

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA PEDAGOGICKÁ
Katedra matematiky, fyziky a technické výchovy

Ruční řezačka pěnového polystyrenu
DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Miroslava Dušková

Učitelství pro základní školy, obor Učitelství matematiky pro základní školy

Vedoucí práce: Mgr. Daniel Aichinger, Ph.D.

Plzeň 2021

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně
s použitím uvedené literatury a zdrojů informací.

V Plzni 29. dubna 2021

.....
vlastnoruční podpis

Chtěla bych poděkovat Mgr. Danielu Aichingerovi, Ph.D., vedoucímu mé diplomové práce, za vedení, připomínky a čas, který mi věnoval. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Karlu Leubnerovi, Ph.D., a PhDr. Petru Simbartlovi, Ph.D., za poskytnutí cenných odborných rad a informací při vypracování této diplomové práce. Ráda bych tímto poděkovala panu Jiřímu Bucharovi z firmy ROBEX DK, s.r.o., za cenné a velmi podnětné rady.

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN A JEDNOTEK	2
ÚVOD	5
1 HISTORIE	6
1.1 Vlastnosti polystyrenových plastů	6
1.2 Historie vývoje polystyrenových plastů	6
1.2.1 Vývoj výrobního procesu	6
1.3 Historický vývoj v České republice	8
2 CHEMICKÉ, FYZIKÁLNÍ A MECHANICKÉ VLASTNOSTI	10
2.1 Makromolekulární látky	10
2.2 Modifikace vlastností polymeru	12
3 POLYSTYREN	13
3.1 Styren	13
3.2 Výroba polystyrenu	13
3.2.1 Vlastnosti polystyrenu	14
3.3 Výroba expandovaného polystyrenu (EPS)	15
3.3.1 Využití polystyrenu (EPS)	16
3.4 Výroba extrudovaného polystyrenu (XPS)	19
3.4.1 Využití polystyrenu (XPS)	19
3.5 Výroba polystyrenu HIPS	20
3.5.1 Využití polystyrenu HIPS	21
3.6 Recyklace polystyrenu	21
4 ŘEZÁNÍ POLYSTYRENU	22
4.1 Studené řezání	22
4.2 Tavné řezání	22
4.2.1 Technické řešení řezaček na pěnový polystyren	23
PRAKTICKÁ ČÁST	29
5 VÝROBA TĚLA RUČNÍ ŘEZAČKY	30
5.1.1 Prvotní výroba řezačky	31
5.1.2 Nedostatky akumulátorové řezačky	32
5.1.3 Výroba řezačky – druhý pokus	33
6 ZDROJ ŘEZAČKY	36
6.1 Vlastnosti použitých zdrojů DVE a Peak Tech	36
6.2 Měření vnitřního odporu zdroje Peak Tech Ohmovou metodou	38
6.2.1 Základní rovnice a jejich odvození	40
6.2.2 Model zatěžovací charakteristiky – zdroj PeakTech	45
6.2.3 Zatěžovací charakteristika zdroje – PeakTech	47
6.2.4 Porovnání hodnot zatěžovacích charakteristik model/realita	50
6.2.5 Vyhodnocení měření vnitřního odporu zdroje Peak Tech ohmovou metodou	51
7 ODPOROVÉ DRÁTY	52
7.1 Analýza materiálů řezných drátů a možností jejich využití pro řezání polystyrenu	52
7.2 Materiálové vlastnosti dostupných odporových drátů	53
7.3 Měření závislosti proudu, napětí a teploty na materiálu a délce odporového drátu	54
7.3.1 Základní rovnice a jejich odvození	57
7.4 Kanthal – naměřené a vypočtené hodnoty odporového drátu	61
7.5 Konstantan – naměřené a vypočtené hodnoty odporového drátu	63

7.6	Isotan – naměřené a vypočtené hodnoty odporového drátu.....	65
7.7	Chrom-nikl – naměřené a vypočtené hodnoty odporového drátu.....	67
7.8	Manganin – naměřené a vypočtené hodnoty odporového drátu	68
7.9	Souhrn měření pro řezání polystyrenu odporovými dráty	69
7.10	Závěr měření odporových drátů	70
7.11	Odporové dráty, které vyhovují specifikaci řezačky	71
8	RUČNÍ ŘEZAČKA.....	72
8.1	Výroba ruční řezačky ve výuce technických činností	72
8.2	Používání řezačky polystyrenu ve výuce na druhém stupni základní školy	73
8.3	Bezpečnost práce na základní škole.....	74
9	RIZIKOVÁ ANALÝZA PŘI VÝROBĚ ŠKOLNÍ TAVNÉ ŘEZAČKY	76
9.1	Ověření ruční řezačky ve výuce technických činností	79
10	ASPEKTY VE VZDĚLÁVÁNÍ ŽÁKŮ Z POHLEDU ŠVP	84
11	REFLEXE	85
	ZÁVĚR.....	86
	RESUMÉ	89
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A PRAMENŮ	90
	SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK, GRAFŮ A DIAGRAMŮ	95
	PŘÍLOHY	I

Seznam použitých veličin a jednotek

P_{Ri}	Ztrátový výkon na vnitřním odporu zdroje	(W)
I_k	Zkratový proud	(A)
P_c	Celkový výkon	(W)
P_R	Výkon, který je zatěžován odporovým drátem	(W)
P_Z	Ztrátový výkon	(W)
R_{20}	Odpor při teplotě 20 °C	(Ω)
R_i	Vnitřní odpor zdroje	(Ω)
R_Z	Odpor na zátěži	(Ω)
U_i	Úbytek napětí na zdroji	(V)
U_Z	Vnější svorkové napětí	(V)
U_{Zm}	Vnější svorkové napětí – model	(V)
U_{Zr}	Vnější svorkové napětí – realita	(V)
U_o	Napětí naprázdno	(V)
t_\varnothing	Průměr teplota v bodě X a Y	(°C)
t_X	Naměřená teplota v bodě X	(°C)
t_Y	Naměřená teplota v bodě Y	(°C)
d	Průměr	(mm)
$d_{m\check{e}r}$	Průměr odporového drátu - měřený	(mm)
d_{vyr}	Průměr odporového drátu udaná výrobcem	(mm)
EPS	Pěnový expandovaný polystyren	
HIPS	Houževnatý polystyren	
l	Délka odporového drátu	(mm)
PS	Standardní polystyren	
PWM	Pulse width modulation, pulzní šířková modulace	
R_c	Celkový odpor	(Ω)
R_{jmen}	Odpor spočtený z rezistivity, platný pro 20 °C	($\Omega.m^{-1}$)
R_{vyr}	Hodnota odporu 1 m drátu - změřená výrobcem	(Ω)
Symbol	Popis veličiny	Jednotka
XPS	Extrudovaný polystyren	
ρ	Měrný odpor - rezistivita	($\Omega.m$)

I	Elektrický proud	(A)
P	Činný výkon	(W)
α	Teplotní součinitel odporu	(K ⁻¹)
η	Účinnost	(%)

Teoretická část

Úvod

Cílem této diplomové práce je vytvořit řezačku polystyrenu jako výukovou pomůcku pro žáky druhého stupně základních škol.

Díky této pomůcce se mohou žáci při řezání polystyrenu zábavnou formou seznámit s principem ohřevu odporového drátu protékaného elektrickým proudem. Žáci se budou vzdělávat v oboru fyziky a elektrotechniky. Osvojí si práci se zdrojem elektrické energie a jeho zapojením do elektrického obvodu se spínačem a zátěží. Ti, kdo by chtěli proniknout hlouběji do zákulisí řezačky, seznámit se s různými druhy odporových drátů, výhodami a nevýhodami jejich použití, případně si i sestavit řezačku svou, mohou nalézt detailnější popis v následujících kapitolách této práce.

V teoretické části nalezneme historii polystyrenových plastů, jejich vlastnosti a atributy odporových drátů.

Praktická část se zabývá analýzou designu odporové řezačky a její výrobou. Experimentální zkoumání odporových drátů a žákovského zdroje popisují tabulky a grafy, které jsou uvedené na konci kapitol.

Závěrem diplomové práce je ověření vyrobené ruční řezačky při hodinách technické výchovy na druhém stupni základní školy.

1 Historie

1.1 Vlastnosti polystyrenových plastů

Polystyrenové plasty jsou polymery s termoplastickým chováním odvozené od homopolymeru styrenu (s majoritní styrenovou složkou). U ostatních skupin polymerů je styren převážně minoritní složkou (cca 30 procent). Polystyrenové plasty se řadily mezi významné technologické novinky, které se masově vyráběly téměř šedesát let [1].

1.2 Historie vývoje polystyrenových plastů

Homopolymer styren byl objeven v roce 1831 izolováním z pryskyřice jantarového stromu. Eduard Simon jej označil jako „styrenoxid“ [1]. Počátkem dvacátého století se polymerací¹ [2] styrenu začal zabývat Ostromyšlenskij. Zásadním přínosem však byly Staudingerovy práce, které přispěly k objasnění podstaty makromolekulárních řetězců v polymerech. Za tento objev obdržel v roce 1953 Nobelovu cenu [3]. Jako první pojmenoval látku, kterou systematicky zkoumal pod názvem „polystyren“.

1.2.1 Vývoj výrobního procesu

První zmínky přípravy styrenu dehydrogenací etylbenzenu pochází z roku 1868. O šestnáct let později, tedy v roce 1884, představil Friedel-Crafts nový postup přípravy etylbenzenu, který spočívá v reakci benzenu s etylenem za přítomnosti chloridu hlinitého. Touto metodou se otevřela brána k výrobě styrenu a polystyrenu [1].

Popis první polymerace v masivní výrobě byl uskutečněn v roce 1900. Až po dlouhých jedenácti letech byl polystyren patentován jako termoplast, jenž byl připravován termicky a katalyticky² iniciovanou polymerací [1].

O hromadnou výrobu styrenu se jako první pokusila společnost Dow Chemical Company v USA v roce 1930. Ovšem daleko lepších výsledků výroby polystyrenu dosáhla německá firma I. G. Farbenindustrie AG. Tato společnost v roce 1930 využila postup kontinuální polymerace v bloku, který se vyrábí v reaktoru. Zde se nachází monomer a malé množství iniciátoru. Tato technologie se vyznačuje vysokou čistotou výrobku [4].

