení)
- Televizory
- Spotřební elektronika pro volný čas (rádia, zesilovače, přehrávače, kamery, ...)
- Elektrická zařízení pro domácnost (myčky, pračky, chladničky, trouby, ...)
- Malé domácí spotřebiče (mlýnky, holící strojky, vysavače, ...)
- Elektrické hodiny
- Výbojky
- Zařízení pro výměnu peněz
- Laboratorní a kancelářské přístroje
- Měřicí, řídicí a regulační zařízení
- Jednotlivé součástky [21]

Složení elektronického odpadu závisí na mnoha faktorech a to především na druhu výrobků, které spadají do určité kategorie, na zemi původu, výrobcí, velikosti zařízení a také na roku výroby, především však je tvořen kovy, plasty a těžkovými oxidy [21].

Tab. 1 Průměrné materiálové složení elektronických zařízení [21]

Druh odpadu	Obsah složek [hm.%]					
	Železo a jeho slitiny	Neželezné kovy	Plasty	Sklo	Elektro součástky	Ostatní
Osobní počítače	32	18	23	15	12	-
Televizní přijímače	9.9	3	9.5	56.9	8	12.7
Zesilovače	62.2	20.7	1.6	-	15.5	-
Autorádia	52	8.3	6.9	-	31	1.8
Reproduktory	2.5	2.5	31	-	1.5	62.5
Sluchátka	23.8	23.8	42.9	-	7.1	2.4
Videorekordéry	50	12.6	22.6	-	7.2	7.6



Obr. 2 Složení elektroodpadu [21]

2.1 Nebezpečné složky elektroodpadu

Většina recyklovaných spotřebičů, obsahuje mimo jiné také spoustu nebezpečných látek. Mezi látky, které jsou již při výrobě elektrického a elektronického zařízení zakázány nebo do značné míry omezeno jejich použití, ale se kterými se stále můžeme setkat především u starších spotřebičů patří například kadmium, což je toxická látka, která se využívala k ochraně kovů před korozí. Rtuť, která je taktéž velmi toxická. Olovo, při jehož úniku

dochází ke kontaminaci půdy. Šestimocný chrom, který patří mezi karcinogeny. Polybromové bifenyly a polybromové difenyletheny, které se používaly především jako zpomalovače hoření u desek plošných spojů a jsou to látky odolávající rozkladu v přírodě, ukládající se v těle a zvyšující pravděpodobnost výskytu rakoviny. Azbest, který je silně karcinogenní a v neposlední řadě je třeba zmínit freony, které se vyskytují převážně ve starých lednicích a při jejichž úniku dochází ke ztenčování ozónové vrstvy.

Neodborná manipulace s elektroodpadem tedy může způsobit únik těchto látek a následně může ohrozit zdraví člověka nebo životní prostředí, proto je jednou z cest vzniklý elektroodpad recyklovat.

V porovnání se západní Evropou, Česká republika stále ještě zaostává s množstvím odevzdaného elektroodpadu. Většina elektroodpadu končí ve sběrných dvorech, ovšem část můžeme taktéž nalézt i v komunálním odpadu. Jedná se především o menší přístroje, které se díky svým malým rozměrům dají lehce odložit do popelnice. Mezi spotřebiče, se které se naopak nejčastěji odevzdávají do sběrných dvorů patří například televize, monitory, lednice [28].

2.2 Recyklační technologie elektroodpadu

Zvláště při zpracování elektroodpadu je velká pestrost použitých materiálů, které jsou v jednotlivých zařízeních různě kombinovány. Jelikož je sortiment odpadu značný, tak vzrůstá i náročnost na technologii, která musí být pokud možno co nejvíce univerzální [14].

Recyklační linky, využívající se k recyklaci elektroodpadu, jsou proto nákladné a k dosažení efektivity musejí zpracovávat velké objemy odpadu. Existuje několik metod pro zpracování elektroodpadu. Mezi nejvíce používané patří metody mechanické, pyrometalurgické, hydrometalurgické, dále pak elektrochemické a biotechnologické [21].

Mechanické metody

Mechanické metody mají za úkol především zmenšení velikosti vstupního materiálu a jeho roztřídění s využitím fyzikálních vlastností jednotlivých složek. Rozdělujeme je do několika na sobě závislých stupňů.

První stupeň (ruční demontáž)

První operací při zpracování elektroodpadu bývá většinou ruční nebo částečně mechanizovaná demontáž, jež je zaměřena především na součásti s obsahem cenných kovů, jako jsou například transformátory, motory, cívky, kabely, vodivé desky atd. Taktéž je jedním ze stěžejních úkolů odstranění součástí s obsahem nebezpečných látek, kterými mohou být baterie, rtuťové spínače, kondenzátory a jiné [21].

Druhý stupeň (drcení mletí třídění)

Šrot zbaven cenných a nebezpečných součástí putuje dále do drtícího nebo mlecího zařízení, kde je nadrcen popřípadě namlet. Rozdíl mezi jednotlivými drtiči a mlýny lze především nalézt v kapacitě a hrubosti zpracovaného materiálu [21].

Třetí stupeň (separace jednotlivých složek)

Další operací je prosytí získaného granulátu za pomoci sít a to v závislosti na konkrétních požadavcích odběratele či zpracovatele. Plasty a kovy jsou následně znovu od sebe odděleny a to většinou za pomoci kryogenní technologií používané k rozduřování a separaci různých kovů. Ohřevu, který zapříčiní získání nízkotavitelných kovů. Magnetické separaci nebo separaci vzduchem, jež oddělují kovy od plastů. Těžkosuspenní rozduřování, u níž se využívá rozdílné hustoty materiálu nebo také elektromagnetickou separací různých neželezných kovů [21].



Obr. 3 Linka pro zpracování elektrošrotu [14]

Pyrometalurgické metody

Pyrometalurgické metody vycházejí z procesů pyrolýzy, tavení v plazmové, obloukové nebo šachtové peci, struskování, spékání a reakcí s plynnou fází za vysokých teplot. Jde o velmi podobný proces jako při zpracování meziproductů z prvovýroby neželezných kovů z koncentrátů. Mezi hlavní výhody této metody patří schopnost zpracovat všechny formy elektroodpadu, ovšem velké problémy nastávají při zpracování keramický a skleněných složek, které zvyšují množství strusky v pecích, dále pak vysoký obsah mědi v odpadu zvyšuje množství tuhých emisí, které snižují recyklaci kovu přímou cestou a v neposlední řadě je potřeba dodat, že recyklace dalších kovů, jako třeba cín nebo olovo, je buď nízká nebo prakticky nemožná jako v případě hliníku a zinku [21].

Hydrometalurgické metody

Hydrometalurgické zpracování elektroodpadu spočívá ve správné úpravě vstupních odpadů a jejich následném loužení vhodným vyluhovacím činidlem. Po separaci likvidické a solidické fáze se nejčastěji zpracovává vyluh bohatý na kov. Mezi postupy, kterými se dále zpracovávají zkoncentrované vyluhy na kov patří elektrolýza vyluhu, cermentace nebo tlaková redukce [21].

3 DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ

Mezi komponenty, které jsou bez pochyby pro činnost elektronického zařízení velmi důležité patří zejména desky plošných spojů. Tyto desky plošných spojů jsou obsaženy ve většině zařízení a nahrazují tak nevzhledné a nepřehledné vodičové spojení jednotlivých elektronických prvků, použitím vodivých cest. Rozlišujeme tři druhy struktur a také několik druhů základního materiálu, ze kterého jsou desky plošných spojů vyrobeny.

Typy základních materiálů desky plošného spoje je často závislý na požadavcích zákazníka. Většinou se jedná o požadavcích na druh materiálu využitého při výrobě a s tím spojenou tuhost popřípadě ohebnost. Pro výrobu neohebných DPS se ve velké míře využívá termosetů (především epoxidů), naopak k výrobě ohebných DPS se využívá termoplastů. Velmi důležitý aspekt při výrobě jsou tepelné a izolační vlastnosti DPS. Aby nedocházelo ke vznícení desky nebo odtržení spojů, jsou kladeny vysoké nároky na samožhášivost a tepelnou roztažnost DPS. Často se také využívá výztuž, která velkou

měrou upravuje výsledné mechanické vlastnosti jako například pevnost v tlaku, v tahu nebo v ohybu [15], [22].

3.1 Rozdělení základních materiálů desek plošných spojů

Rozdělení základních materiálů pro výrobu desek plošných spojů lze nalézt při uplatnění normy vytvořené americkým sdružením výrobců, jež má typické označení FR(Flame Resist – tepelná odolnost) [15].

FR - 2

Využití lze nalézt pro méně náročné aplikace především u jednovrstvých a dvouvrstvých DPS. Velkou výhodou je nízká pořizovací cena, avšak mezi zápory patří třeba velká návlhnost, malá pevnost vůči odtrhnutí Cu fólie a horší mechanické vlastnosti. Mezi využívané materiály patří například fenolformaldehydové pryskyřice[15].

FR - 3

Nahrazuje materiál FR – 2 a díky svým lepším mechanickým, elektrickým i tepelným vlastnostem je lze použít v náročnějších podmínkách. Při výrobě se využívá většinou epoxidová pryskyřice v kombinaci s tvrzeným papírem [22].

FR - 4

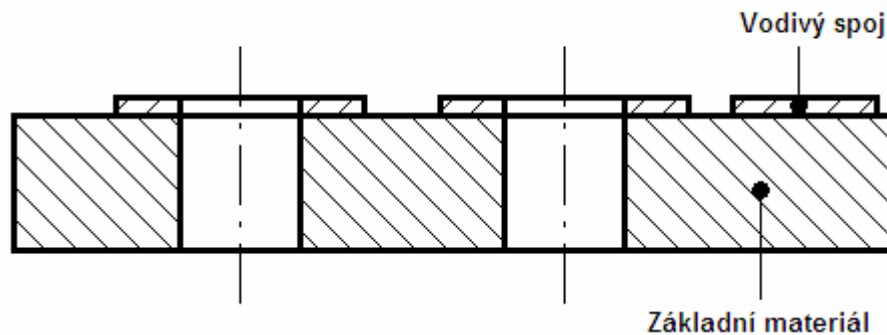
Tam, kde již nedostačují vlastnosti FR – 2 nebo FR – 3 se využívá v hojné míře FR – 4. Oproti již zmíněným materiálům mají výborné mechanické a elektrické vlastnosti, vyšší teplotní odolnost a malou nasákavost. Mezi nevýhody ovšem patří horší mechanické opracování a oproti FR – 2 jsou náklady více než dvakrát vyšší. K výrobě se využívá skloepoxidový laminát (skelná tkanina + epoxidová pryskyřice). Využití těchto materiálů se uplatňuje především v měřicí a regulační technice [22].

3.2 Druhy desek plošných spojů podle struktury

Druhy desky plošných spojů z hlediska struktury rozlišujeme především podle počtu vodivých vrstev, mezi které patří :

Jednovrstvé desky plošných spojů

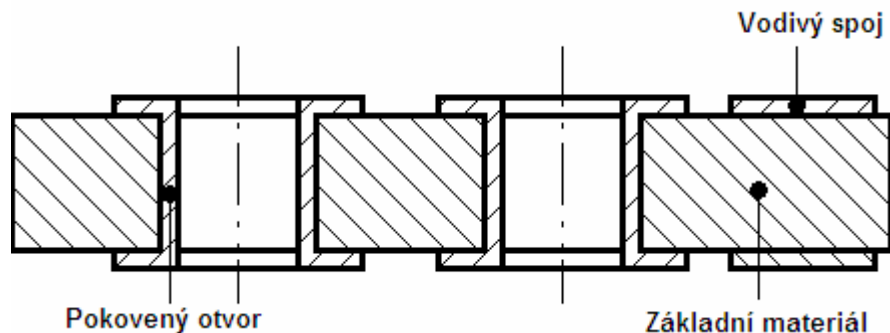
Jedná se o desku plošného spoje, která po jedné své straně vodivě spojuje použité součástky, kterými je osazena. Využití lze nalézt především u řešení jednoduchých aplikací. K osazování se používají klasické vývodové součástky nebo také SMD součástky, které se ovšem na rozdíl od klasických osazují ze strany vodivých cest [22].



Obr. 4 Jednovrstvá deska plošného spoje [23]

Dvouvrstvé desky plošných spojů

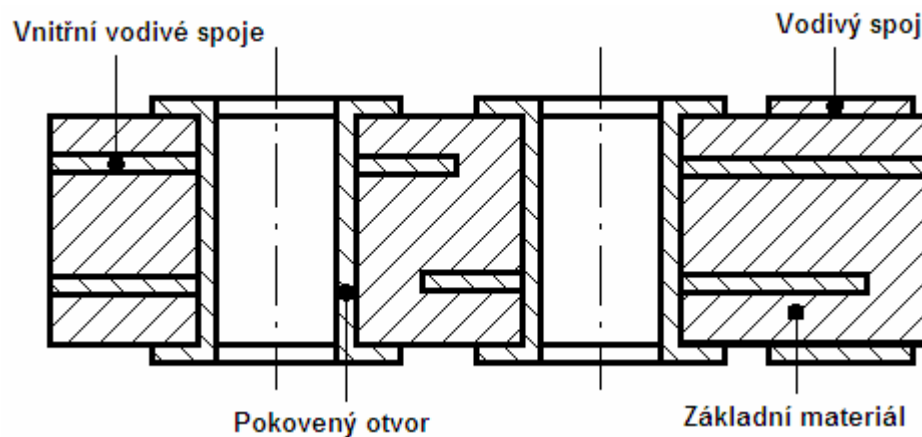
Vyrábí se ze standardního materiálu pro výrobu desek plošných spojů, který je ovšem oboustranně plátován mědí. Součástky jsou umístěny na obou stranách desky. Velkou výhodou oproti jednovrstvým lze tedy nalézt v minimalizaci rozměrů desky, což je zapříčiněno možností vyšší propojitelnosti [22].



Obr. 5 Dvouvrstvá deska plošného spoje [23]

Vícevrstvé desky plošných spojů

Vícevrstvé desky plošných spojů jsou složitější a finančně nákladnější než jedno či dvouvrstvé DPS, ovšem propojitelnost je vyšší. Tyto desky plošných spojů mají více jako dvě propojovací vodivé vrstvy, nejčastěji však čtyři a z toho dvě vnější a dvě vnitřní. Při výrobě se používají tenké základní materiály, na kterých se nejprve vytvoří vodivé obrazce vodivých vrstev. Na vnější vrstvy se použije měděná fólie a celá sestava se následně slisuje pomocí lepicích listů [22].