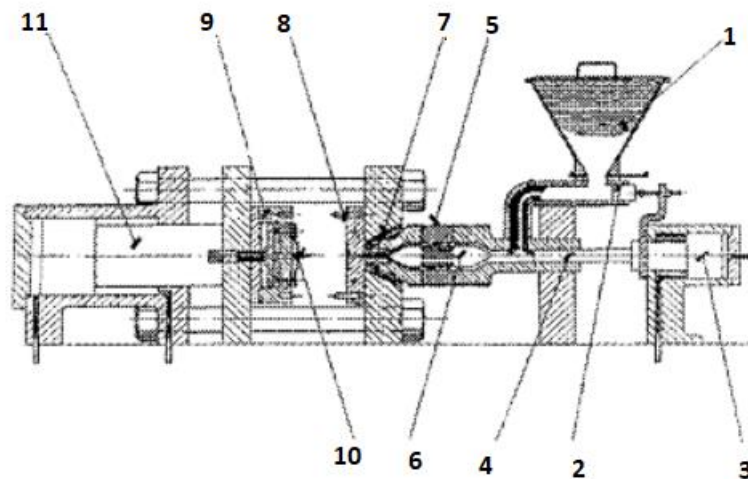
¹ Polymerace je chemická reakce, při které z jednoduchých molekul (jednotek monomeru) vznikají makromolekuly (polymery).

² Urychlení chemických reakcí vlivem katalyzátoru.

Polystyren byl v roce 1930 prvním termoplastem zpracovávaným technologií dnes známou jako vstřikování plastů pomocí pístových strojů [5](obr. 1).

Plastové granule se nasypou do násypky, kde se pohybuje pomocný dávkovací píst, který je spojen se vstřikovacím pístem. Pohybem obou pístů se směs stlačuje a suně do tavicí komory. Zde je směs roztavena a vstříknuta vtokovým kanálem do vstřikovací formy. Ochlazováním násypky ve spodní části se zamezí natavování granulí v hrdle násypky.

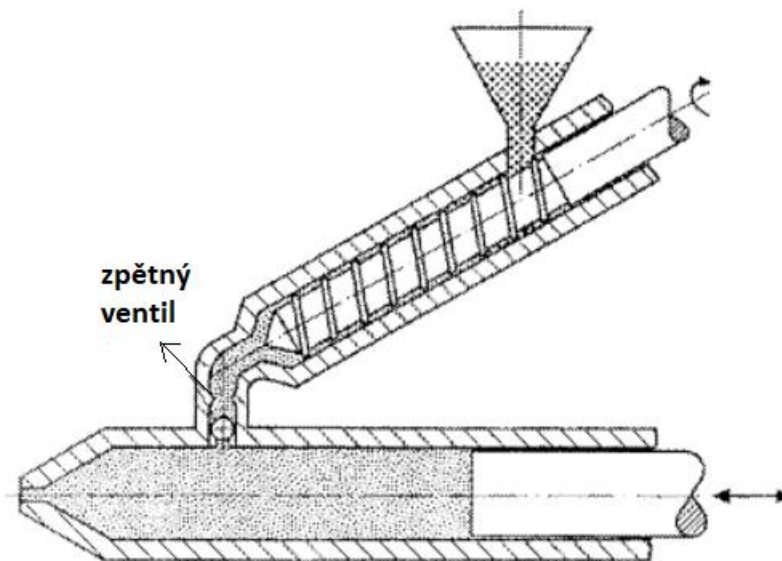
Protože tyto pístové stroje měly velké nedostatky (např. potřebná teplotní homogenita roztaveného plastu, vysoké ztráty tlaku v komoře aj.), přestoupilo se na pístové stroje se šnekovou předplastikací (obr. 2)[5].



Obrázek 1: Schéma pístového vstřikovacího stroje [5]

násypka	5. tavicí hmota	9. pohyblivá část formy
dávkovací píst	6. torpédo	10. výstřik
hydraulický válec	7. tryska tavicí komory	11. hydraulický závěr
vstřikovací píst	8. pevná část formy	

Novou technologií bylo zavedení pístových vstřikovacích strojů. Pro houževnatost polystyrenů se začala uplatňovat technologie vytlačování.



Obrázek 2: Schéma pístového stroje se šnekovou předplastikací[5]

Spojením tavicí komory se šnekem vznikly jednoduché stroje, které měly za úkol přeměnit dávku granulátu na homogenní taveninu určité viskozity. Dalším úkolem bylo taveninu pod vysokým tlakem a s velkou rychlostí vstříknout do tvarové dutiny uzavřené formy[5]. Tímto způsobem se dosáhlo většího plastikačního výkonu a výborné teplotní homogenity roztaveného plastu[5][6].

První pěnový polystyren byl vyroben roku 1934. O dva roky později byl vytvořen kopolymer styren-akrylonitril (SAN). Následovaly nové technologie, které vedly firmu Koppers v USA k průmyslové výrobě polystyrenu (např. suspenzní polymerací styrenu). V období druhé světové války se objevily snahy zlepšit houževnatost polystyrenu díky mechanickým směšováním s kaučuky a polymerací roztoku kaučuku ve styrenu. První typ tohoto polystyrenu byl na trh uveden v roce 1948 [6].

1.3 Historický vývoj v České republice

V květnu roku 1954 rozhodlo Československo o výstavbě podniku butadien styrenového kaučuku v Kralupech nad Vltavou. Po čtyřech letech byla zahájena stavba podniku Kaučuk n. p. Prvním typem vyráběného EPS se stala značka Krasten, jejíž testovací výroba se uskutečnila v roce 1958[6].

První průmyslová výroba polystyrenu byla zavedena v roce 1960 ve firmě VCHZ Synthesia, závod Kolín. Tato firma využívala věžový proces polymerace styrenu v bloku. Identickou výrobní technologii využila o tři roky později i firma Kaučuk v Kralupech nad Vltavou[6]. Zde s rozmachem nových technologií později rozšířili výrobu v oboru polystyrénových plastů. Objevení inhibitorů³ a retardérů⁴ přispělo k polymeraci⁵ styrenu [1].

V roce 1961 byla ve firmě Synthesia zahájena výroba standardního a zpěňovatelného polystyrenu technologií suspenzní polymerace. Po zavedení technologie mechanického směšování zde byl vyroben houževnatý polystyren[6].

Produkce syntetického kaučuku polystyrenu značky Koplen byla ve větším množství realizována v roce 1963[6]. Jednalo se o polystyrenové perle o průměru 2–3 mm s parafínovým obalem (vrstvou). Vrstva se po zahřátí spojila v jednotlivé perle. Samotné polystyrenové perle jsou bez prachových částic a statického náboje[7].

O dva roky později firma zhotovila zpěňovaný polystyren téhož jména[6]. V sedmdesátých letech 19. století se v Československu zavedla výroba kompaktních polystyrenů a polymerů ABS⁶. Na výrobě polystyrenu se v letech 1975–1976 začala podílet petrochemická výroba polypropylénu a polyetylénu[6][1].

Mezi lety 1983–1997 se firma Kaučuk postupně mění ze státního podniku na akciovou společnost. V březnu roku 1997 se stává součástí sdružení obchodních korporací. K výrobě polystyrenu byly postupně udělovány certifikace. Produkce blokového krystalového polystyrenu se uskutečnila již v roce 1998[6].

V roce 2007 společnost KAUČUK, a.s., změnila majitele i název, a to na SYNTHOS Kralupy a.s.[6].

Nyní se firma SYNTHOS Kralupy a.s. specializuje na gumárenský a obuvnický průmysl. Drobné domácí doplňky a sportovní potřeby jsou vyráběny pod obchodním názvem KRALEX. Standardní nebo houževnatý polystyren nalezneme pod obchodní značkou KRASTEN[6].

³ Látka zpomalující průběh děje.

⁴ Látky zpomalující hoření.

⁵ Polymerace je chemická reakce, při které z malých molekul vznikají vysokomolekulární látky[49].

⁶ Polymer akrylonitrilu, butadienu a styrenu.

2 Chemické, fyzikální a mechanické vlastnosti

2.1 Makromolekulární látky

Monomer je výchozí látka, jež tvoří dlouhé molekuly spojující se v makromolekuly. Spojená řada monomerů vytvoří makromolekulární sloučeninu, jejíž název je polymer. Každý polymer má polymerační stupeň, který označuje počet monomerů v řetězci. U struktury polymerů rozlišujeme homopolymery a kopolymery [9].

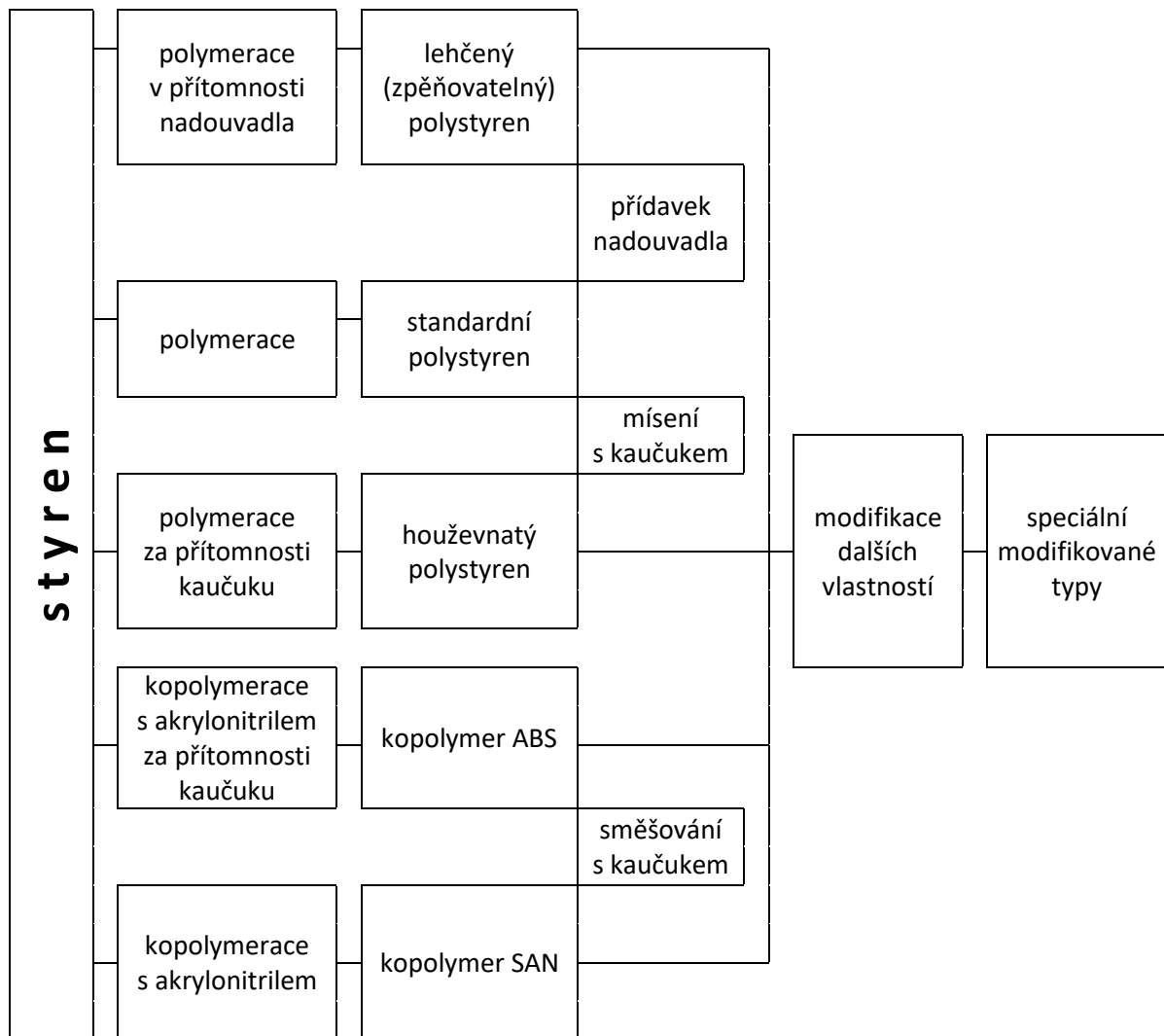
Homopolymer je polymer, který je složen jen z jednoho identického typu monomeru. Do této skupiny můžeme zařadit polyetylen (PE), polypropylen (PP), polyvinylchlorid (PVC) a polyamid 6 [10]. Kopolymerem rozumíme polymer s odlišnými monomerními jednotkami, jež patří do skupiny termoplastů. Příklady kopolymerů jsou vinylchlorid s akrylonitrilem [11].

Do skupiny makromolekulárních látek patří i styrenové polymery. Jednotlivé typy polymerů se svými vlastnostmi výrazně liší. Podle původu je můžeme rozdělit na přírodní a syntetické. První typ polymeru nalezneme v přírodních organismech, jako je např. kaučuk, kde je lineární řetězec tvořen izoprenovými⁷ jednotkami. Dále může být tvořen polysacharidy[9].

Syntetické polymery se nachází v produktech ze zpracovávané ropy. Jsou to polyetylen (PE), polypropylen (PP), teflon (PTFE), polystyren (PS), polyestery (PET), polyamidy a polyisobutylen (PIB) [9].

⁷ Isopren je nenasycený uhlovodík odvozený z 1,3-butadienu, od něhož se liší methylovou skupinou na druhém uhlíku [46].

Tabulka 1 Základní modifikované typy [13]



Krystalizační schopnosti polymeru jsou ovlivněny jeho materiálovými vlastnostmi, zejména polaritou skupin polymerních řetězců, geometrickou pravidelností a ohebností polymerního řetězce. V neposlední řadě se sem řadí objem substituentů vázaných na polymer. Polymery můžeme rozdělit podle sklonu k samovolné krystalizaci [13]. Jsou to například termoplastické materiály, které mají vysokou pevnost a houževnatost. Další kategorií jsou elastické a špatně rozpustné polymery v běžných organických rozpouštědlech. Tyto polymery nejsou z důvodu menšího obsahu kaučuku vhodné ke zpracování vytlačováním a při zpracování vyžadují rychlé roztavení. Příkladem mohou být polypropylen či polyethylen[11].

Polypropylen (PP), který patří mezi nejběžnější plasty, samovolně nekrystalizuje. Má charakteristické termoplastické a elastické vlastnosti. Svůj tvar může změnit pomocí teploty nebo působením deformační síly.

Tento plast se zpracovává pomocí válcování a za specifických podmínek vytlačování či lisování. Příklady využití nalezneme v chemickém, potravinářském a textilním průmyslu. Dále se využívá jako elektroinstalační izolace [11].

Polyethylen (PE) je termoplast, který vzniká polymerací ethenu. Stupeň polymerace má vliv na mechanicko-fyzikální vlastnosti materiálu. Je vyroben nízkotlakým a vysokotlakým způsobem a liší se uspořádáním struktury. Vysokotlaký polyethylen (HDPE) je vyroben pomocí polymerace ethylenu při teplotě 150–200 °C a tlaku 15–20 GPa. Výsledný produkt je ve formě granulí bez příměsí [12]. Výrobky z HDPE jsou nejčastěji plastové lahve, dětské hračky atd. Nízkotlaký (LDPE) polyethylen se vyrábí při teplotě 60–75 °C a 101,325 kPa, kdy katalyzátorem je chlorid titaničitý [16; 17]. Výrobky z LDPE jsou určeny především pro potravinářský průmysl (obalový materiál), zemědělské a zahradnické účely (přikrývky).

2.2 Modifikace vlastností polymeru

Vlastnosti polymerů můžeme vhodnou technologií a složením příměsí upravit tak, aby měly požadované vlastnosti. Například u izolace kabelů oceníme vyšší odolnost při vysokých teplotách, snížení emisí toxických látek při jejich hoření, lepší zpracovatelnost, snazší recyklaci či rozložení v přírodě. V době, kdy se začaly polymery hromadně využívat, se jejich vlastnosti měnily například syntézou polymerů, chemickou, fyzikální modifikací či jejich kombinací [4].

Rozlišujeme fyzikální a chemické modifikace polymerů. Fyzikální modifikace jsou technicky nejjednodušší a vznikají mechanickým smíšením dvou nebo více polymerů. Výsledné polymery mají široké uplatnění zejména díky svým mechanickým vlastnostem, jako jsou odolnost či houževnatost. Pokud bychom vyžadovali polymery křehké a snadno rozlomitelné, zvolili bychom mechanickou modifikaci – intenzivní hnětení, které za určitých podmínek s příměsí látek usnadňuje destrukci polymeru. Touto cestou vzniknou reaktivní úseky polymerní řady. Řetězce se vzájemně propojí, popřípadě zreagují s daným monomerem, který je schopný polymerace [4].

Chemická modifikace vzniká na základě chemických reakcí daných látek s reaktivními skupinami polymerních řetězců. Polystyren, který je předmětem našeho výzkumu, je polymer s největším rozsahem modifikací, jejichž vzájemné souvislosti jsou zobrazeny v tabulce č. 1.

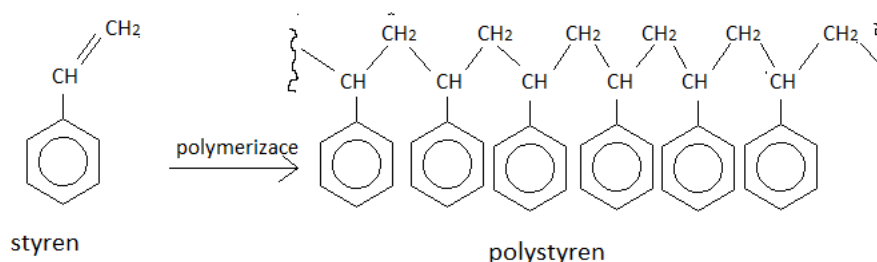
3 Polystyren

3.1 Styren

Styren je významná chemická surovina. Používá se jako rozpouštědlo a také jako surovina k výrobě polystyrenu, kopolymerů styrenu a nenasycených polyesterů. Čistý styren je čirá bezbarvá hořlavá kapalina, která se vaří při 145 °C a mrzne při -30,6 °C. Pokud není ošetřen inhibičními⁸ chemikáliemi, má tendenci spontánně polymerovat během skladování. Při požití nebo vdechování je mírně toxický pro nervový systém. Při kontaktu s pokožkou a očima může způsobit podráždění [13].

3.2 Výroba polystyrenu

Standardní polystyren (označen zkratkou PS) se zpravidla vyrábí radikálovou polymerizací⁹ [9] (obr. 3). Výchozím monomermem je styren.



Obrázek 3: Depolymerizace [14]

Polymerace styrenu probíhá iontovým mechanismem, který využívá Friesel-Craftsových katalyzátory, či využitím polymerace na Ziegler-Nattaových katalyzátorech. Takto dosáhneme polymeru s různou orientací fenylových skupin. Výsledný polymer je tuhá, křehká, bezbarvá a průsvitná hmota. Základní řetězec se liší svými fyzikálně-mechanickými vlastnostmi. Podle technologie přípravy rozlišujeme polystyren blokový, perličkový a emulzní [15]. Mezi styrenové plasty patří polystyren a jeho kopolymeru (PS, ABS, SAN atd.).

⁸ Látka, přísada zpomalující nebo zcela zastavující reakci [2]

⁹ Radikálová polymerizace je průmyslově nejvyužívanějším způsobem syntézy technicky významných polymerů [47].