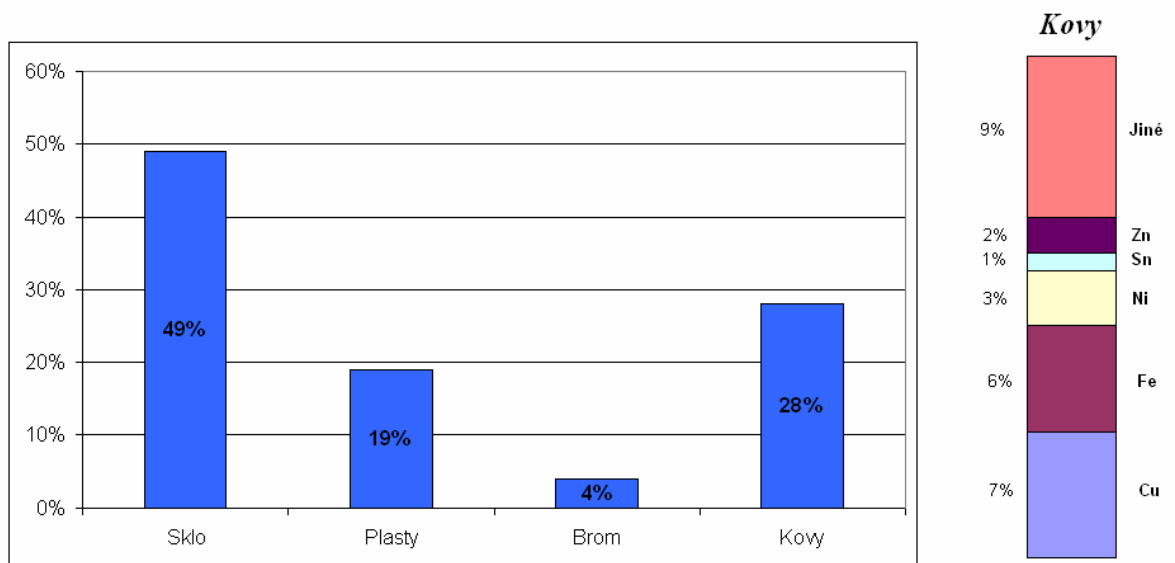


Obr. 6 Vícevrstvá deska plošného spoje [23]

3.3 Recyklace desek plošných spojů

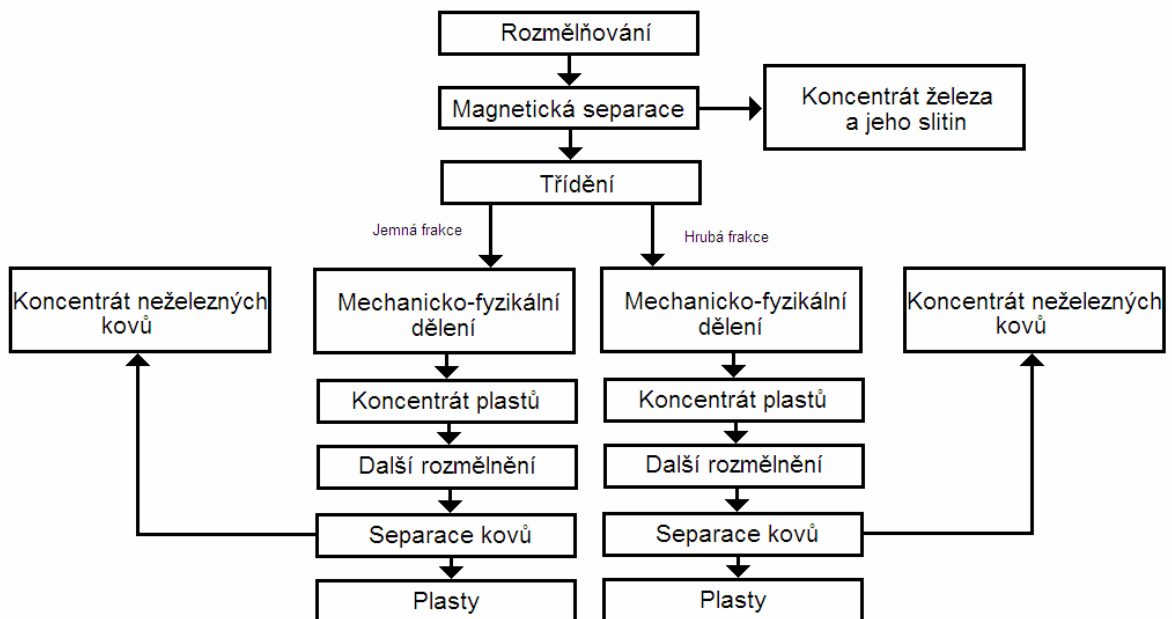
Způsob recyklace desek plošných spojů je obdobný jako u recyklační technologie elektroodpadu viz str. 18.

Typické materiálové zastoupení ve vodivých deskách



Obr. 7 Typické materiálové zastoupení ve vodivých deskách [21]

Jako příklad recyklace DPS uvádím schéma mechanického postupu při zpracování ručně demontovaných počítačových desek, po odstranění částí s obsahem neželezných kovů (Obr. 8) [21].



Obr. 8 Schéma mechanického zpracování DPS obsažených v počítačích [21]

Několikastupňové rozměňování deskového odpadu je zde řešeno jednoduchými nebo dvojitými nůžkami. Dále následuje nejčastěji mletí v kladivových mlýnech. Mezi jednotlivými stupni rozměňování jsou využity klasické třídiče. Magnetickou separací je odděleno železo. Následuje roztrídění, obvykle na síťových třídících různých druhů a konstrukcí z čehož se získá jemná a hrubá frakce. Obě frakce, ovšem každá zvlášť, jsou podrobeny mechanicko-fyzikálnímu dělení na kovovou (koncentrát neželezných kovů) a nekovovou část (koncentrát plastů) převážně za pomoci vzduchových nebo elektrostatických třídíčů. Po dodatečném rozmělnění je znovu opakována dočišťující separace kovů z plastového podílu. Jako produkt se většinou získává frakce s obsahem přibližně 10% železa a jeho slitin, 30% neželezných kovů, 30% plastů a 30% prachu zachyceného na filtrech. Zatímco kovové koncentráty jsou recyklovány v hutích, nekovové frakce se většinou deponují [21].

Jedním z možných způsobů dalšího využití plastové drti vzniklé při recyklaci elektroodpadu je vytvoření termoizolačních panelů. Pro realizaci tohoto záměru je zapotřebí využít pojiva, které nám spojí drť do celistvého tvaru. Vhodných adheziv je velmi mnoho, je ovšem potřeba brát ohled na cenu pojiva, aby nedocházelo ke zbytečnému zvýšení ceny konečného produktu. Jedním z vhodných adheziv pro výrobu termoizolačních panelů je proteinový hydrolyzát - hykol. Jedná se o látku získávanou recyklací činěných odpadů za pomoci enzymové hydrolýzy v kožedělném průmyslu. Mezi jeho klady lze zařadit dobré adhezivní vlastnosti, nezávadnost a především nízké náklady na výrobu. Ovšem je taktéž potřeba dodat, že se jedná o adhezivo, které je ve vodě rozpustné. Tento jev je potřeba potlačit, což lze realizovat za pomoci síťovacích činidel.

4 KOŽELUŽSKÝ PRŮMYSL

Produkt zpracováváný v koželužském průmyslu - usňový materiál, je vyčiněná kůže převážně savců, zbavená při činění srsti. Usně se používají nejen k výrobě oděvů, ale i k výrobě obuvi, rukavic, kožené galanterie, nábytku atd. Povrchovou úpravou a zpracováním řemene jsou usně zpracovány do nepřeberného množství typů, druhů a charakterů [17].



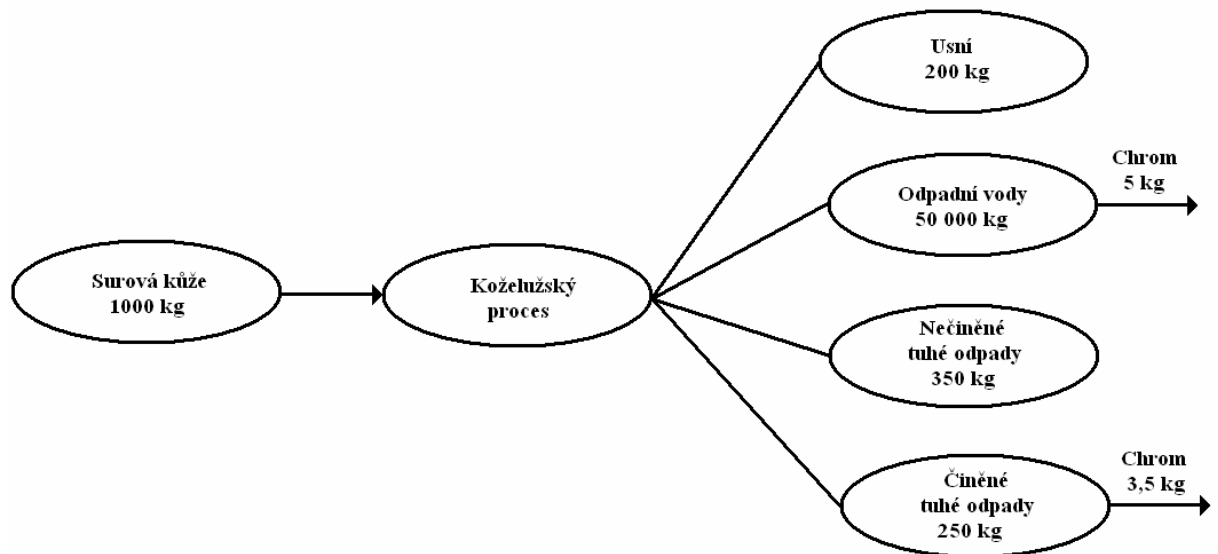
Obr. 9 Vybrané záběry zpracování surové kůže v koželužské technologii [18]

4.1 Vznik koželužných odpadů

Koželužský průmysl také patří mezi typická průmyslová odvětví, která mohou potencionálně přispívat ke znečišťování životního prostředí, pokud se v průmyslové činnosti nerespektují principy trvale udržitelného rozvoje [4].

V koželužské výrobě vzniká poměrně značné množství odpadů majících nepříznivé dopady na základní složky životního prostředí, tj. vodu, půdu a ovzduší [4].

Příkladem vzniku koželužných odpadů pro nás může být způsob zpracování 1000 kg surové kůže viz obr. 10.



Obr. 10 Bilance produkovaných odpadů během koželužských operací [5]

Odpadní vody

K výrobě usní jsou nezbytné tři základní materiálové komponenty: surová kůže, chemikálie a voda. Tato voda použitá při zpracování kůže na useň se pak stává vodou odpadní. Při zpracování solí konzervovaných kůží na useň platí, že množství spotřebované vody se zhruba rovná množství vody odpadní. Snížení množství odpadních vod se docílí úsporou vody spotřebované v koželužně. Ovšem většinou to znamená, že se zvyšuje koncentrace znečištění odpadních vod [4].

Nečiněné tuhé odpady

Množství nečiněných odpadů se v koželužnách často liší. Závisí na tvarování kůží, které do koželužny přicházejí ke zpracování, technologickém uspořádání procesu zpracování, technické úrovni koželužny a dalších faktorech. Prakticky všechny nečiněné odpady jsou využitelné a lze je zhodnotit různými chemickými a biochemickými postupy [4].

Činěné tuhé odpady

Stejně jako u nečiněných tuhých odpadů se množství činěných odpadů v jednotlivých koželužnách často liší. Závisí např. na zařazení štípání v technologickém procesu. Štípání ve stavu wet-blue je přesnější než v holině, takže množství postružin bývá menší.

Při činění usní se vychází z fyzikálně chemické operace, při které se holina (surová kůže zbavená chlupů) přeměňuje na useň. Je to nejdůležitější úsek koželužské výroby. Správně vyčiněná useň je odolná vůči vlhkosti a vodě, odolává vyšším teplotám než holina, odolává účinkům bakterií a enzymů, odolává působení slabých kyselin a zásad, má trvalou pružnost, ohebnost, pevnost a správný omak [17].

Jedním z novodobých způsobů činění usní je chromočinění. Jedná se o vyčiňování solemi chromu. Činicí vlastnosti chromitých solí byly po prvé popsány F. Knappem r. 1858. chromočinění se postupně vyvíjelo a postupem doby vytlačilo nejrozšířenější tříslení, hlavně při výrobě svrškových obuvnických usní, některých druhů technických a řemenových usní. Rovněž nahradilo glazé činění při výrobě rukavičkářských usní, neboť je daleko rychlejší a při tom levnější. Chromočinění dává usně měkké, pevné, trvanlivé, stále proti vodě, které se dají snadno barvit, bývají však poněkud méně tažné než usně činěné hlinitými solemi [17].

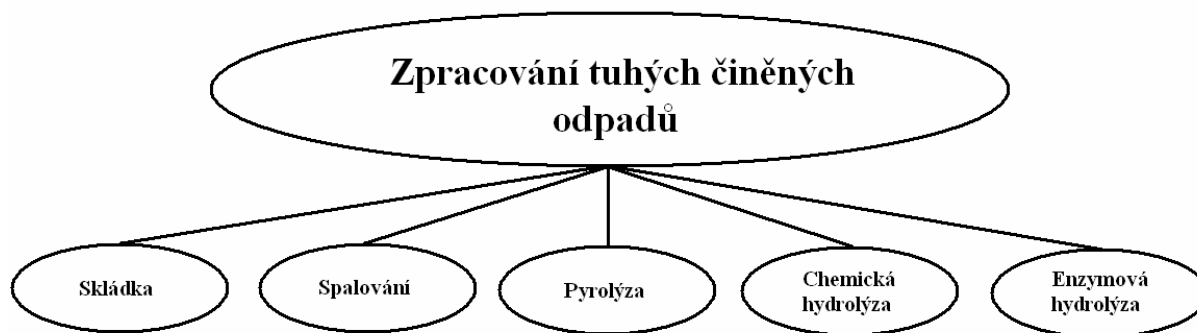
Obvykle se vyskytující množství činěných odpadů kůže představuje přibližně 24% podíl z celkového množství všech odpadů. Co do obsahu sušiny představují tyto odpady zhruba 48% podíl ze sušiny všech odpadů [4].