3.2.1 Vlastnosti polystyrenu

Polystyren je termoplast, kde fyzikálně-mechanické a mechanicko-fyzikální vlastnosti závisí na polymerizačním stupni a postupu přípravy. Je to druh polymerního materiálu, který je vytvořený z jednotlivých buněk o velikosti 80–50 μ m. Vyrábí se v několika typech podle napětí v tlaku (v kPa) při 10% stlačení[16]. Pěnový polystyren zn. EPS 70 je určen zejména pro tepelné izolace bez významných požadavků na zatížení tlakem, jako například podlah, spodních vrstev izolací plochých střech apod. Se zvyšujícím se číslem u značky EPS roste zátěž, kterou je možné použít. Nejdůležitější vlastností je tepelná vodivost (λ), která závisí na objemové hmotnosti, obsahu vlhkosti a teplotě desek. Izolační vlastnosti polystyrenu spočívají ve struktuře uzavřených buněk, které jsou naplněny vzduchem cca 98 %, zatímco 2 % tvoří pěnová hmota. U objemové hmotnosti platí nepřímá úměra, tzn., že se vzrůstající objemovou hmotností součinitel tepelné vodivosti klesá. Polystyren je relativně tvrdý a křehký plast, který nepodléhá kyselinám a zásadám. Je citlivý na náraz a jeho vlastnosti se pod vlivem povětrnostních podmínek časem zhoršují. Pohlcuje UV záření nižší než 320 nm [22]. Při teplotě 90 °C polystyren měkne a při 95 °C přechází do sklovitého stavu¹⁰. Dobře se lepí běžnými rozpouštědly a výborně přijímá většinu barev. Je dobrým tepelným a zvukovým izolátorem. Vyrábí se například v transparentních či pastelových barvách. Další možností využití polystyrenu je v průsvitném či neprůhledném designu. Protože se jedná o velmi hořlavý materiál, přidával se do extrudovaného polystyrenu zpomalovač hoření (hexabromcyklododekan –HBCDD). Tato látka je persistentní¹¹ a v životním prostředí se nerozkládá, proto byla dle Stockholmské úmluvy OSN v roce 2019 zakázána [13]. V České republice se v roce 2015 hexabromcyklododekan přestal v polystyrenu používat.

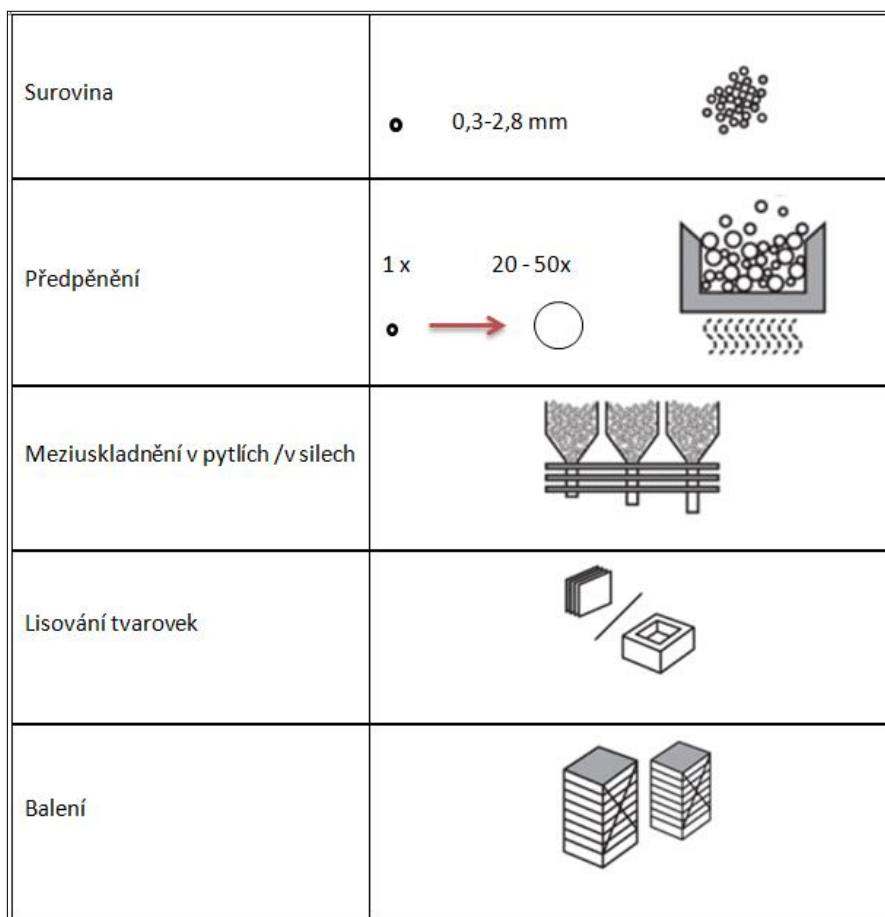
Mezi nevýhody polystyrenu patří nízká tepelná odolnost (tepelně se deformuje již při 70 °C), křehkost a hořlavost. Teplota vznícení polystyrenu je 310–335 °C. Začne hořet od plamene sirky (teplota plamene sirky 650–835 °C). Hoří v roztaveném stavu a vyzařuje velké množství tepla. Hořící polystyren je doprovázen hojným vyloučením (267 m³/m³) hustého černého kouře. Produkty hoření jsou toxické [2]. Dalšími nevýhodami je žloutnutí na světlo (UV oxidace) či tendence k tvorbě prasklin.

¹⁰ Proces, při kterém se polymerní tavenina mění při ochlazování na polymerní sklo nebo se polymerní sklo mění při zahřívání na polymerní taveninu [17].

¹¹ Látka se nerozkládá.

3.3 Výroba expandovaného polystyrenu (EPS)

Polystyren EPS (z angl. Expanded Polystyrene) je čtvrtým nejpoužívanějším termoplastem (polyethylen, polypropylen, polyvinylchlorida polystyren) [22]. Je vyráběn z malých kuliček, které se nechají v komoře s horkou párou zbytnět. Teplota 200 °C páry pak umožní únik pentanu. Kuličky se naplní vzduchem a přibližně padesátkrát zvětší svůj objem. Přemístí se do pytlů a z nich se následně přesunou do stroje, který kuličky spojí horkou párou. Tímto procesem vznikne pět metrů dlouhý a jeden metr široký kvádr, jenž váží přibližně 200 kg. Konzistence polystyrenu je dána množstvím kuliček na jeden metr krychlový [6]. Pevnost polystyrenu je přímo úměrná jeho hustotě. Ta patří mezi základní požadavky na výrobu polystyrenového kvádru a při výstupní kontrole je ověřována jeho vážením. Polystyrenový kvádr, který projde výstupní kontrolou, je poté rozřezán pomocí žhavého drátu z mědi a niklu na požadované formáty (obr. 4).



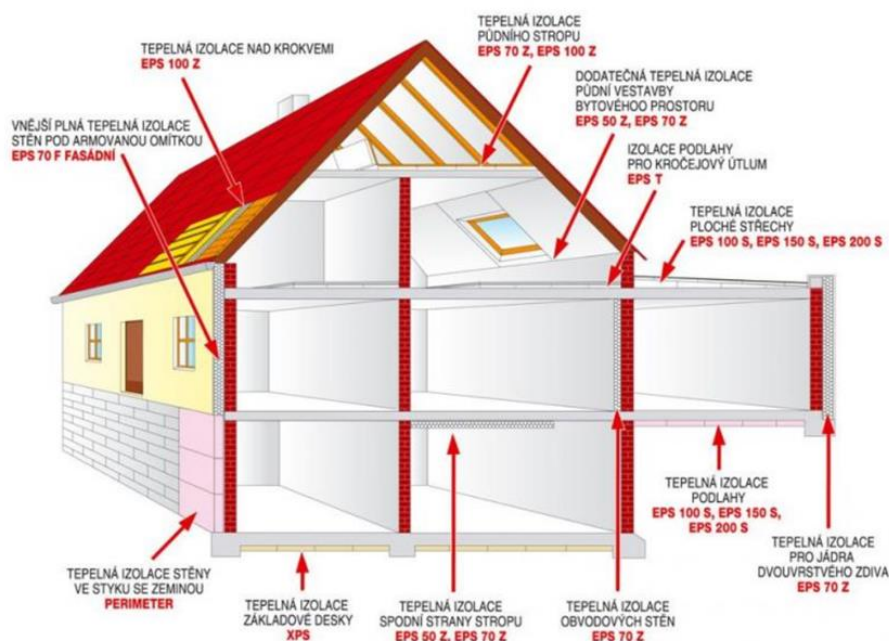
Obrázek 4: Výroba expandovaného polystyrenu [19]

3.3.1 Využití polystyrenu (EPS)

Ve stavebnictví se využívají tři typy polystyrenu EPS – základní (Z), stabilizovaný (S) a fasádní (F). Základní polystyren je určen pro podlahy bez akustických vlastností a kročejového útlumu¹². Stabilizovaný je využíván tam, kde jsou velké teplotní výkyvy, např. izolace střech. U fasádního polystyrenu je kladen největší důraz na přesnost rozměrů vyrobené desky. Tolerance v úhlopříčce desky je nejvýše 2 mm [22]. Je určen k vnější izolaci domu. Příklady označení (obr. 5) polystyrenu a využití polystyrenu ve stavebnictví (obr. 6).



Obrázek 5: Značení polystyrenu

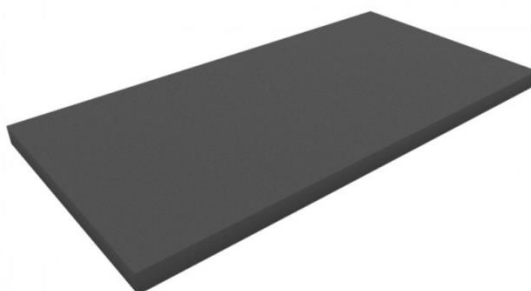


Obrázek 6: Využití polystyrenu ve stavebnictví [20]

¹² Akustická izolace.

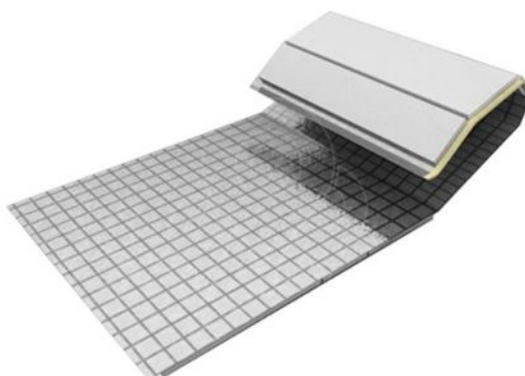
Protože se ve stavebnictví využívá několik druhů polystyrenu, uvedeme pouze některé jeho typy.

Styrotherm plus (obr. 7) je grafitový¹³ EPS polystyren s lepšími izolačními vlastnostmi, kterých je dosaženo zpětným odrazem tepelného záření ke zdroji – přidáním absorbéru infračerveného záření do základní matrice pěnového polystyrenu. Dalším významným přínosem této změny je výrazná úspora elektrické energie. Styrotherm plus se používá jako izolace vysoce zatížených podlah, střech, izolace fasád aj.



Obrázek 7: Styrotherm plus 70 [25]

Styroroll (obr. 8) je další modifikací polystyrenu, která je určena k zateplování podlah s využitím podlahového vytápění. Deska EPS je pokaširovaná odrazovou fólií 120 g/m², odolnou proti roztržení. Kaširování¹⁴ zajistí velmi dobrou pevnost při dlouhodobém používání. Desky jsou opatřeny rastrem, jenž nám ulehčí uložení podlahového systému. Podélné přesahy fólie na každém pásu styro EPS jsou vybaveny samolepicí páskou pro slepení jednotlivých dílců styroroll, tak aby finální podlahová vrstva nemohla zatékat pod tepelný izolant.

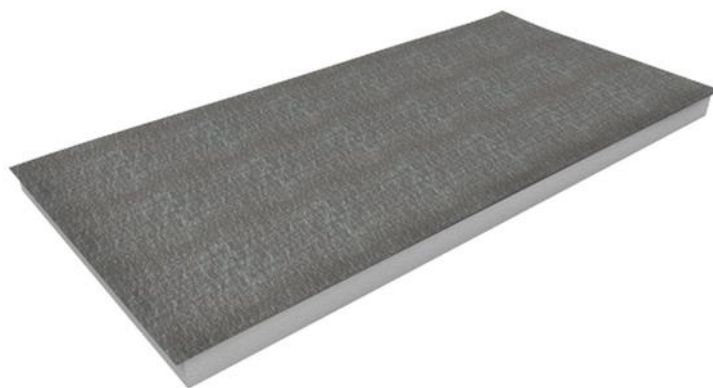


Obrázek 8: Styrotrade styroroll [22]

¹³ Šedý polystyren.

¹⁴ Nalepený asfaltový hydroizolační pás.

Styrotrade styro kašír (obr. 9) jsou desky s nakaširovaným hydroizolačním pásem. Využívají se u tepelné izolace jednovrstevných nevětraných plochých střech. Po odborné pokládce tvoří ve střešním plášti kvalitní tepelnou izolaci a zároveň první hydroizolační vrstvu.



Obrázek 9: Střešní kaširovaný polystyren [23]

V potravinářském průmyslu je EPS využit v jednorázových plastových obalech. Obaly chrání potraviny, které jsou bez další tepelné přípravy určeny k přímé spotřebě. V potravinářském průmyslu se využívají tzv. podložní tvarovky, jež slouží k ochraně potravin citlivých na teplotu, jako jsou skladování čerstvých ryb, masa, ovoce či zeleniny. [28] Značné množství EPS je aplikováno na balení elektrických spotřebičů, a to zejména bílého zboží. V přepravních kontejnerech jej lze využít pro uložení citlivých lékařských a farmaceutických výrobků, které musí být udržovány v teple nebo které je třeba chladit. Tyto obalové materiály nabízejí přednosti, jako jsou odolnost proti nárazu a vodovzdornost. Polystyren lze využít v modelářství, nábytkářství a je významným prvkem pro dekorativní účely. Někdy je tento druh polystyrenu označován jako Styro EPS[23](obr. 10).



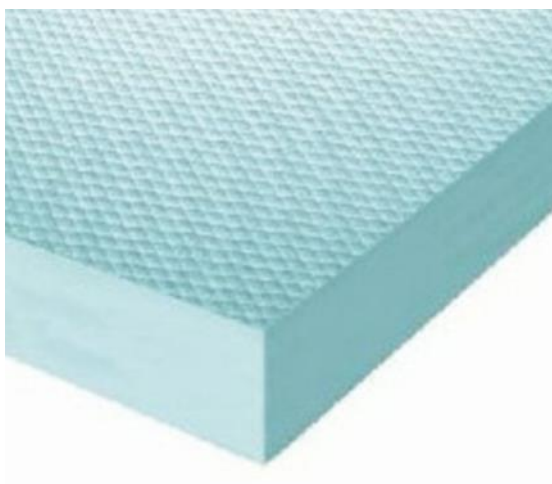
Obrázek 10: Polystyren EPS [24]

3.4 Výroba extrudovaného polystyrenu (XPS)

Extrudovaný polystyren díky svým vlastnostem vyhovuje náročnějším požadavkům. Používá se tam, kde expandovaný polystyren jako izolant nestačí. Výroba formou extruze¹⁵ je založena na vytlačování taveniny speciálního krystalového polystyrenu za současného sycení vzpěňovadlem. Ten po uvolnění tlaku na konci trubice způsobí napěnění hmoty. Hmota se ochladí a upraví do požadovaného tvaru [23]. Extrudovaný polystyren se oproti expandovanému liší svou nenasákavostí. Má uzavřenou strukturu, tím je oproti polystyrenu EPS mnohem více voděodolný. Jedná se o deskový materiál s minimální nasákavostí a velkou pevností[22].

3.4.1 Využití polystyrenu (XPS)

Extrudovaný XPS polystyren se stejně jako jeho předchůdci díky svým tepelně izolačním schopnostem používá pro zateplení. Ve velké míře se polystyren využívá jako tepelná izolace k zateplování budov, plochých střech, stropů a také jako izolant namáhaných podlah aj. [24]. Polystyren je voděodolný, proto je vhodný pro izolaci ve vlhkém prostředí. Extrudovaný polystyren (obr. 11) je tvrdý, ale křehký a lámavý plast dodávaný od výrobce v deskách s hladkým a celistvým povrchem. Při jejich studeném řezání dochází k narušení jejich okraje, části desky se začnou vylamovat. Pro zachování celistvého vzhledu je třeba dělit desky řezem za tepla[26].



Obrázek 11: Extrudovaný polystyren (fasádní)

¹⁵ Vytlačování.

Izolační desky Perimetr (obr. 12) jsou vyráběny ze speciální suroviny a jsou určeny pro tepelné izolace spodní stavby budov. Vyznačují se pevností v tlaku, odolností proti působení vlhkosti a mrazuvzdorností[25].

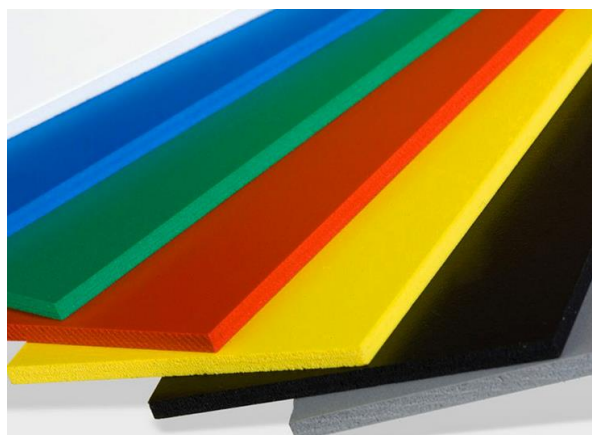


Obrázek 12: Styrotrade styro perimetr 200 [27]

3.5 Výroba polystyrenu HIPS

HIPS polystyren (z angl. High Impact Polystyrene) je houževnatý materiál modifikovaný kaučukem. Náleží mezi termoplasty, je pevný, houževnatý a má dobrou teplotní stálost. Jedná se o kopolymer styrenu a butadienu[19]. Během výroby se do makromolekuly polystyrenu procesem roubování nebo směšování vloží kaučuk. Výroba probíhá vstřikováním, extruzí či tvarováním za tepla. Přednostmi tohoto typu jsou lehká opracovatelnost, nízké náklady a dlouhá životnost (obr. 13) [26].

Mezi hlavní nevýhody patří menší rezistence vůči povětrnostním vlivům, vyšší nasákavost a menší odolnost vůči chemickým látkám.



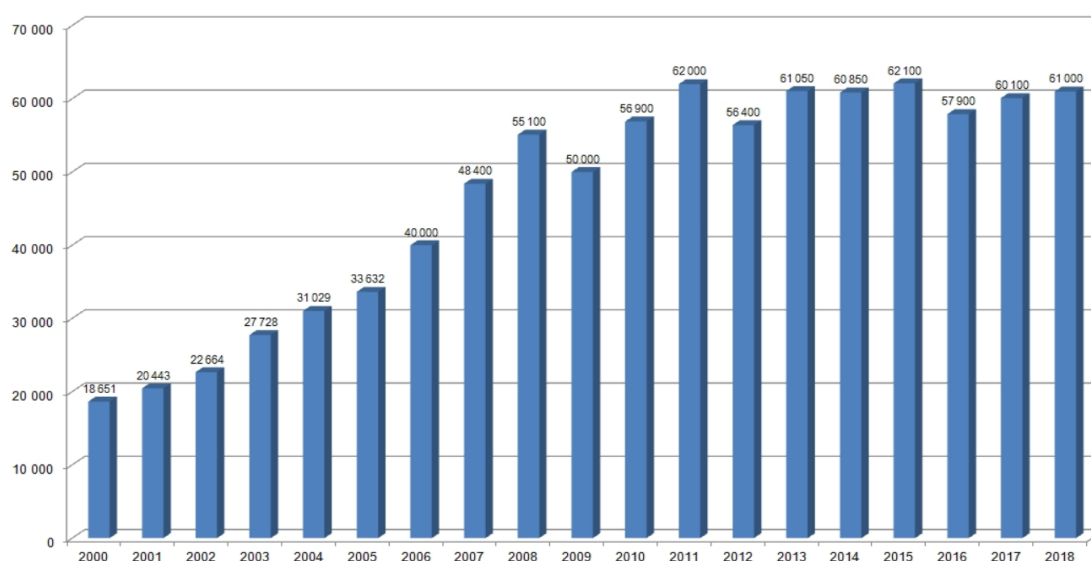
Obrázek 13: Desky z houževnatého polystyrenu HIPS [26]

3.5.1 Využití polystyrenu HIPS

HIPS má široké uplatnění v průmyslu. Vzhledem ke své vysoké odolnosti je využíván jako výplň krytů chladniček a mrazicích zařízení. Dále je používán k výrobě dekorativního nábytku, krytů a součástí elektronických přístrojů. Mezi hlavní způsoby zpracování patří tepelné tvarování a řezání, laserové řezání a lepení. Tento materiál lze využít i pro dvouhlavé 3D tiskárny.