Hlavní druhy činěných odpadů a jejich obvyklé množství z výroby hověžinových usní jsou uvedeny v Tab. 2.

Tab. 2 Činěné odpady z výroby hověžinových usní [4]

Odpad	Množství kg.t ⁻¹ kůže	
	Celkem	Sušina
Postružiny	100	48
Brusný prach	3	2
Čněné odřezky	18	16
Usňové odřezky	29	26
Celkem	150	92

Mnoho takového odpadu proto končí na skládkách, kde na něj působí kyselá deště, které zapříčiňují vypírání trojmocných solí chromu [10]. Takto vzniklé trojmocné soli chromu nejsou přímo pro člověka nebezpečné, ovšem při úpravě pitné vody v níž se využívá oxidační desinfekce (ozon, chlor, apod.) může docházet k oxidaci trojmocnému chromu na šestimocný, který již pro lidské zdraví a životu nebezpečný je. Abychom zamezili možnému znečištění vod, je vhodné postružiny zpracovat. Jednotlivé způsoby zpracování postružin jsou uvedeny na obrázku obr. 11. Z uvedených možností je enzymová hydrolýza bezodpadovou technologií tzn. že všechny produkty této technologie lze dále stoprocentně využít [13].



Obr. 11 Zpracování tuhých činných odpadů [5]

4.2 Enzymová hydrolyza

V současné době se enzymová hydrolyza jeví jako nejperspektivnější postup při zpracování tuhých činných odpadů.

Postup při její realizaci je následující. Postružiny se nejdříve propírají teplou vodou. Pak se zaplaví vřelou vodou a přidá se suspenze oxidu hořečnatého (MgO v množství 2-8% z hmotnosti postružin). Hydrolyza je katalyzována enzymem účinným v alkalickém prostředí (při 60-80 °C). Technické řešení umožňuje docílit téměř až 100% výtěžnosti bílkovin z postružin. Ekonomická efektnost je podpořena vyřešením recyklace alkalické směsi k dechromaci. Jedna z dalších je, že oxid chromu vzniklý dechromací postružin a relativně méně znečištěný lze dále využít spolu s dvojchromanem sodným jako chromitého činidla [4].

Mezi největší výhody patří zejména její mírné reakční podmínky, jako je například maximální teplota 80°C, alkalická směs v rozmezí pH 8-9 a nebo průběh procesu při atmosférickém tlaku [11]. Velkou výhodou je taktéž způsob řízení procesu co do požadavků vlastností a to složením reakční směsi nebo také přesným dávkováním enzymů v daných časových intervalech. Takový postup pak můžeme aplikovat při změně konkrétních požadavků na kvalitu a vlastnosti daného odběratele. Realizací enzymové hydrolyzy získáme chromité soli a bílkovinný hydrolyzát, což jsou produkty, které můžeme dále využít [12].

Chromité soli lze ve stoprocentní míře vrátit do výroby v kožedělném průmyslu a způsob použití bílkovinného hydrolyzátu je velmi všestranný [5].

4.3 Bílkovinný hydrolyzát - HYKOL

Jde o stoprocentně využitelný materiál, který má díky svým vlastnostem širokou škálu využití a je šetrný k životnímu prostředí. Jeho iontové reakce probíhají v závislosti na pH prostředí [9]. Využívá se v lékařství, v zemědělství, ovšem pro nás je zásadní využití hykolu jako adheziva. Jelikož je hykol produktem recyklační technologie je výhodný, poněvadž ve srovnání s jinými adhezivy.. Jednou z jeho negativních vlastností je, že v roztoku podléhá hydrolytické degradaci a následné ztrátě mnoha fyzikálních vlastností. Rychlost degradace roste s teplotou, hodně závisí na pH systému a na vnitřním tlaku roztoku. Pokud je pH neutrální postup degradace je nejpomalejší, ovšem s každou odchylkou od tohoto stavu zrychluje. Tuto vlastnost je nutné potlačit, což je nejlépe realizovatelné za pomoci síťování [6].

4.4 Proces síťování

Cílem tohoto procesu je modifikovat neblahé vlastnosti hykolu, konkrétně jeho rozpustnost ve vodě a získat tak vodostálé pojivo. Proces síťování je závislý na teplotě, čase po který je vzorek vystaven dané teplotě, na volbě správného síťovacího činidla, ale především koncentraci síťovacího činidla ve vzorku.

4.5 Síťovací činidla

Jedním ze síťovacích činidel, které má vynikající síťovací vlastnosti je formaldehyd.

Formaldehyd nebo také aldehyd kyseliny mravenčí, je nejjednodušším aldehydem v prostředí. Člověk jej uměle vyrábí a využívá jako surovinu pro výrobu řady produktů, například jako fenolformaldehydové pryskyřice, dřevotřísky, překližky, močovinoformaldehydové pryskyřice, melaminoformaldehydové pryskyřice, izolací, textilií, dezinfekčních prostředků a jiné [19].

Ovšem velikým záporem při jeho využití je jeho negativní vliv na zdraví člověka. Formaldehyd dráždí oči a vyvolává slzení. Vyšší koncentrace mohou vyvolat zákal rohovky nebo i ztrátu zraku a jiné, mimo to také patří podle klasifikace EPA formaldehyd mezi pravděpodobné lidské karcinogeny [20].

Jelikož se při použití termoizolačních panelů uplatňují mechanismy sdílení tepla, velmi důležitým parametrem, vypovídajícím o kvalitě panelů, je tepelný součinitel tzv. součinitel tepelné vodivosti. Než se zmíním blíže o tomto parametru, uvedu několik základních faktů o sdílení tepla.

5 SDÍLENÍ TEPLA

Sdílení tepla se označuje jako přenos energie z oblastí o vyšší teplotě do oblastí s teplotou nižší. Rozlišujeme tři základní způsoby sdílení tepla, mezi které patří kondukce (vedení), konvekce (proudění) a radiace (záření/sálání) [24].

Sdílení tepla vedením souvisí s tepelným pohybem a vzájemným energetickým působením molekul, atomů, iontů a elektronů. Přenos tepla vedením se vyskytuje nejen v tuhých, ale i v kapalných a plynných látkách, ovšem u tuhých materiálů je většinou jediným mechanismem sdílení tepla [24].

Sdílení tepla prouděním je možné jen v proudícím prostředí. Pohybující se tekutina přitom předává nebo odebírá teplo z povrchu okolních těles. Sledovaným povrchem je obvykle povrch tělesa tuhého, ale může jím být také plocha dotyku dvou kapalin, popřípadě kapaliny a plynu [24].

Ke sdílení tepla zářením dochází za pomoci elektromagnetického vlnění. Tepelná energie tělesa se zde mění na elektromagnetické vlnění, které se dále šíří prostorem a je pohlcováno povrchy těles, ve kterých se opět promění na tepelnou energii. Na rozdíl od předchozích dvou způsobů sdílení tepla není záření vázáno na hmotu, tedy může probíhat i ve vakuu [24].

Ve většině případů vyskytujících se v technické praxi se současně uplatňují společně všechny tři základní mechanismy sdílení tepla, avšak zpravidla jedna z nich je zanedbatelná.

V termoizolačních panelech však dochází především ke sdílení tepla vedením.

5.1 Sdílení tepla vedením

V obecném případě způsobuje proces sdílení tepla vedením změnu teploty jak v prostoru, tak i v čase. Matematickým vyjádřením teplotního pole určitého tělesa [24] je vztah

$$t = f(x, y, z, \tau) \quad (1)$$

Kde t – teplota [$^{\circ}\text{C}$], x, y, z - souřadnice [m], τ - čas [s]

Teplotní pole je množina hodnot teploty všech bodů zkoumaného prostoru v každém časovém okamžiku [24]. Rozlišujeme stacionární (ustálené) a nestacionární (neustálené) teplotní pole. Pokud v rovnici (1), jež popisuje nestacionární teplotní pole, vynecháme čas τ a výraz následně napíšeme ve tvaru

$$t = f(x, y, z) \quad (2)$$

získáme vztah pro stacionární teplotní pole, jež je funkcí pouze souřadnic. V závislosti na tom, zda-li je teplota funkcí jedné, dvou nebo tří souřadnic, rozlišujeme jednosměrné, dvousměrné (rovinné) nebo trojsměrné (prostorové) teplotní pole. Ve spojitosti s časem se definuje nestacionární nebo stacionární jednosměrné, dvousměrné či trojsměrné teplotní pole.

Ve skalárním poli teplot vycházejících z rovnice (1) lze definovat takzvané izotermické plochy, což jsou geometrická místa bodů, které mají stejnou teplotu. U dvousměrných úloh přecházejí izotermické plochy v čáry, které spojují body o stejné teplotě – izotermy.

Podmínkou sdílení tepla je nerovnoměrné rozložení teploty ve zkoumaném tělese. Množství tepla, přenesené přes izotermický povrch za jednotku času se nazývá tepelný tok a označuje se jako P . Tepelný tok, vztažený na jednotku povrchu izotermické plochy, je hustota tepelného toku q [24]. Platí

$$dP = q \cdot dS \quad (3)$$

Kde P – Tepelný tok [W], q – Hustota tepelného toku [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$], S - Plocha [m^2]

Na počátku 19.století Fourier experimentálně zjistil, že hustota tepelného toku q je úměrná zápornému gradientu teploty. Tato závislost je nazývána prvním Fourierovým zákonem vedení tepla [24] a zapisuje se ve tvaru

$$q = -\lambda \cdot \text{grad}t = -\lambda \cdot \nabla t = -\lambda \cdot \left(\frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\partial t}{\partial y} + \frac{\partial t}{\partial z} \right) \quad (4)$$

Kde λ - Součinitel tepelné vodivosti [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]

Vektory q a grad t leží na stejné přímce, ale směřují na opačné strany, poněvadž se teplo vždy předává z teplejších částí tělesa na místa chladnější. Tím se vysvětluje znaménko mínus na pravé straně rovnice (4) [24].

Množství tepla dQ [J], procházející izotermickou plochou se určí z rovnice

$$dQ = q \cdot dS \cdot d\tau \quad (5)$$

5.2 Součinitel tepelné vodivosti

Součinitel tepelné vodivosti λ je fyzikální parametr látky, který obecně závisí na teplotě, tlaku a složení látky. Většinou se určuje za pomoci měření hustoty tepelného toku, gradientu teploty [24] a poté ze vztahu

$$\lambda = \frac{dQ}{\text{grad}t \cdot dS \cdot d\tau} \quad (6)$$

který vyplývá ze vztahů (4) a (5). Součinitel tepelné vodivosti je tedy množství tepla, které projde jednotkovou plochou izotermického povrchu za jednotku času, přičemž v tělese je jednotkový teplotní gradient [24].

Podle součinitele tepelné vodivosti můžeme rozdělovat látky do dvou skupin a to na tepelné vodiče, to jsou látky s vysokou rychlostí vedení tepla a velkým součinitelem tepelné vodivosti a také na tepelné izolanty, což jsou látky s nízkou rychlostí vedení tepla a malým součinitelem tepelné vodivosti [24].

Sdílení tepla vedením u tuhých těles také závisí na tom, zda-li se jedná o kovy, polovodiče nebo elektricky nevodivá tělesa. Obecně však platí, že kovy jsou lepšími vodiči tepla než nekovy a krystalické látky vedou teplo lépe než látky amorfnní. U kovů, kde vedení tepla způsobují především volné elektrony, dosahuje λ hodnot řádově 10^1 až $10^2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. U většiny kovů se součinitel tepelné vodivosti s rostoucí teplotou poněkud snižuje. Velkou roli taktěž hrají stopy příměsí, které snižují u čistých kovů vedení tepla [24].

U polovodičů se na vedení tepla, zároveň s volnými elektrony taktěž podílí pružné kmitání atomů v mřížce. Počet volných elektronů je ale mnohem nižší než je tomu u látek kovových. Takže polovodiče mají λ nižší než-li kovy. S rostoucí teplotou a počtem cizích

atomů se u polovodičů zvyšuje počet volných elektronů, což taktéž zapříčiňuje zvyšování tepelné vodivosti [24].

Elektricky nevodivé materiály se vyznačují malým součinitelem tepelné vodivosti, poněvadž teplo se v nich přenáší pouze kmitavým pohybem atomů [24].

5.3 Tepelný odpor

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (7)$$

Kde d – Tloušťka materiálu [m], λ – Součinitel tepelné vodivosti materiálu [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]

Tepelný odpor R [$\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$] je fyzikální veličina, která vyjadřující tepelně-izolační vlastnosti materiálu. Je přímo závislá na tloušťce konstrukce d a součiniteli tepelné vodivosti λ . Při dosahování co nejvyšších hodnot R je cílem, získat tloušťku materiálu co největší a hodnota λ co nejnižší. Tepelný odpor R vyjadřuje odpor 1m^2 konstrukce proti prostupu tepelné energie při rozdílu teplot 1 K [25].

Stacionární vedení tepla

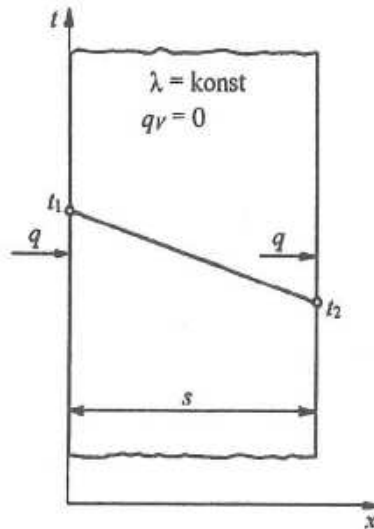
Vychází z předpokladu, že teplotní rozdíl mezi jednotlivými částmi tělesa je ustálený a v čase se nemění [24]. Je popsáno rovnicemi

$$\nabla^2 t + \frac{q_v}{\lambda} = 0 \quad (8)$$

Tento vztah je taktéž znám jako Poissonova rovnice rovnicí

$$\nabla^2 t = 0 \quad (9)$$

Jež je známá jako rovnice Laplaceova.