3.6 Recyklace polystyrenu

Polystyren je jeden z recyklovatelných plastů. V České republice je recyklován v počtu 27 %, cca 54 % celkového objemu odpadního pěnového polystyrenu je na skládkách a zbytek je využit energeticky. Spotřeba pěnového polystyrenu (EPS) v Česku v roce 2018 byla 61 000 tun (obr. 14). Byla to čtvrtá nejvyšší hodnota od roku 2000 [29]. Česká republika má největší spotřebu polystyrenu na počet obyvatel v celé Evropě [27]. Polystyren je možno třídít ve žlutých kontejnerech na plast. Na třídících linkách je obsah kontejneru vytríděn a podle možnosti je roztríděn na další zpracování. Závislost na znečištění je určována podle jeho prvotního určení, např. obalové materiály jsou znečištěny plastovými štítky. Po roztrídění je polystyren rozdrcen nebo roztaven a je připraven pro další použití. Recyklovaná surovina se může použít na výrobu méně náročných výrobků (květináče, ramínka apod.). Neznečištěný polystyren je možno využít při výrobě izolace či obalů. Znečištěný materiál se používá např. v betonu, kde výsledným produktem je odlehčený beton [28]. Sběr dat je pouze do roku 2018.



Obrázek 14: Roční spotřeba pěnového polystyrenu [29]

4 Řezání polystyrenu

Následující kapitoly jsou již zaměřeny na zpracování polystyrenu v malém měřítku a malém počtu kusů ve školních či domácích podmínkách.

4.1 Studené řezání

Při řezání polystyrenu ostrými noži se velmi často ostří tupí. Proto je pro práci vhodnější použít odlamovací nůž, skalpel s vyměnitelnými čepelemi nebo pilku s jemnými zuby. U tohoto typu řezu se jedná o takzvané studené řezání. Po odkrojení polystyrenu je nutné ještě desku polystyrenu zarovnat škrabkou. Polystyren lze řezat také přímočarou pilou nebo úhlovou bruskou s řezným kotoučem. Tyto způsoby řezání jsou však limitovány šířkou polystyrenu. Mezi nevýhody těchto řezů patří nepořádek ve formě malých polystyrenových kuliček, nerovný řez a porušení extrudované desky.

4.2 Tavné řezání

Tavným řezáním rozumíme dělení syntetického materiálu (např. polystyrenů zmíněných v předchozích kapitolách, syntetických lan a jiných plastů) na dvě či více částí za tepla, tzn. pomocí nástroje předeřhátého na teplotu odpovídající konkrétnímu materiálu.

U každého materiálu jsme schopni nalézt minimální a maximální teplotu řezání. Při minimální řezné teplotě lze pozorovat změny ve struktuře děleného předmětu při kontaktu s řezačkou, aniž bychom působili silou potřebnou při studeném řezání. Maximální teplota závisí na rychlosti řezání, použitém materiálu děleného předmětu a materiálu použitého „ostří“ řezačky. Optimální teplota je nastavena tehdy, když je řez rovný, povrch řezu je souvislý, hladký a bez spálenin. U stacionárních řezaček je prodlužování drátu kompenzováno napínacím mechanismem¹⁶.

Rozdělení tavných řezaček podle:

- Řezaného materiálu a teploty řezání.
- Typu práce – na ruční a stacionární řezačky.
- Typu „ostří“ – použití nože nebo drátu.
- Druhu využití zdroje – vnitřní nebo vnější zdroje.

¹⁶ Napínacím mechanismem je pružina, která zamezí průtahu odporového drátu.

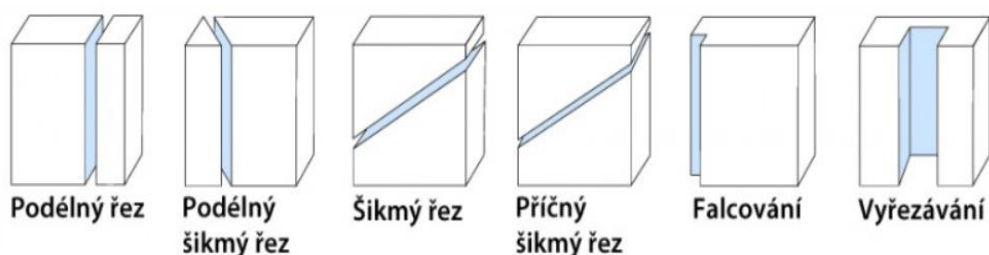
4.2.1 Technické řešení řezaček na pěnový polystyren

Tavné řezačky lze využít na řez polystyrenových materiálů, EPS, XPS aj.

Stolní tavné řezačky

Stolní tavné řezačky umožňují řezat běžně dostupné polystyrenové desky, pěnové fólie nebo molitan. Jsou vhodné k plně zatěžovacímu provozu s trvalým nahříváním nože nebo s regulací teploty. Tyto řezačky se používají při dlouhodobém provozu, kdy teplota struny nebo nože dosahuje velmi vysokých hodnot, cca několika set stupňů, proto se zde využívá vnější zdroj.

Konstrukce stolní tavné řezačky (obr. 16) se skládá z desky, na níž je umístěno rameno s připevněnou cívkou s řezným drátem, který je veden skrz očko do základny řezačky. Díky očku lze po ramenu pohybovat a nastavovat libovolný horizontální i vertikální řez (obr 15). Na desce je připevněna úhloměrná stupnice a měřidlo. Ke stolní řezačce je možné přidat nástavce na 3D řezy, hloubkové řezy s drážkovým, zkoseným či spádovým.



Obrázek 15: Varianty řezu polystyrenu [29]



Obrázek 16: Stolní řezačka s odporovým drátem [30]

Mezi průmyslové řezačky polystyrenu můžeme zařadit CNC stroje řízené počítačem (obr. 17). Díky této technologii můžeme provádět vícenásobné řezy z velkých bloků ($1\,500 \times 1\,500 \times 1\,000$ mm) polystyrenových materiálů. Materiál je rozřezán pomocí napnutých rozžhavených odporových drátů. Výhodou je zde vysoká přesnost řezu a efektivita [31].



Obrázek 17: CNC řezací pracoviště PYNC-1 [32]

Ruční tavné řezačky

Konstrukce ruční řezačky je přizpůsobena ruční manipulaci. Můžeme se setkat s řezačkami s napnutým odporovým drátem nebo s noži. Její tělo je lehké a nůž, resp. drát je s ním pevně spojen. Tyto řezačky jsou určeny pro přerušovanou práci. Bývají vybaveny regulátorem teploty a spínačem přímo na jejím těle.

Pro dlouhodobější práci se používá tavná ruční řezačka s pevným nožem, v němž je umístěn topný segment, který jej ohřívá. Teplota nože může dosahovat 88–650 °C. Nůž je uzpůsoben konkrétnímu typu řezačky. Existují různé typy nožů, např. nože pro vodící lištu, které je možné použít ke gravírování a k přesnému řezání (modeláři) polystyrenu (obr. 18). Další může být termický nůž pro řezání polystyrenu (plasty), který také slouží ke zhotovování otvorů (obr. 19), nebo řezací čepel pro extrudované a pěnové desky (obr. 20). Tavný nůž můžeme aplikovat na polystyren nebo na plasty s maximální variabilitou řezných a tavných čepelí. Pro přesné vykrajování polystyrenu je vhodnější využít drátovou řezačku, kde je topným a řezacím elementem odporový drát, jehož délku, průřez i materiál zvolíme podle požadovaných podmínek.

Připojením řezačky ke zdroji elektrické energie začne celým elektrickým obvodem a řezným (odporovým) drátem procházet elektrický proud. Princip řezání rozžhaveným drátem funguje tak, že na polystyren přiložíme žhavý drát, jenž v místě dotyku vytvoří v polystyrenu mezeru. Polystyren tak ustupuje před drátem, čímž dochází k tavnému řezu. Tento způsob řezání nám zajistí, že můžeme rychle a čistě vyříznout libovolný tvar.

Drátové řezačky využívají především modeláři, kteří pracují s odporovými dráty při teplotě cca 170 °C. Po vyříznutí polystyrenu vzniklé nitě ještě začistí, protože zde docházelo k mechanickému napínání struny. U mechanického napínání se drát ochlazuje. To je způsobeno tlačení drátu na polystyren (dochází k tření), drát se při dotyku s polystyrenem ochlazuje. Při řezání polystyrenu odporovým drátem zahřátým na vysokou teplotu musíme přizpůsobit rychlost řezu, aby nedocházelo k místní degradaci materiálu. Vyšší rychlost řezání je vykoupena horší kvalitou řezu.

Vnitřní zdroj řezaček je často umístěn uvnitř rukojeti s možností regulace. Ruční řezačky jsou vhodné pro krátkodobý provoz. Využívá se takzvaný přerušovaný provoz, což znamená, že s řezačkou pracujeme v určitých časových intervalech (řády sekund až minut).

Mezi výhody ruční řezačky můžeme zařadit nízkou váhu, jednoduchou konstrukci a snadnou obsluhu. Uvádíme některé typy ručních řezaček.