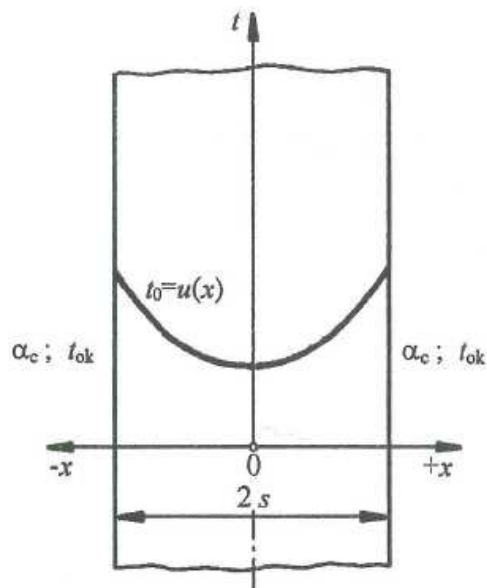


Obr. 13 Schéma stacionárního vedení tepla rovinnou stěnou pro případ ohřevu

[24]

Nestacionární vedení tepla

Celá řada procesů v oblasti sdílení tepla vedením má nestacionární charakter, tedy že teplotní pole v tělese nezávisí jen na souřadnicích, ale i na čase. Všeobecně platí, že řešení nestacionárních úloh je složitější než řešení případů stacionárních. Další proměnná – čas způsobuje, že i nejjednodušší procesy jednosměrného nestacionárního vedení tepla jsou popsány parciální diferenciální rovnicí [24].



Obr. 14 Příklad nestacionárního vedení tepla rovinnou stěnou pro případ ohřevu

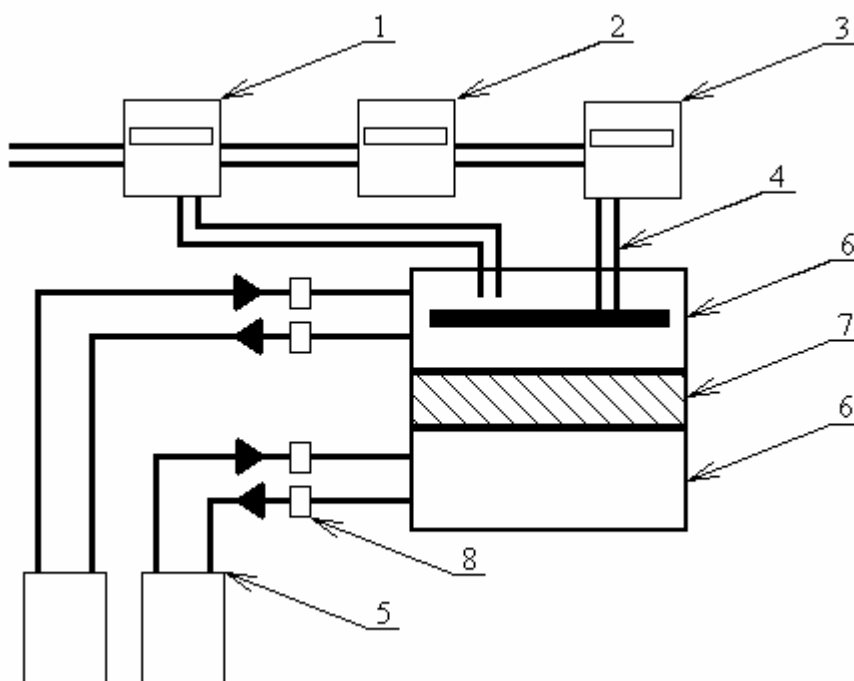
[24]

5.4 Způsoby měření součinitele prostupu tepla

K určení součinitele prostupu lze provést několika způsoby měření, jež jsou dány především tepelným režimem, ve kterém pracují. Nejčastěji však se měření realizuje ve stacionárním či nestacionárním režimu. Pro každý z uvedených způsobů bylo vypracováno několik konkrétních metod, které se úspěšně využívají v praxi. Obecně lze říci, že pro materiály dobře tepelně vodivé stačí stacionární metody a pro tepelné izolanty jsou vhodnější metody nestacionární [27].

Stacionární měření součinitele prostupu tepla

Při stacionárním měření součinitele prostupu tepla se vychází z předpokladu, že teplota není funkcí času, ale pouze souřadnic. Mezi nevýhody stacionárních měřicích metod je časová náročnost při jejich měření a také nutnost stanovit tepelnou vodivost jen suchých materiálů. V tomto případě se pak přesnost měření pohybuje kolem 1 %. S růstem obsahu vlhkosti v měřeném materiálu se přesnost měření zhoršuje. Pro stacionárním měření součinitele tepelné vodivosti se často používá komerčně vyráběný přístroj [27] dle Bocka viz Obr. 15



Obr. 15 Schéma přístroje pro měření tepelné vodivosti dle Bocka [27]

Kde 1 - Motorový kompenzátor, 2 – Wattmetr, 3 - 12 Stupňový přepínač výkonu, 4 - Topení (70Ω), 5 – Termostaty, 6 - Topné desky, 7 - Zkušební deska, 8 - Odporové teploměry

Nestacionární měření součinitele prostupu tepla

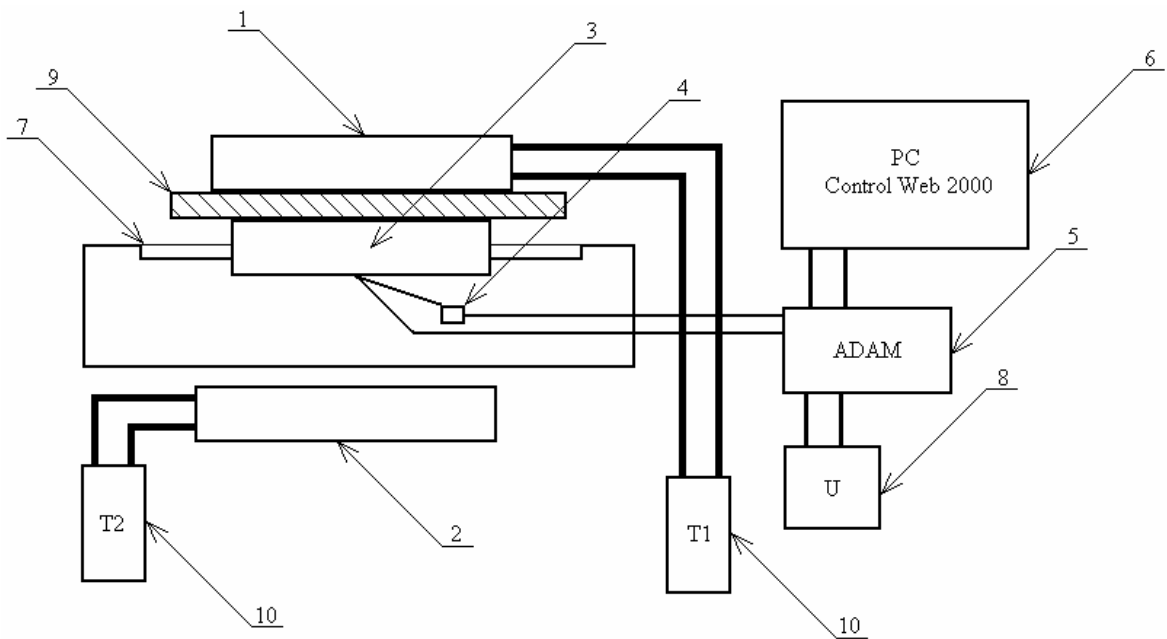
V současné praxi se začínají postupně uplatňovat metody založené na neustáleném toku tepla, které má řadu výhod, mezi něž patří především krátká doba měření, jednoduchost postupu a měřicího zařízení i možnost určení důležitého vlivu vlhkosti vzorků izolačních materiálů na jejich tepelnou vodivost [27].

U nestacionárního vedení tepla se teplota mění s časem. V praxi se nejčastěji setkáme s případem, kdy je teplo vedeno pouze v jednom směru. Teplota je tedy funkcí času a pouze jediné souřadnice. Obecně lze konstatovat, že měření tepelné vodivosti nestacionární metodou je vzhledem k metodám stacionárním časově méně náročné a tím se tyto metody stávají více prakticky využitelnými. Přesnost této metody je 5 %. Chyba této metody se zvyšuje s velikostí ztrát, tj. s tepelnou vodivostí vzorku [27].

K měření tepelné vodivosti nestacionární metodou se používá především přístroje podle Fitcha.

Měřicí aparatura podle Fitcha

Využití tohoto přístroje lze nalézt především při měření tepelné vodivosti izolačních materiálů [27].



Obr. 16 Měřící aparatura podle Fitche [27]

Kde 1 – Temperační deska pro teplotu t_1 , 2 – Temperační deska pro teplotu t_2 , 3 – Měřící váleček, 4 – Termočlánek, 5 – systém ADAM, 6 – Osobní počítač, 7 – Izolační kryt měřícího válečku, 8 – Stabilizovaný stejnosměrný zdroj, 9 – Měřený vzorek, 10 – Termostaty

Pro odvození matematického modelu popisující závislost teploty měřícího válečku na čase se vychází z následující bilance tepla [27].

$$-K \frac{dt}{d\tau} = \frac{S\lambda(t-t_1)}{\delta} + B(t-t_1) \quad 0 < \tau < \tau_m \quad (9)$$

Kde K - Tepelná kapacita měřícího válečku [$\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$], S - Plocha vzorku [m^2], λ - Součinitel tepelné vodivosti materiálu [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$], t - Snímaná teplota měřícího válečku [$^{\circ}\text{C}$], t_1 - Teplota temperační desky (1) [$^{\circ}\text{C}$], δ - Tloušťka vzorku [m], B - Koeficient tepelných ztrát [$\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$], τ - Čas [s], τ_m - Orientační čas měření [s]

Pro B platí:

$$B = \alpha \cdot S_z \quad (10)$$

Kde α - Koeficient přestupu tepla [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$], S_z - Plocha, na níž dochází ke ztrátám [m^2]

Pravá strana rovnice (9) představuje tok tepla přes hmotu vzorku bloku 1 do měřicího válečku. Zde jsou započítány i ztráty tepla vzniklé přirozeným prouděním vzduchu kolem měřicího přístroje [27].

Levá strana rovnice (9) představuje akumulaci tepla v měřicím válečku prezentovanou jako jeho časovou změnu teploty [27].

Rovnice (9) je homogenní diferenciální rovnice prvního řádu. Jejím řešením je rovnice (11):

$$t = t_1 - (t_1 - t_2(0)) \cdot \exp^{-(A_1 + A_2)\tau} \quad (11)$$

Kde pro A_1 a A_2 platí vztahy:

$$A_1 = \frac{S\lambda}{\delta K} \quad (12)$$

$$A_2 = \frac{B}{K} \quad (13)$$

$$A_3 = A_1 + A_2 \quad (14)$$

Kde A_1 [s^{-1}] - Parametr měřicího zařízení, A_2 [s^{-1}] - Parametr vyjadřující tepelné ztráty do okolí, A_3 [s^{-1}] - Parametr získaný výpočtem z parametrů A_1 a A_2

Vyhodnocení naměřených dat závislosti teploty t měřicího tělíska na čase τ se provádí podle matematického modelu, kde parametry a_1, a_2, a_3 se určí nelineární regresí

$$t = a_1 + a_2 \cdot \exp^{(a_3\tau)} \quad (15)$$

Jenž odpovídá rovnici (11), tedy například

$$a_3 = -(A_1 + A_2) = -A_3 \quad (16)$$

Kde a_1, a_2, a_3 - Parametry vyhodnocující se nelineární regresí

Tepelná vodivost se pak získává z parametru a_3 [27].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 MODIFIKACE HYKOLU

Jedním z cílů mé práce bylo upravit vlastnosti pojiva Hykolu pro přípravu termoizolačních panelů tj. sledovat stupeň síťovací reakce. Předpokladem bylo docílit co nejvyšší nerozpustnosti hykolu ve vodě s použitím přesného množství síťovače. Pro své vlastnosti byl vybrán jako vhodné síťovače krotonaldehyd. Za účelem získat modifikovaný hykol, který je vodostálý a díky optimálnímu dávkování minimalizuje náklady na přípravu adheziva, jsem pod vedením Ing. Hany Charvátové, Ph.D. v laboratoři UIP Fakulty technologické, která je pro tyto experimenty vhodně vybavená, sledoval stupeň síťovací reakce hykolu.

6.1 Příprava adheziva z modifikovaného hykolu



Obr. 17 Digestor v laboratoři C 206 Fakulty technologické, UTB ve Zlíně [30]

Postup při vytváření vzorků

- Diferenčně jsem navážil hmotnost hykolu. Požadovaná hmotnost byla přibližně 50g pro první experiment, navážky následujících vzorků již bylo pro 35g.
- Taktéž jsem navážil požadované množství kyseliny ftalové. Dávkoval jsem 0,5%.

- Dále bylo nutné navážit hmotnost krotonaldehydu. Jednotlivé koncentrace byly zvoleny v rozmezí od 1 - 50%.
- Poté jsem smíchal nejdříve kyselinu ftalovou s připraveným hykolem a až do takto připraveného roztoku byl přidán krotonaldehyd.
- Smíchaný roztok jsem vylil na předem připravenou fólii. Abych docílil určitého tvaru vzorku po vypaření vody, využil jsem formy o rozměrech 14 x 12,5cm. Okraje formy zabraňovaly připravenému vzorku roztečení do stran.
- Pro zjištění přesné hmotnosti jsem ještě jednou zvážil hmotnost použité kádinky a alobalu [30].



Obr. 18 Vysušený vzorek s obsahem 15% krotonaldehydu [30]

Postup při síťování

- Nejdříve jsem vzorek vysušil za teploty laboratoře se zapnutým odsáváním v digestoři (tento postup je důležitý, aby následně nevznikaly nežádoucí bubliny ve struktuře vzorku)
- Během sušení jsem zjišťoval úbytek vlhkosti ve vzorku (jakmile se hmotnost vzorku neměnila, byl vzorek vysušen do konstantní hmotnosti)
- Vzorek jsem rozdělil na menší části a označil, aby nedošlo k záměně

- Vložil jsem jednotlivé vzorky do sušárny (na 180°C)
- Každý vzorek byl podroben síťování po dobu v rozmezí 5 – 30 minut [30]

Při přípravě vhodného adheziva jsem nejdříve zaměřil na určení koncentrace krotonaldehydu a také na době síťování vytvořených vzorku.

Taktéž jsem se počátku domníval, že síťování je důležité hlavně v povrchových vrstvách. Čerpal jsem především ze zkušeností při výrobě a síťování střívek ve firmě Cutisin [29]. Proto jsem některé ze vzorků ještě potíral ze všech stran koncentrovaným krotonaldehydem. Jak se postupem času ukázalo, natírání vzorků mělo zanedbatelný vliv na jejich síťovací reakci [30].

6.2 Určení optimálního složení směsi

Každý síťovaný vzorek jsem z důvodů testování jeho rozpustnosti ponořil do destilované vody a vizuálně jsem se snažil odhadnout stádium síťování vzorku, především podle jeho stupně zbotnění a rozpouštění [30].

Složení vzorku: Hykol (obsahující 30 hm. % sušiny) + 1 hm. % kyseliny ftalové na sušinu + 30 hm. % krotonaldehydu na sušinu

Tab. 3 Složení vzorku

	Teoretická navážka [g]	Skutečná navážka [g]
Hykol	35	35,001
Kyselina ftalová	0,0525	0,053
Krotonaldehyd	3,150	3,172

Tab. 4 Hmotnosti vzorků ponořených do destilované vody

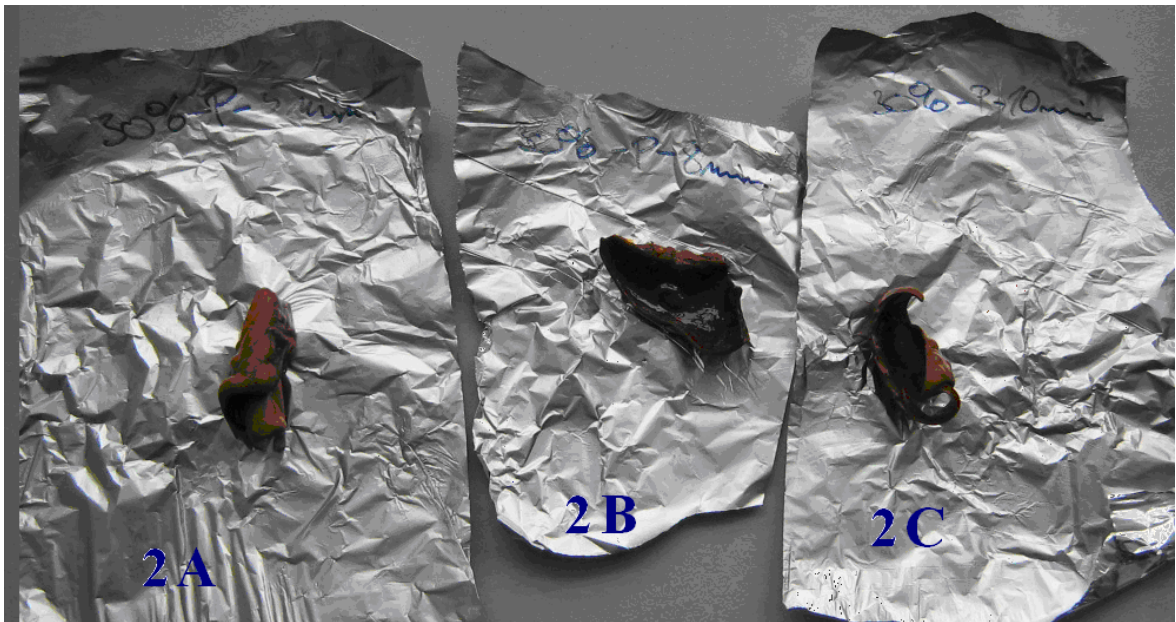
Číslo vzorku	Doba síťování [min.]	Charakteristický popis	Hmotnost [g]
1A	5	Nepotřený	0,190
1B	8	Nepotřený	0,176
1C	10	Nepotřený	0,202
2A	5	Potřený	0,464
2B	8	Potřený	0,610
2C	10	Potřený	0,379



Obr. 19 Vzorek před síťováním (koncentrace 30% krotonaldehydu) [30]



Obr. 20 Nepotřené vzorky po síťování (doba A - 5 minut ; B - 8 minut ; C - 10 minut při 180 °C) [30]



Obr. 21 Potřené vzorky po síťování (doba A - 5 minut ; B - 8 minut ; C - 10 minut při 180 °C) [30]

Jednotlivé síťované vzorky jsem po vyjmutí ze sušárny ponořil do předem připravených kádinek s destilovanou vodou a sledoval vliv destilované vody na degradaci vzorku [30].



Obr. 22 Nepotřené vzorky vložené do kádinky s destilovanou vodou (síťováno při 180 °C doba 30N5 - 5minut ; 30N8 - 8 minut ; 30N10 - 10 minut) ihned po ponoření [30]



Obr. 23 Potřené vzorky vložené do kádinky s destilovanou vodou (sít'ováno při 180 °C doba 30P5 - 5minut ; 30P5 - 8 minut ; 30P5 - 10 minut) ihned po ponoření [30]

Na obr. 22 a 23 lze vidět jednotlivé vzorky ponořené do destilované po dobu 0 minut. Jak je patrné nedochází ještě k degradaci vzorků, která se projevuje difúzí do destilované vody [30].



Obr. 24 Nepotřené vzorky vložené do kádinky s destilovanou vodou (sít'ováno při 180 °C doba 30N5 - 5minut ; 30N8 - 8 minut ; 30N10 - 10 minut) doba ponoření 20 minut [30]



Obr. 25 Potřené vzorky vložené do kádinky s destilovanou vodou (sít'ováno při 180 °C doba 30P5 - 5minut ; 30P5 - 8 minut ; 30P5 - 10 minut) doba ponoření 20 minut [30]

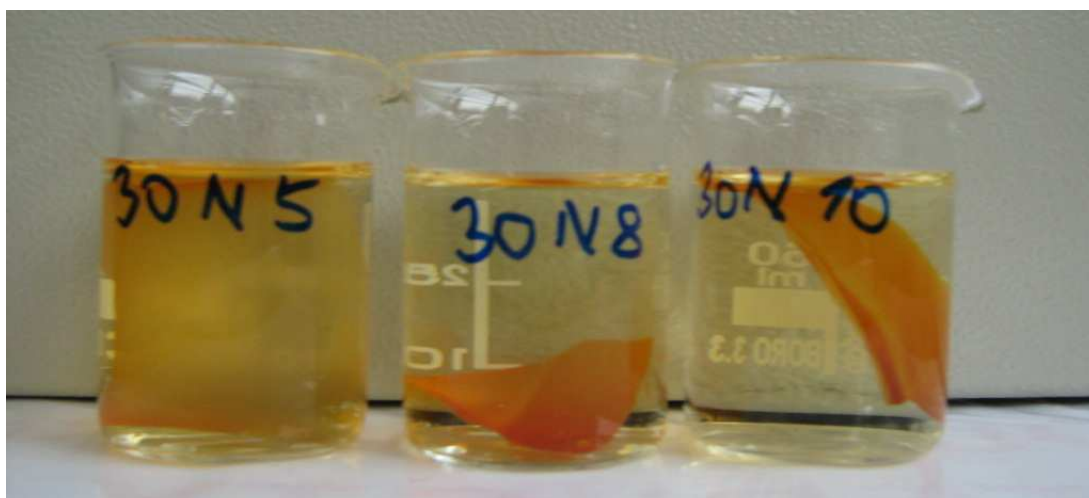
Jak patrné z obr. 24 a 25 po 20 minutách je patrné mírné zakalení destilované vody, které je způsobeno postupnou degradací jednotlivých vzorků [30].



Obr. 26 Nepotřené vzorky vložené do kádinky s destilovanou vodou (sít'ováno při 180 °C doba 30N5 - 5minut ; 30N8 - 8 minut ; 30N10 - 10 minut) doba ponoření 3 hodiny [30]



Obr. 27 Potřené vzorky vložené do kádinky s destilovanou vodou (sít'ováno při 180 °C doba 30P5 - 5minut ; 30P5 - 8 minut ; 30P5 - 10 minut) doba ponoření 3 hodiny [30]



Obr. 28 Nepotřené vzorky vložené do kádinky s destilovanou vodou (sít'ováno při 180 °C doba 30N5 - 5minut ; 30N8 - 8 minut ; 30N10 - 10 minut) doba ponoření 20 hodin [30]



Obr. 29 Potřené vzorky vložené do kádinky s destilovanou vodou (síťováno při 180 °C doba 30P5 - 5minut ; 30P5 - 8 minut ; 30P5 - 10 minut) doba ponoření 20 hodin [30]

Nejlepší se z pohledu rozpustnosti jevil vzorek s označením 30N8, tj. 30% krotonaldehydu na hmotnost hykolu s dobou síťování 8 minut [30].

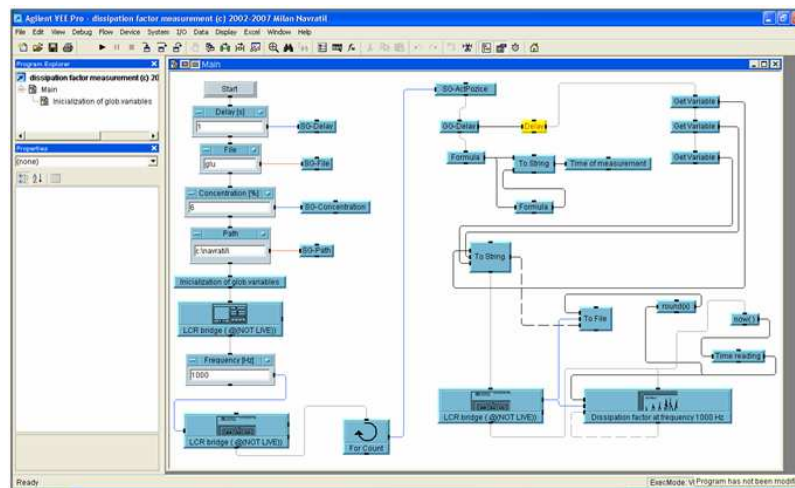
Na základě provedené literární studie jsem se taktéž snažil vycházet z publikované disertační práce [31], která sledovala závislost disipačního faktoru na stupni síťování a podle níž by se dala určit optimální teplota a doba při síťování hykolu.

6.3 Měření disipačního faktoru za účelem stanovení stupně síťování hykolu

Měření disipačního faktoru jsem realizoval s aparaturou poskytnutou od Ing. Milana Navrátila Ph.D. Tato aparatura se skládala z notebooku, který vyhodnocoval naměřená data v prostředí Agilent VeePro, měřicího přístroje Aligent 4263B, převodníku USB/GPIB a také z měřících elektrod, které byly v kontaktu s měřeným adhezivem. Z pravidla jsem obaloval elektrody hliníkovou fólií (alobalem), aby nedocházelo ke znečištění elektrod.