Obrázek 18: Elektrická rezačka na polystyren Styro 7W KG7W, modelářská, hobby, KEMPER 1650 [33]



Obrázek 19: YT-82190 Termický nůž[33]



Obrázek 20 Řezací čepel, rezačka na polystyren Dedra DED7519 [33]

Ukázka nastavení průmyslové ruční řezačky HSGM před řezáním polystyrenu

Příprava na řezání polystyrenu

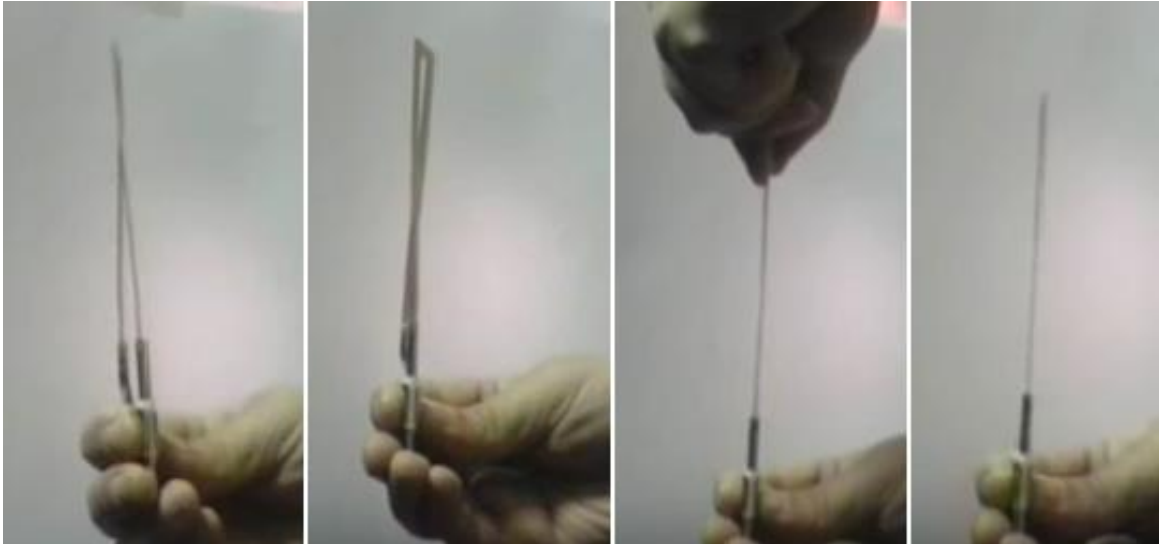
Pro řezání odporovým drátem by si začátečníci měli připravit dostatek zkušebního materiálu, tzn. polystyrenu, a náhradní odporové dráty, nože či planžety. Dále je vhodné si pro práci připravit šablonu na polystyren. Nedostatečnou pracovní přípravou může dojít ke zdravotním rizikům v podobě popálenin, které může způsobit rozžhavený odporový drát nebo nůž. Rozpáleným drátem prochází elektrický proud a dosahuje teplot 300–1350 °C.

Nastavení řezačky polystyrenu

Pro řezání polystyrenu ruční řezačkou s termickým nožem bychom měli před započetím práce instalovat závěsný háček na tavnou řezačku (obr. 21). Před první instalací nože do ruční řezačky se přesvědčíme o souososti nože, tu seřídíme před utažením nože do řezačky (obr. 22). Tím se zamezí zkrutné deformaci. Po usazení nože do řezačky polystyrenu můžeme pracovat.



Obrázek 21: Tavné příruční řezačky HSGM – před prvním spuštěním –ROBEX DK, s.r.o. [34]



Obrázek 22: Úprava nože před řezáním [34]

Bezpečnost práce s ruční řezačkou

Protože pracujeme pod napětím, musíme i zde dodržovat bezpečnost práce s elektrickým zařízením. Než začneme pracovat, přesvědčíme se, že je elektrická řezačka v dobrém a funkčním stavu. Neodstraňujeme kryty ani záslepky a nedotýkáme se živých částí. Pokud potřebujeme na řezačce vyměnit řezný drát či nůž, provádíme tuto činnost pouze ve vypnutém stavu. Při řezání se nedotýkáme žhavého drátu (nože), který může způsobit popáleniny.

Polystyren bychom měli řezat v dobře větratelných prostorách z důvodu zvýšené koncentrace CO₂. Pokud pracujeme v uzavřené místnosti, použijeme odsávací ventilátor k odstranění výparů. Při řezání plastů se mohou uvolňovat plyny, které při nadýchání vedou k nevolnostem, proto je potřeba zajistit přísun čerstvého vzduchu. Při větším výskytu plynů hrozí riziko otravy, pro tyto případy je třeba plyny odsávat ventilátorem.

Bezpečnost práce s profesionální tavnou řezačkou polystyrenu se řídí podle technického listu, kde jsou uvedeny pokyny, seznam rizik a doporučené osobní ochranné pomůcky.

Praktická část

5 Výroba těla ruční řezačky

Výroba ruční řezačky bez jakýchkoli předchozích zkušeností není snadným úkolem. Při prvním návrhu je důležité stanovit bezpečnostní, ergonomická, technická a ekonomická kritéria.

Bezpečnostní požadavky vychází ze skutečností, že vyrábíme zařízení napájené elektrickým proudem, jehož části přístupné dotyku obsluhy přesahují bezpečnou úroveň teploty.

Ergonomické požadavky jsou založeny na snadné manipulaci s řezačkou a přidruženými elektrickými obvody. Zařízení musí být příjemné na dotyk a lehké, aby se s ním dalo snadno manipulovat. Napájecí kabel musí být ohebný, lehký a dostatečně dlouhý pro snadnou manipulaci na pracovišti. Od konektorů či zástrček se očekává dostatečná odolnost vůči poškození při časté manipulaci a dobrý a stabilní kontakt s minimálním přechodovým odporem. K napájení s výhodou využijeme dostupný školní zdroj, kterým splníme bezpečnostní požadavky a který je přímo určen pro práci studentů v hodinách fyziky.

Technická specifikace vychází zejména z rozměrů a materiálových vlastností řezaného polystyrenu. Rozměry řezačky odpovídají největšímu rozměru řezaného předmětu. Řezný drát musí dosahovat takové minimální teploty, kdy po styku s polystyrenem začne polystyren ustupovat a vznikne hladký řez. Vzhledem k okolním podmínkám (teplota a proudění vzduchu) je třeba zvolit teplotu o několik jednotek až desítek vyšší. Maximální teplota tavného drátu je dána degradací polystyrenu při řezání, jeho zčernání a vzniku nadměrného kouře při řezání.

Je nezbytné zvolit vhodný odporový drát, který se při požadované délce, průřezu a s dostupným zdrojem ohřeje na optimální řeznou teplotu. Analýze odporových drátů, jejich připojení do obvodu a ověřování jejich vhodnosti je věnována samostatná kapitola této práce.

Ekonomickými ukazateli, které jsou sledovány v této práci, jsou konstrukční a provozní náklady. Řezačky popisované v této práci jsou sestaveny z dostupných a levných materiálů. Použitím školního zdroje splníme nejen bezpečnostní požadavky zmíněné výše, ale také snížíme náklady na konstrukci, provozní náklady a ušetříme životní prostředí, neboť nemusíme často kupovat a vyměňovat akumulátorové baterie.

5.1.1 Prvotní výroba řezačky

První prototyp řezačky byl vytvořen pro ověření, v jakých řádech napětí, proudů a teplot se budeme s dostupnými prostředky pohybovat. Řezačka byla napájena akumulátorem a postup výroby je popsán níže.

Na papír jsme zakreslili takový tvar řezačky, abychom mohli řezat polystyren o rozměrech alespoň 11 cm × 12 cm. Model, jenž nám vznikl, jsme přenesli na vybrané dřevěné hranoly a lištu, které jsme podle něj upravili a sestavili. K výrobě řezačky jsme použili smrkové dřevěné hranolky o rozměrech 15 × 150 × 15 mm (š × v × h). Do hranolky jsme pilkou přes celou délku vyřezali rýhu, která bude sloužit k zapuštění napájecího vodiče. Disperzním lepidlem jsme slepili hranolky k sobě do tvaru U a vsadili do rukojeti řezačky (obr. 23). Rukojeť jsme vytvořili jako hranol z dřevěné lišty o rozměrech 40 × 130 × 43 mm (š × v × h). Tyto rozměry jsme zvolili na základě velikostí pouzdra dvou tužkových baterií, spínače a napájecích vodičů. Pouzdro s bateriemi se zasouvá do spodní, duté části rukojeti a zajišťuje se vsunutím dřevěného šoupěte proti vyklouznutí. V horní části hranolu je z pohledové strany vyvrtaný otvor o průměru 20 mm k zasazení vypínače.



Obrázek 23: Akumulátorová řezačka polystyrenu

Na koncích ramen jsme umístili svorkovnice pro uchycení odporového drátu. Elektrický proud je veden měděnými slaněnými vodiči o průměru 1,5 mm s polyethylenovou izolací. Ty jsou vedeny v rukojeti řezačky od bateriového pouzdra přes vypínač po svorkovnici a dále v drážkách obou ramen řezačky po svorkovnice pro připojení odporového drátu (obr. 24). Pro experimenty jsme z hlediska dostupnosti zvolili odporový drát chrom-nikl o průměru 0,5 mm a jmenovitém odporu $5,5 \Omega \cdot \text{m}^{-1}$.



Obrázek 24: Umístění svorkovnice s vodičem v drážce

5.1.2 Nedostatky akumulátorové řezačky

Prvotní návrh řezačky měl mnoho nedostatků. Příkladem mohou být příliš robustní držadlo a z toho vyplývající špatná manipulace s řezačkou a dále vysoké provozní náklady kvůli časté výměně baterií. Pro uchycení odporového drátu byl použit šroub s průběžnou drážkou, což se při napínání a časté výměně drátu během experimentů jeví jako nepraktické. Při zapnutí tlačítka ON řezačka fungovala velmi krátce. Došlo k propálení kontaktů v boxu baterií. Tato závada byla způsobena velkým zkratovým proudem, v jehož důsledku s vzrůstající teplotou došlo k roztavení cínu (přerušení elektrického obvodu) a natavení plastového pouzdra baterií (obr. 25). Tento problém by se dal eliminovat zmenšením přechodového odporu a posílením vodivé cesty uvnitř pouzdra na baterie, a to například vložením měděného pásku. Tím by došlo ke snížení ztrátového výkonu a snížení teploty uvnitř pouzdra.

Tyto nedostatky bylo třeba v následující verzi řezačky odstranit. Baterie jsme nahradili vhodnějším zdrojem a držadlo jsme optimalizovali. Místo šroubů jsme použili křídlové matky.