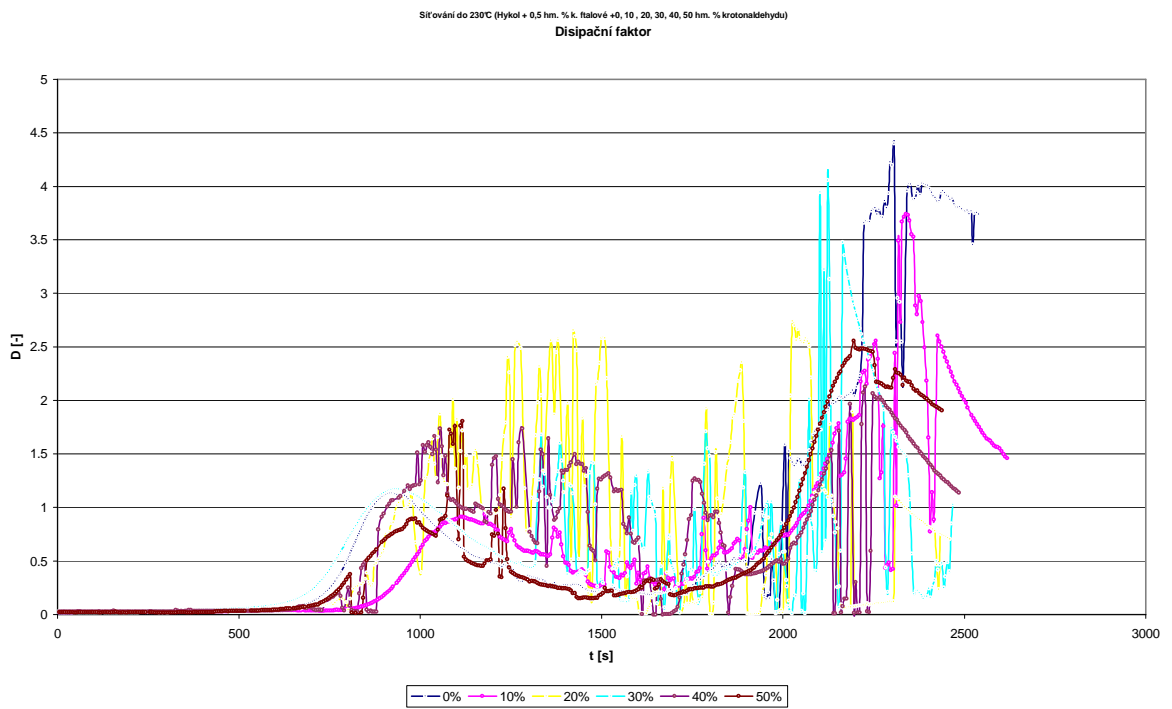


Obr. 30 Měřící aparatura určena pro měření disipačního faktoru

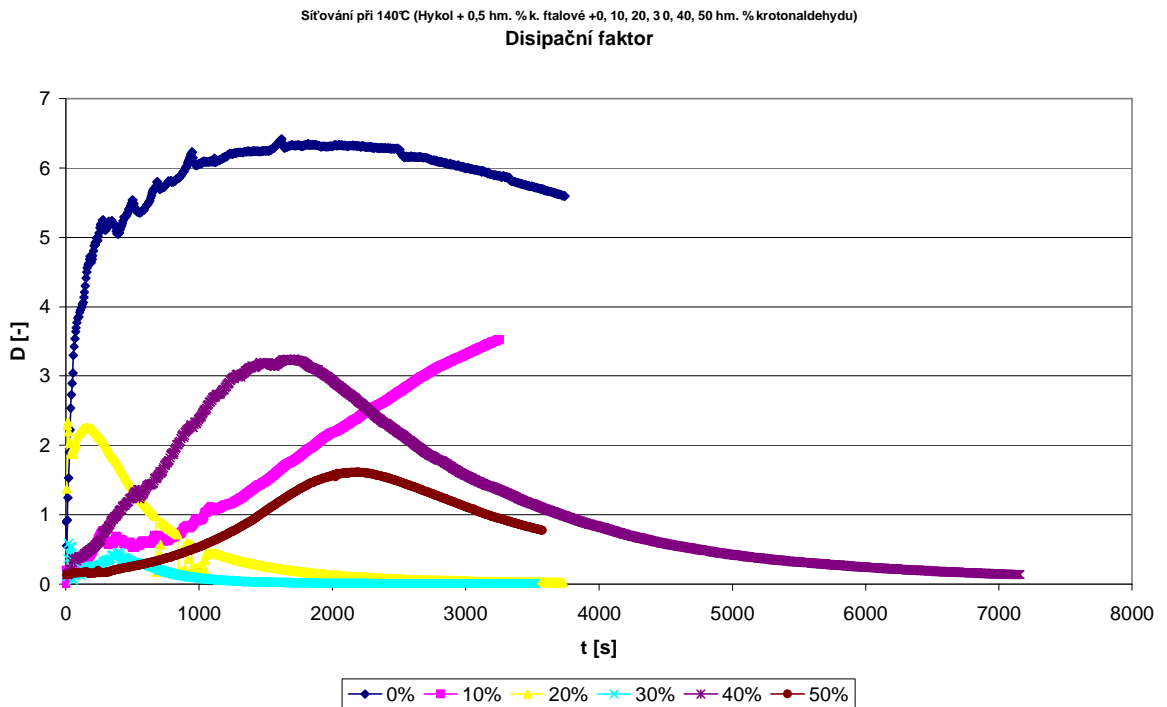


Obr. 31 Měření disipačního faktoru Agilent VeePro

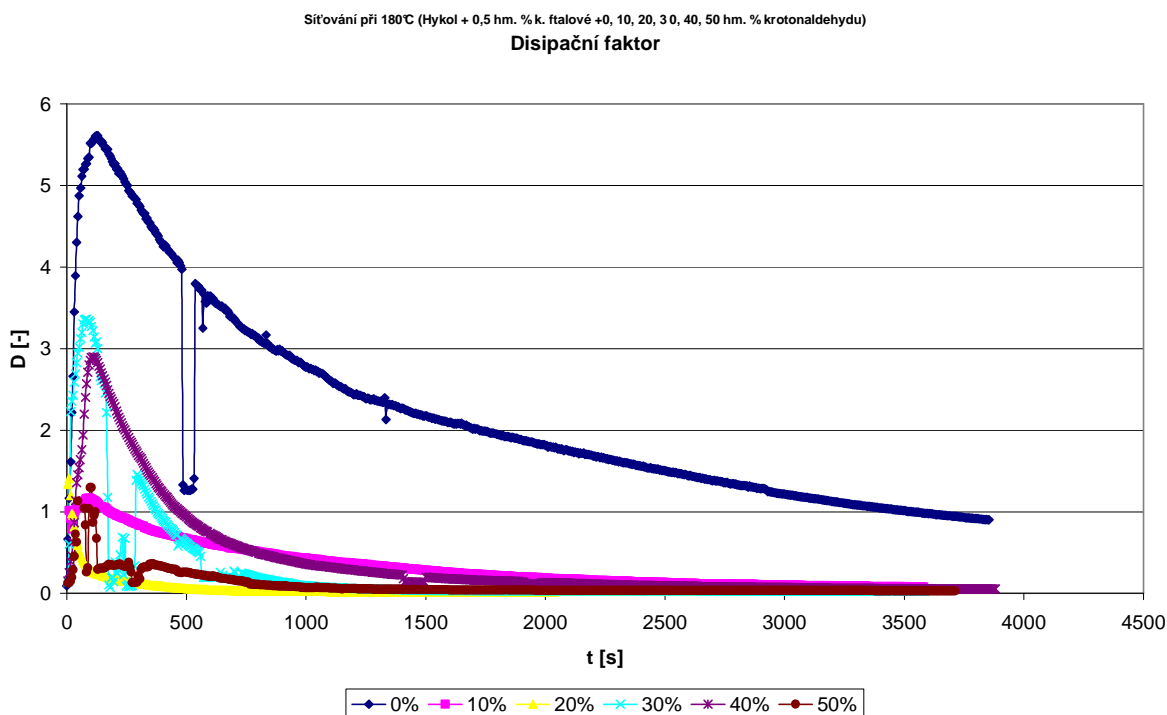
Měření jsem prováděl při teplotách 140°C, 180°C a také jsem teplotu postupně zvyšoval od 0°C do 230°C. Bylo taktéž zapotřebí vytvořit nové vzorky s obsahem 0, 10, 20, 30, 40 a 50 hm. % krotonaldehydu, jejichž vlastnosti jsem testoval. Zároveň s měřením disipačního faktoru jsem také měřil tepelnou kapacitu a elektrický proud procházející vzorkem.



Obr. 32 Průběh měření disipačního faktoru při sítování do 230°C (hykol + 0,5 hm. % kyseliny ftalové + 0,10,20,30,40,50 hm. %)



Obr. 33 Průběh měření disipačního faktoru v průběhu sítování při 140°C (hykol + 0,5 hm. % kyseliny ftalové + 0,10,20,30,40,50 hm. %)



Obr. 34 Průběh měření disipačního faktoru v průběhu sítování při 180°C (hykol + 0,5 hm. % kyseliny ftalové + 0,10,20,30,40,50 hm. %)

Jak se ukázalo z provedených měření, hodnota disipačního faktoru se měnila bez závislosti na stupni sítování. Nebylo tedy možné využít naměřených výsledků, proto jsem dále vycházel už jen z dříve uvedených měření viz str. 51.

Pro přípravu termoizolačních panelů bylo zapotřebí vytvořit drť, kterou jsem získal pomletím elektroodpadu – desek plošných spojů (DPS) na kulovém mlýnu na pracovišti UIP UTB za pomoci doc. Ing. Pavla Mokrejše Ph.D..

7 VÝROBA DRTI Z DPS

Před vlastní výrobou drti bylo nutno nejprve desku plošných spojů zbavit součástek, které byly naletovány. Následně byla tato deska nastříhána na menší části čtvercovitého tvaru o rozměrech přibližně 3x3cm, aby byly rozměrově vhodné pro využití mlecího zařízení (obr. 33), které do té doby bylo využíváno především na mletí vlněných materiálů na fakultě technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně.



Obr. 35 Mlecí zařízení - nožový mlýn Fritsch Pulverisette 19 na pracovišti UIP
UTB ve Zlíně

Získanou drť, jež byla tvořena materiálem o různé hrubosti bylo zapotřebí rozčlenit do skupin podle hrubosti granulátu. K tomuto rozdělení jsme využili síta třech druhů s odlišnou jemností prosyť (oka o rozměrech 0,5, 1,5 a 3 mm) a získal jsem tedy drť se čtyřmi druhy hrubosti (hrubá, střední, jemná a velmi jemná).



Obr. 36 Čtyři typy drti získané prosetím – sada sít o rozměrech ok 0,5 – 3 mm

8 VÝROBA TERMOIZOLAČNÍCH PANELŮ

Pro přípravu bylo nejdříve nutno zajistit vhodnou formu, která byla vyrobena na zakázku ústavem výrobního inženýrství fakulty technologické. Následně jsem namíchal potřebné množství adheziva, které jsem využil pro výrobu panelu. Toto množství se lišilo z pravidla podle hrubosti využití drti.



Obr. 37 Forma určená k výrobě vzorků

Příprava vzorku z hrubé drti a adheziva

Při míchání směsi pro výrobu termoizolačních panelů z hrubé drti jsem využil 38,083g připraveného adheziva, které jsem smíchal s 39,314g hrubé drti.

Tab. 5 Navážka hrubé drti

	Předpoklad [g]	Naváženo [g]	adheziva celkem [g]
Hykol	50	50.022	54.615
Kyselina Ftalová	0.075	0.077	
Krotonaldehyd	4.5	4.516	
Kádinka	49.14		

Příprava vzorku ze střední drti a adheziva

Při míchání směsi pro výrobu termoizolačních panelů ze střední drti jsem využil 39,756g připraveného adheziva, které jsem smíchal s 38,266g střední drti. Zbývající namíchané adhezivo bylo taktéž využito pro přípravu panelů z jemné drti.

Příprava vzorku z jemné drti a adheziva

Při míchání směsi pro výrobu termoizolačních panelů z jemné drti jsem využil 40,021g připraveného adheziva, které jsem smíchal s 33,379g jemné drti.

Tab. 6 Navážka střední a jemné drti

	Předpoklad [g]	Naváženo [g]	adheziva celkem [g]
Hykol	100	100.069	109.23
Kyselina Ftalová	0.15	0.152	
Krotonaldehyd	9	9.009	
Kádinka	101.616		

Příprava vzorku z velmi jemné drti a adheziva

Při míchání směsi pro výrobu termoizolačních panelů z velmi jemné drti jsem využil 42,217g připraveného adheziva, které jsem smíchal s 32,563g velmi jemné drti.

Tab. 7 Navážka velmi jemné drti

	Předpoklad [g]	Naváženo [g]	adheziva celkem [g]
Hykol	50	50.036	54.618
Kyselina Ftalová	0.075	0.075	
Krotonaldehyd	4.5	4.507	
Kádinka	49.16		

Dalo by se říci, že čím je drť hrubší, tím je spotřeba adheziva pro přípravu termoizolačních panelů menší.

Takto připravený materiál jsem dále nasypal do formy a upravil tak, aby byl rovnoměrně rozprostřen a aby tloušťka vzorků byla v každém místě co nejvíce stejná. Teplotu lisu jsem nastavil na 150°C a nechal předežhřát. Vzorek jsem vložil do předežhřátého lisu a stlačil tak, aby jeho tloušťka odpovídala přibližně 6-7 mm.



Obr. 38 Vyhřívavý lis na ústavu výrobního inženýrství – FT UTB ve Zlíně

9 MĚŘENÍ SOUČINITELE TEPELNÉ VODIVOSTI

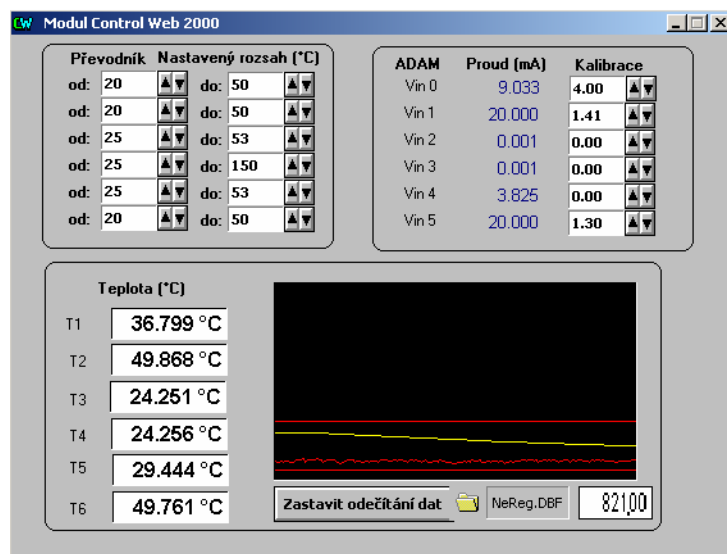
Měření jsem prováděl na přístroji sestaveného podle Fitche viz obr. 37, jenž je k dispozici na fakultě technologické UTB ve Zlíně, pod vedením doc. Ing. Antonína Blahy CSc..



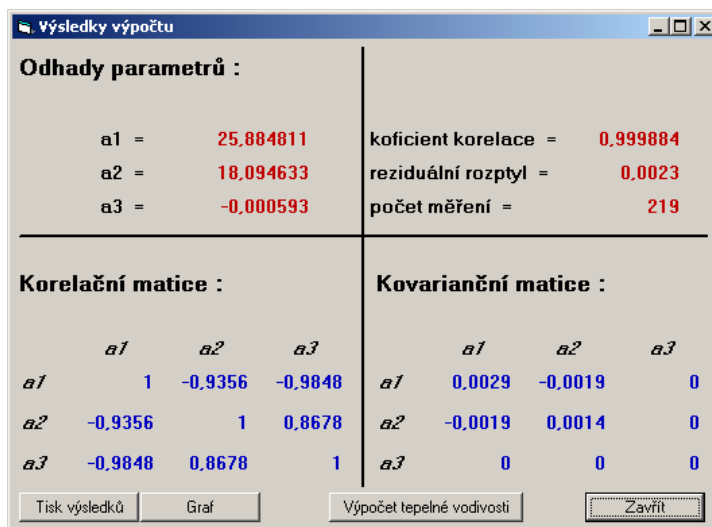
Obr. 39 Měřicí zařízení sestavené podle Fitche na Fakultě technologické UTB ve Zlíně

Princip měřicího zařízení je následující. Měřený vzorek je vložen mezi mosazný válec 1, který je temperován na teplotu t_1 a mosazný měřicí válec 3, na který je připojen termočlánek typu J (železo-konstantan). Po vytemperování vzorku na teplotu t_2 je odejmut mosazný válec 1 a je nahrazen mosazným válcem 2, který je temperován na teplotu t_1 . Současně je spuštěno snímání teploty pomocí upraveného modulu Control Web 2000 (Obr. 38) na osobním počítači, který data převádí převodním systémem ADAM 5 přes komunikační port do osobního počítače. Měřená teplota postupně roste směrem k ustálené

teplotě t_2 a snímání dat je ukončeno. Získaný soubor obsahuje závislost času na teplotě (Obr. 41). Dále je možno spustit vyhodnocení tohoto souboru pomocí programu NeReg02 (Obr. 39-42) na osobním počítači nebo pokračovat v měření dalších vzorků. Součástí měřicího zařízení jsou také termostaty, které udržují teploty t_1 a t_2 , stabilizovaný stejnosměrný zdroj a izolační kryt měřicího válce. Tato část slouží k tepelné izolaci měřicího válce a také k zabránění tepelných ztrát do okolí. Perioda vzorkování je 10 sekund [27].



Obr. 40 Panel měření Control Web 2000



Obr. 41 Výsledky výpočtu NeReg02

Výpočet tepelné vodivosti

K = 317,5 (J.K⁻¹)
 S = 0,006362 (m²)
 δ = 0,006091 (m)
 a3 = -0,000593 (s⁻¹)
 a2 = 0,000263 (s⁻¹)

a1 = - a3 - a2

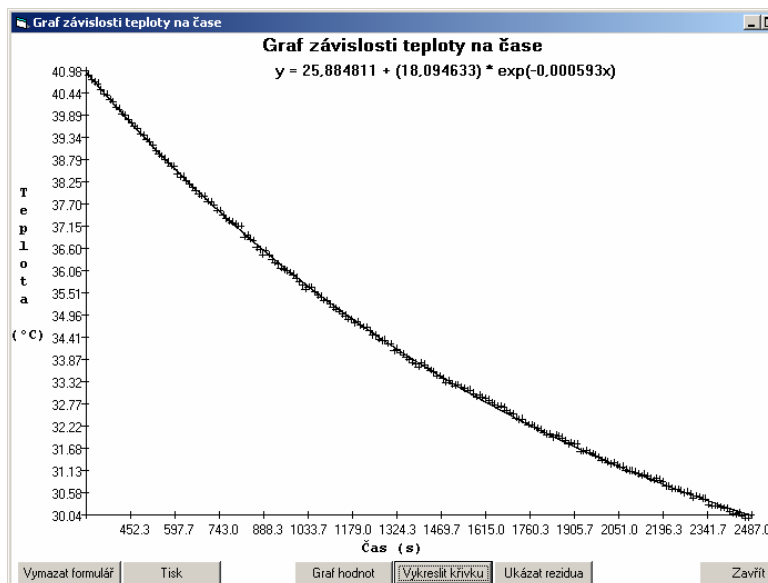
$$\lambda = \frac{a1 \cdot \delta \cdot K}{S} \quad -1$$

λ = 0,10031 (W.m⁻¹.K)

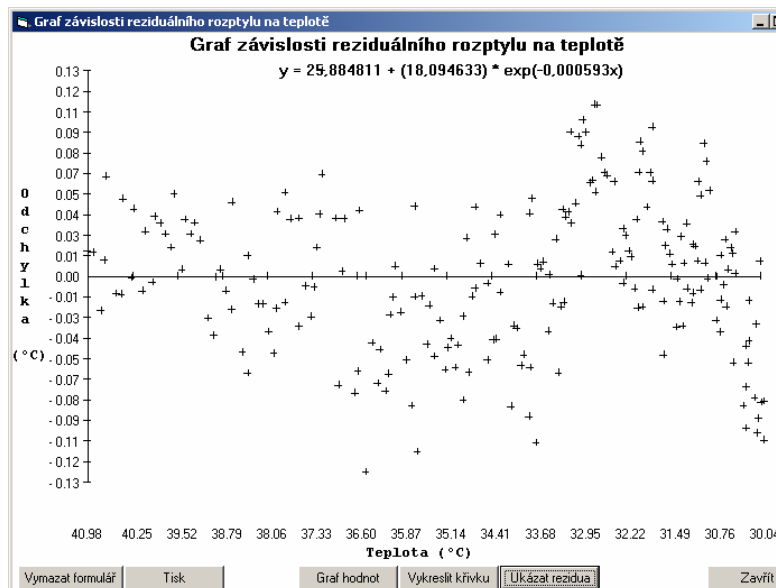
Vypočítat Zavřít

K - tepelná kapacita měřicího válečku
 S - plocha vzorku
 δ - tloušťka vzorku
 λ - tepelná vodivost
 a3 - parametr vyhodnocený nelineární regresí
 a2 - parametr vyhodnocený slepým pokusem

Obr. 42 Výpočet tepelné vodivosti NeReg02



Obr. 43 Graf závislosti teploty na čase NeReg02



Obr. 44 Graf závislosti reziduálního rozptylu na čase NeReg02

Naměřená závislost se vyhodnocuje nelineární regresí a poté podle uvedeného matematického modelu viz str. 38 za pomoci programu NeReg02.

Jednotlivé vzorky jsem postupně pětkrát změřil a také jsem otestoval využití vodivé pasty, která byla tvořena silikonovým olejem smíchaným s hliníkovým práškem, jejíž hlavní funkcí bylo vyplnit vzduchové mezery, vznikající mezi měřicí aparaturou a měřeným vzorkem především díky pórovitému povrchu vzorku. Měření probíhal při ochlazování měřícího válečku ze 46°C na 25°C. K vyhodnocování závislostí byl brán teplotní interval 41°C až 30°C.

Hrubá drť

Tab. 8 Naměřená data – vzorek z hrubé drti

Měření	S [m ²]	Teplota OD-DO [°C]	Teplota okolí [°C]	a3 [s ⁻¹]	λ [W/m.K]
1	0.006362	41-30	26.3	-0.000685	0.14590
2	0.006362	41-30	26.3	-0.000685	0.14159
3	0.006362	41-30	28.9	-0.000673	0.13756
4	0.006362	41-30	29.1	-0.000671	0.13689
5	0.006362	41-30	28.9	-0.000700	0.14662
Průměr	-	-	27.9	-0.000683	0.14171

K měření tloušťky vzorků jsem využíval mikrometr. Tloušťku vzorků jsem změřil desetkrát na různých místech, abych potlačil vliv nerovnosti při výrobě. Následně jsem vypočítal průměr z naměřených hodnot, se kterým jsem dále pracoval při stanovení součinitele tepelné vodivosti.

Tab. 9 Měření tloušťky vzorku z hrubé drti

Měření	δ [m]
1	0.00670
2	0.00663
3	0.00666
4	0.00673
5	0.00678
6	0.00682
7	0.00677
8	0.00669
9	0.00674
10	0.00671
Průměr	0.00672



Obr. 45 Vzorek z hrubé drti

Střední drť

Tab. 10 Naměřená data – vzorek ze střední drti

Měření	S [m ²]	Teplota OD-DO [°C]	Teplota okolí [°C]	a3 [s ⁻¹]	λ [W/m.K]
1	0.006362	41-30	25.2	-0.000589	0.09814
2	0.006362	41-30	25.7	-0.000617	0.10657
3	0.006362	41-30	26.2	-0.000638	0.11289
4	0.006362	41-30	26.1	-0.000622	0.10807
5	0.006362	41-30	26.1	-0.000630	0.11048
Průměr	-	-	25.9	-0.000619	0.10723

Tab. 11 Měření tloušťky vzorku ze střední drti

Měření	δ [m]
1	0.00583
2	0.00584
3	0.00608
4	0.00623
5	0.00615
6	0.00617
7	0.00597
8	0.00583
9	0.00598
10	0.00624
Průměr	0.00603



Obr. 46 Vzorek ze střední drti

Jemná drť

Tab. 12 Naměřená data – vzorek z jemné drti

Měření	S [m ²]	Teplota OD-DO [°C]	Teplota okolí [°C]	a3 [s ⁻¹]	λ [W/m.K]
1	0.006362	41-30	26.3	-0.000629	0.11126
2	0.006362	41-30	26.7	-0.000634	0.11109
3	0.006362	41-30	27.5	-0.000654	0.11885
4	0.006362	41-30	27.9	-0.000633	0.11247
5	0.006362	41-30	27.9	-0.000614	0.10670
Průměr	-	-	27.3	-0.000633	0.11207

Tab. 13 Měření tloušťky vzorku z jemné drti

Měření	δ [m]
1	0.00607
2	0.00597
3	0.00603
4	0.00616
5	0.00611
6	0.00616
7	0.00620
8	0.00608
9	0.00600
10	0.00613
Průměr	0.00609



Obr. 47 Vzorek z jemné drti

Velmi jemná drť

Tab. 14 Naměřená data – vzorek z velmi jemné drti

Měření	S [m ²]	Teplota OD-DO [°C]	Teplota okolí [°C]	a3 [s ⁻¹]	λ [W/m.K]
1	0.006362	41-30	28.5	-0.000639	0.11225
2	0.006362	41-30	29.4	-0.000696	0.09971
3	0.006362	41-30	29.2	-0.000666	0.12031
4	0.006362	41-30	29.2	-0.000618	0.10598
5	0.006362	41-30	28.2	-0.000615	0.10508
Průměr	-	-	28.9	-0.000647	0.10867

Tab. 15 Měření tloušťky vzorku z velmi jemné drti

Měření	δ [m]
1	0.00600
2	0.00595
3	0.00603
4	0.00600
5	0.00595
6	0.00596
7	0.00602
8	0.00600
9	0.00596
10	0.00595
Průměr	0.00598



Obr. 48 Vzorek z velmi jemné drti

Jemná drť s pastou

Tab. 16 Naměřená data – vzorek z jemné drti s využitím pasty

Měření	S [m ²]	Teplota OD-DO [°C]	Teplota okolí [°C]	a3 [s ⁻¹]	λ [W/m.K]
1	0.006362	41-30	24.6	-0.000800	0.16323
2	0.006362	41-30	24.7	-0.000808	0.16567
3	0.006362	41-30	24.3	-0.000751	0.14834
4	0.006362	41-30	24.5	-0.000798	0.16263
5	0.006362	41-30	24.6	-0.000807	0.16536
Průměr	-	-	24.5	-0.000793	0.16105

Tloušťka vzorku z jemné drti s pastou je přibližně stejná jako tloušťka vzorku z jemné drti bez pasty. Při stanovení součinitele prostupu tepla jsem proto vycházel z Tab. 13 viz výše.



Obr. 49 Vzorek z jemné drti potřený pastou

Z naměřených dat vyplývá, že u vzorku z hrubé drti je součinitel tepelné vodivosti nejvyšší naopak u vzorků vyrobených ze střední a velmi jemné drti je velikost součinitele tepelné vodivosti nejnižší. Vlivem nanesení tepelně vodivé pasty, namíchané ze silikonového oleje a hliníkového prášku viz Obr. 47, se podle předpokladů součinitel tepelné vodivosti zvýšil. Na měření měla také velký vliv okolní teplota, která zapříčiňovala ohřev vzorků a aparatury určené pro měření. Naměřené hodnoty součinitele tepelné vodivosti u vzorků vyrobených z drti desek plošných spojů slepených hýkolem přibližně odpovídá vytvrzenému polyesteru, který patří mezi špatné tepelné vodiče z čehož vyplývá, že takový materiál může být použit i jako termoizolační panel. Možné využití tohoto materiálu lze také nalézt při přípravě vícevrstevných termoizolačních panelů.

ZÁVĚR

V první fázi experimentů jsem se zaměřil na přípravu vhodného adheziva, které by spojovalo drť vzniklou recyklací elektroodpadu tak, abych docílil celistvého tvaru při výrobě termo-izolačních panelů. Mezi nejvhodnější pojiva patří proteinový hydrolyzát HYKOL, který je jedním z produktů recyklační technologie při zpracování tuhých bílkovinných odpadů enzymovou hydrolyzou, má dobré adhezivní vlastnosti a pro živé organismy je nezávadný, ale ve vodě je rozpustný. Pro přípravu izolačních panelů je velmi důležité použít pojiva vodostálá. Z toho důvodu bylo potřeba zmíněný HYKOL modifikovat na voděodolnou látku síťováním. Musel jsem nastudovat a prakticky vyzkoušet průběh síťovací reakce HYKOLU s vhodným síťovacím činidlem. Jak se ukázalo, mezi vhodné síťovací látky patří krotonaldehyd. Zaměřil jsem se proto na nalezení vhodného dávkování a na určení doby síťování krotonaldehydu s HYKOLEM. Pro určení stupně síťování hykolu jsem využil publikovanou metodu stanovení disipačního faktoru. Provedením měření lze zcela vyloučit vliv tohoto faktoru na stupeň síťování. Proto jsem dále vycházel z měření vodostálosti vzorků s vhodně zvolenou koncentrací krotonaldehydu a hykolu. Nejvhodnější vodostálost vykazovala směs s 30%-ním krotonaldehydem. Takto připravené adhezivo bylo využito pro výrobu vzorků termoizolačních panelů.

Dále jsem se v práci zabýval přípravou drti získané recyklací desek plošných spojů. Jelikož získaná drť obsahuje jak hrubé, tak i jemné částice, musel jsem ji nejprve roztrždit za pomoci sít a vytvořit tak čtyři skupiny hrubosti materiálu. U vytvořených druhů připravených termo-izolačních panelů jsem následně prováděl laboratorní měření pro stanovení součinitele tepelné vodivosti. Získané hodnoty jsem porovnal. Nejvyšší hodnota součinitele tepelné vodivosti byla naměřena u vzorků z hrubé drti. Vzorky ze střední, jemné a velmi jemné drti měli přibližně srovnatelnou hodnotu součinitele tepelné vodivosti. Taktéž jsem testoval využití tepelně vodivé pasty, která potlačuje ztráty vzniklé nerovností a pórovitého povrchu vzorku. Tato pasta byla nanášena na vzorek z jemné drti a tím se součinitel tepelné vodivosti zvýšil.

Výsledky této práce jsou velmi přínosné, poněvadž termo-izolační panely mají široké použití a velká výhoda navrženého řešení spočívá také v tom, že jsou připravovány z produktů recyklačních technologií tuhých bílkovinných odpadů a elektrošrotu.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

I was focused on proper adhesive preparing that would join the crumble made from electro-waste recycling to get solid thermo-insulating panels form. The protein hydrolysate Hykol belongs to optimal binders, it is the one of recycling technology products in firm protein elaborating wastes by enzyme hydrolyse, it has very good adhesive qualities and it is polishable for living organisms but it is instant in water. There is very important to use water-stable binder during the insulation panels preparing. This is the reason why the Hykol had to be modified to water-stable substance by cross-linking. I had to study and practically tested out the process of Hykol cross-linking reaction by suitable cross-linking surfactant. Crotonaldehyde belongs to the acceptable preparations, I found it out. Because of it I focused to finding the right dosage and to set the crotonaldehyde and Hykol time netting. I had used published method disipe factor prescription to Hykol time netting determination. Making this measuring could totally cut out influence of this factor on netting point. I issued from water-stable samples measurement with suitable Crotonaldehyde and Hykol choosing concentration. The most suitable water-stability was in 30% Crotonaldehyde measure. This adhesive was used for Thermo-insulating panels manufacturing.

Onwords I was concerned with preparing of crumble that was got from printed circuit panels. I had to sort out the crumble by screens and create four sauce material groups because the crumble contains both the gently and the roughly elements. I was implemented the laboratory measurements for heat conductivity coefficient assesments in the sorts of prepared manufactured Thermo-insulating panels. Obtained data I was compared. The highest value of heat conductivity coefficient was measured in roughly crumble samples. The samples by medium, gently and very fine crumble had aproximately comparable heat conductivity coefficient value. I was tested thermal conductive paste using that mutes dissipations incured by asperities and porous surface of sample. This paste was dashed on the sample of gently crumble and by this the heat conductivity coefficient raised.

Results of my thesis are very useful because Thermo-conductivity panels has wide usage and the big advantage of proposal resolution consists in that they are made from recycling methods products, protein elaborating wastes and electro-scrap.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] RŮŽIČKOVÁ, Z., SRB, J., VIDLÁŘ, J. *Druhotné suroviny – nové zdroje průmyslu*. Praha, 1989, 1.vydání, počet stran : 196. ISBN 80-03-00020-3
- [2] *Ekologie-aktuálně – stránky o ekologii*[online]. [cit. 2011-05-05]. Dostupné z: <http://ekologie.xf.cz/temata/recyklace/recyklace.htm>
- [3] VOŠTOVÁ, V., FRIES, J. *Zpracování pevných odpadů*. Praha, 2003, 1.vydání, početpočet stran : 157. ISBN 80-01-02672-8
- [4] KUPEC, J., LUDVÍK, J. *Ekologické aspekty kožedělné výroby*. FT VUT, 2000, 1.vydání, počet stran : 118. ISBN 80-214-1517-7
- [5] JANÁČOVÁ, D. *Řízení enzymové hydrolýzy*. Ostrava, 2002, 1.vydání, počet stran : 24. ISBN 80-248-0194-9
- [6] ZDRÁHAL, T., *Návrh aparatury pro řízení procesu síťovací reakce hydrolyzovaného kolagenu*. Zlín, 2005. Fakulta technologická UTB ve Zlíně. Diplomová práce
- [7] *Katalog chemických látek a produktů* [online]. [cit. 2010-04-04]. Dostupné z: <http://www.eurochem.cz>
- [8] BLAŽEJ, A. *Technologie kůže a kožešin*. 1st ed. Praha : SNTL, 1984, počet stran : 451. ISBN 04-817-84
- [9] *Wikipedia – otevřená encyklopedie* [online]. [cit. 2010-04-04]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavn%C3%AD_strana
- [10] JANÁČOVÁ, D., KOLOMAZNÍK, K., LANGMAIER, F., et. al.: Industrial Treatment of Chrome Tanned Solid Waste. In CHISA 98 – CD-ROM of full texts. Prag : Czech Society of chemical Engineering, 1998, p. 14.
- [11] KOLOMAZNÍK, K., JANÁČOVÁ, D., LANGMAIER, Ferdinand, et. al. Enzymatic Digestion of Chrome Tanned Solid Waste. In Proceedings of the 1st International Fur Congress. Kastoria, Greece : Macedonia Research Center, 1998, p. 134-146

- [12] KOLOMAZNÍK, K.; MLÁDEK, M., LANGMAIER, F., JANÁČOVÁ, D., TAYLOR, M.: Practical Experience in Enzymatic Hydrolysis of Blue Shavings, 95th Annual Meeting, The American Leather Chemists Association, Grand Traverse Resort, Michigan, June 13-17, 1999.
- [13] KOLOMAZNÍK, K., JANÁČOVÁ, D., LANGMAIER, F., MLÁDEK, M.: Usány Protein Hydrolyzates from Tannery Wastes in Agriculture and Building Industry. XXVI IULTCS Kongres. Cape Tlen, South Africa, 2001, 6s.
- [14] Internetový portál zařízení pro ekologii, [on line]. [cit. 2011-05-8]. Dostupný z WWW: <http://www.odes.cz>
- [15] MALANÍK, O. *Možnosti recyklace elektronického odpadu*. Zlín, 2009. 59 s. Bakalářská práce na fakultě aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Dagmar Janáčková, CSc.
- [16] Internetový portál, [on line]. [cit. 2011-05-8]. Dostupný z WWW: <http://wapedia.mobi/cs/Krotonaldehyd>
- [17] Internetový portál, [on line]. [cit. 2011-05-8]. Dostupný z WWW: <http://www.carelli.cz/co-je-to-usen>
- [18] Internetový portál, [on line]. [cit. 2011-05-8]. Dostupný z WWW: <http://www.kksktannery.in>
- [19] Internetový portál síť odpovědných poraden, [on line]. [cit. 2011-05-8]. Dostupný z WWW: <http://www.ekoporadna.cz>
- [20] Internetový portál, [on line]. [cit. 2011-05-8]. Dostupný z WWW: <http://www.irz.cz/repository/latky/formaldehyd.pdf>
- [21] KRIŠTOFOVÁ, D., *Kovy a životní prostředí*. Ostrava, 2005, 1.vydání, počet stran : 66. ISBN 80-248-0740-8
- [22] KOSTKA, R. *Upínací přípravek pro recyklaci PC desek*. Zlín, 2009. 64 s. Bakalářská práce na technologické fakultě Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Žalůdek Ph.D.

- [23] Internetový portál, [on line]. [cit. 2011-05-8]. Dostupný z WWW: <http://www.smtcentrum.cz/vyroba-desek-plosnych-spoju/modely-desek-plosnych-spoju/>
- [24] PŘÍHODA, M., RÉDR, M., *Sdílení tepla a proudění*. Ostrava, 2008, 2.vydání, počet stran : 180. ISBN 978-80-248-1748-4
- [25] Internetový portál, [on line]. [cit. 2011-05-8]. Dostupný z WWW: <http://www.nobasil.cz/vypocet-tepelneho-odporu/>
- [26] Internetový portál, [on line]. [cit. 2011-05-8]. Dostupný z WWW: www.ciur.cz
- [27] BRZOBOHATÝ, P., *Měření tepelné a teplotní vodivosti polymerních materiálů*. Zlín, 2002. 77 s. Ústav fyziky a materiálového inženýrství. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Antonínu Blahovi CSc.
- [28] Internetový portál, [on line]. [cit. 2011-05-8]. Dostupný z WWW: ekolist.cz
- [29] Internetový portál, [on line]. [cit. 2011-05-8]. Dostupný z WWW: www.cutisin.cz
- [30] GOŇA, T., *Studium síťovací reakce proteinových hydrolyzátů*. Zlín, 2010. 15 s. Soutěžní práce – Stoč na fakultě aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce doc. Ing. Dagmar Janáčková, CSc.
- [31] NAVRÁTIL, M., *Instrumentation and Diagnostics of Polymer Composites*. Zlín, 2007. 112 s. Disertační práce na fakultě aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí disertační práce prof. Ing. Karel Kolomazník, DrSc.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK A POJMŮ

α	[W.m ⁻² .K ⁻¹]	Koeficient přestupu tepla
δ	[m]	Tloušťka vzorku
λ	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	Součinitel tepelné vodivosti materiálu
τ	[s]	Čas
τ_m	[s]	Orientační čas měření
A_1	[s ⁻¹]	Parametr měřicího zařízení
A_2	[s ⁻¹]	Parametr vyjadřující tepelné ztráty do okolí
A_3	[s ⁻¹]	Parametr získaný výpočtem z parametrů A_1 a A_2
a_1, a_2, a_3		Parametry vyhodnocující se nelineární regresí
B	[J.K ⁻¹ .s ⁻¹]	Koeficient tepelných ztrát
d	[m]	Tloušťka materiálu
K	[J.K ⁻¹]	Tepelná kapacita měřicího válečku
P	[W]	Tepelný tok
Q	[J]	Množství tepla
q	[W.m ⁻²]	Hustota tepelného toku
q_v	[W.m ⁻³]	Vydatnost vnitřního objemového tepelného zdroje
R	[m ² .K.W ⁻¹]	Tepelný odpor
S	[m ²]	Plocha
s	[m]	Tloušťka rovinné stěny
S_z	[m ²]	Plocha, na níž dochází ke ztrátám
t	[°C]	Teplota
t_{0K}	[°C]	Počáteční konstantní teplota
t_1	[°C]	Teplota temperační desky
t_2	[°C]	Počáteční teplota měřicího válečku

$u(x)$		Funkce symetrického počátečního rozložení tepla
x,y,z	[m]	Souřadnice
Činění		Fyzikálně chemická operace, při které se holina (surová kůže zbavená chlupů) přeměňuje na useň
Postružiny		Kousky činěné kůže po technologické operaci postruhování
NeReg02		Software sloužící k výpočtu součinitele tepelné vodivosti materiálu, pracující pod operačním systémem Windows XP
ADAM		Převodní systém sloužící k převodu naměřených dat do počítače

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Logo recyklace.....	14
Obr. 2 Složení elektroodpadu	16
Obr. 3 Linka pro zpracování elektrošrotu	18
Obr. 4 Jednovrstvá deska plošného spoje	21
Obr. 5 Dvouvrstvá deska plošného spoje.....	21
Obr. 6 Vícevrstvá deska plošného spoje	22
Obr. 7 Typické materiálové zastoupení ve vodivých deskách.....	23
Obr. 8 Schéma mechanického zpracování DPS obsažených v počítačích.....	23
Obr. 9 Vybrané záběry zpracování surové kůže v koželužské technologii.....	25
Obr. 10 Bilance produkovaných odpadů během koželužských operací.....	25
Obr. 11 Zpracování tuhých činěných odpadů	28
Obr. 12 Průběh síťovací reakce.....	30
Obr. 13 Schéma stacionárního vedení tepla rovinnou stěnou pro případ ohřevu	35
Obr. 14 Příklad nestacionárního vedení tepla rovinnou stěnou pro případ ohřevu.....	35
Obr. 15 Schéma přístroje pro měření tepelné vodivosti dle Bocka	36
Obr. 16 Měřicí aparatura podle Fitcha	38
Obr. 17 Digestoř v laboratoři C 206 Fakulty technologické, UTB ve Zlíně.....	41
Obr. 18 Vysušený vzorek s obsahem 15% krotonaldehydu.....	42
Obr. 19 Vzorek před síťováním (koncentrace 30% krotonaldehydu).....	44
Obr. 20 Nepotřené vzorky po síťování	44
Obr. 21 Potřené vzorky po síťování.....	45
Obr. 22 Nepotřené vzorky vložené do kádinky s destilovanou vodou ihned po ponoření.....	45
Obr. 23 Potřené vzorky vložené do kádinky s destilovanou vodou ihned po ponoření	46
Obr. 24 Nepotřené vzorky vložené do kádinky s destilovanou vodou doba ponoření 20 minut.....	46
Obr. 25 Potřené vzorky vložené do kádinky s destilovanou vodou doba ponoření 20 minut.....	47
Obr. 26 Nepotřené vzorky vložené do kádinky s destilovanou vodou doba ponoření 3 hodiny	47

Obr. 27 Potřené vzorky vložené do kádinky s destilovanou vodou doba ponoření 3 hodiny	48
Obr. 28 Nepotřené vzorky vložené do kádinky s destilovanou vodou doba ponoření 20 hodin	48
Obr. 29 Potřené vzorky vložené do kádinky s destilovanou vodou doba ponoření 20 hodin.....	49
Obr. 30 Měřicí aparatura určena pro měření disipačního faktoru.....	50
Obr. 31 Měření disipačního faktoru Agilent VeePro.....	50
Obr. 32 Průběh měření disipačního faktoru při sítování do 230°C.....	51
Obr. 33 Průběh měření disipačního faktoru v průběhu sítování při 140°C.....	51
Obr. 34 Průběh měření disipačního faktoru v průběhu sítování při 180°C.....	52
Obr. 35 Mlecí zařízení - nožový mlýn Fritsch Pulverisette 19 na pracovišti UIP UTB ve Zlíně.....	53
Obr. 36 Čtyři typy drti získané prosetím – sada sít o rozměrech ok 0,5 – 3 mm.....	53
Obr. 37 Forma určená k výrobě vzorků	54
Obr. 38 Vyhřívaný lis na ústavu výrobního inženýrství – FT UTB ve Zlíně.....	56
Obr. 39 Měřicí zařízení sestavené podle Fitche na Fakultě technologické UTB ve Zlíně.....	56
Obr. 40 Panel měření Control Web 2000	57
Obr. 41 Výsledky výpočtu NeReg02	57
Obr. 42 Výpočet tepelné vodivosti NeReg02	58
Obr. 43 Graf závislosti teploty na čase NeReg02	58
Obr. 44 Graf závislosti reziduálního rozptylu na čase NeReg02.....	59
Obr. 45 Vzorek z hrubé drti	60
Obr. 46 Vzorek ze střední drti	61
Obr. 47 Vzorek z jemné drti	62
Obr. 48 Vzorek z velmi jemné drti	63
Obr. 49 Vzorek z jemné drti potřený pastou.....	64

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Průměrné materiálové složení elektronických zařízení	16
Tab. 2 Činěné odpady z výroby hovězínových usní	27
Tab. 3 Složení vzorku	43
Tab. 4 Hmotnosti vzorků ponořených do destilované vody	43
Tab. 5 Navážka hrubé drti.....	54
Tab. 6 Navážka střední a jemné drti	55
Tab. 7 Navážka velmi jemné drti	55
Tab. 8 Naměřená data – vzorek z hrubé drti	59
Tab. 9 Měření tloušťky vzorku z hrubé drti.....	60
Tab. 10 Naměřená data – vzorek ze střední drti	61
Tab. 11 Měření tloušťky vzorku ze střední drti	61
Tab. 12 Naměřená data – vzorek z jemné drti	62
Tab. 13 Měření tloušťky vzorku z jemné drti	62
Tab. 14 Naměřená data – vzorek z velmi jemné drti	63
Tab. 15 Měření tloušťky vzorku z velmi jemné drti	63
Tab. 16 Naměřená data – vzorek z jemné drti s využitím pasty	64