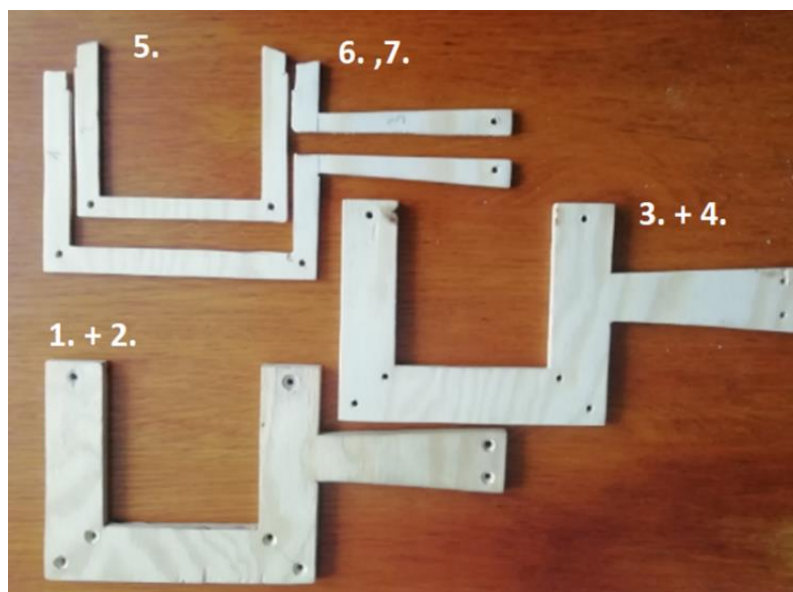
Obrázek 25: Propálené kontakty v boxu baterie

Na základě získaných zkušeností jsme zjistili, že z ekonomických důvodů a z důvodu ohleduplnosti vůči životnímu prostředí je vhodnější použít jiný zdroj. Použité tužkové baterie ($2 \times 1,5 \text{ V}$, s kapacitou $2 \times 2100 \text{ mAh}$) nejsou schopny dodávat stabilně požadovaný proud. Při dlouhodobějším řezání začne jejich napětí klesat a proud v řezačce nebude dostatečný pro ohřev odporového drátu. Baterie bude třeba často vyměňovat, což je finančně náročné.

5.1.3 Výroba řezačky – druhý pokus

Nový design řezačky se skládá celkem z pěti dílů. Základním materiálem je dřevotřísková deska o tloušťce 4 mm z měkkého dřeva, ze které byly jednotlivé díly vyřezány podle papírové šablony. Vytvořili jsme pět papírových šablon – jednu pro každý díl. Papírové vzory jsme překreslili na dřevotřískovou desku z měkkého dřeva s tloušťkou 4 mm. Překreslené šablony jsme vyřízli lupínkovou pilou na sedm kusů požadovaných tvarů. Tělo řezačky je tvořeno čtyřmi stejnými díly (1–4 viz obrázek 26), které jsme po dvou kusech spojili disperzním lepidlem. Získali jsme 2 krajní díly s celkovou tloušťkou 8 mm. Čtyři kusy tvořily navrženou řezačku (díly č. 1 a 2, 3 a 4; viz obr. 26), ty jsme k sobě po dvou kusech slepili disperzním lepidlem. Tloušťka těchto dvou kusů byla 8 mm.

Prostřední díl řezačky (složený z dílů 5–7, obr. 26) byl navržen tak, abychom do něj mohli protáhnout vodiče a aby při manipulaci nedošlo k vytržení vodičů z drážky – a tím k poškození řezačky.

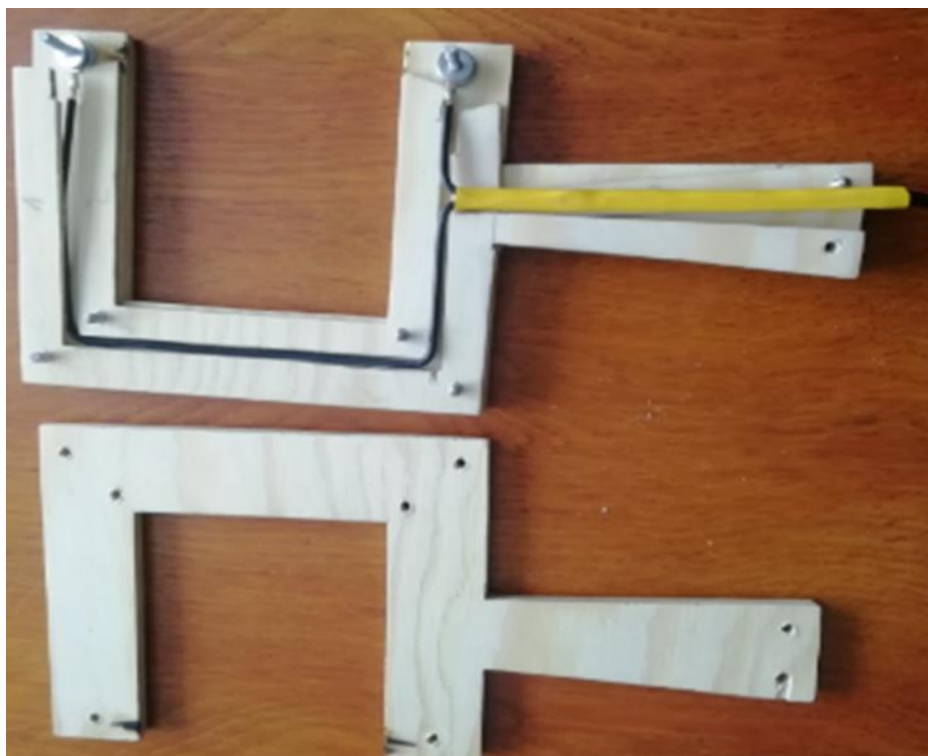


Obrázek 26: Vyříznuté a slepené tvary

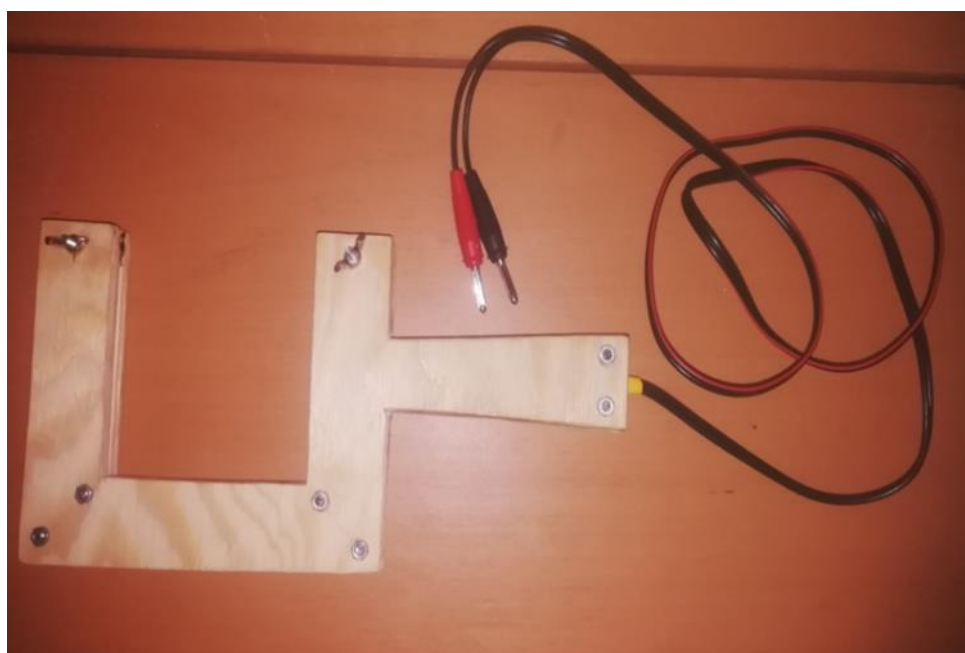
Všechny díly jsme seskládali dohromady, ověřili konstrukci celé sestavy a vyvrtali díry na zapuštění šroubů. Následovalo opětovné rozebrání a protažení napájecích vodičů – měděný slaněný vodič o průměru 1,5 mm s polyetylenovou izolací. Paralelní vodiče procházející madlem byly staženy k sobě smršťovací bužírkou. Na vodiče, které byly umístěné v madle řezačky, byla použita smršťovací bužírka (obr. 27). Na konci vodičů byla použita kabelová zakončovací očka, která se nasadila na šrouby, a s pomocí křídlových matek byla zajištěna jejich nehybnost v řezačce (obr. 28).



Obrázek 27: Vodiče se smršťovací bužírkou



Obrázek 28: Sestavení řezačky polystyrenu

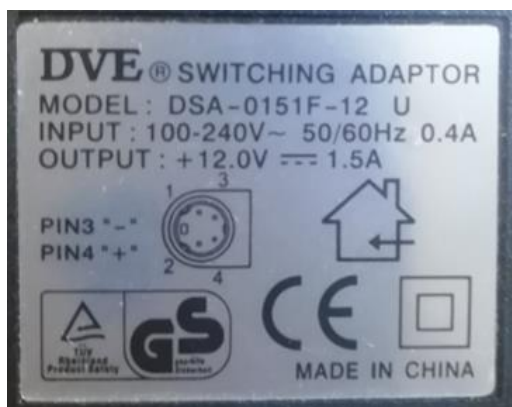


Obrázek 29: Řezačka polystyrenu

6 Zdroj řezačky

6.1 Vlastnosti použitých zdrojů DVE a Peak Tech

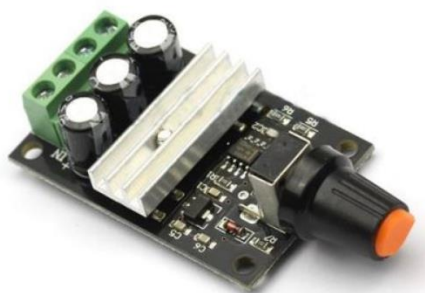
Napájení řezačky je realizováno dostupným napájecím adaptérem značky DVE 12 V s maximálním výstupním proudem 1,5 A (obr. 30). Abychom mohli plynule regulovat energii spotřebovanou na ohřev odporového drátu (a tím i jeho teplotu), musíme do obvodu zařadit regulační prvek. Pro naše potřeby dobře poslouží PWM regulátor (obr. 31).



Obrázek 30: Výrobní štítek DVE

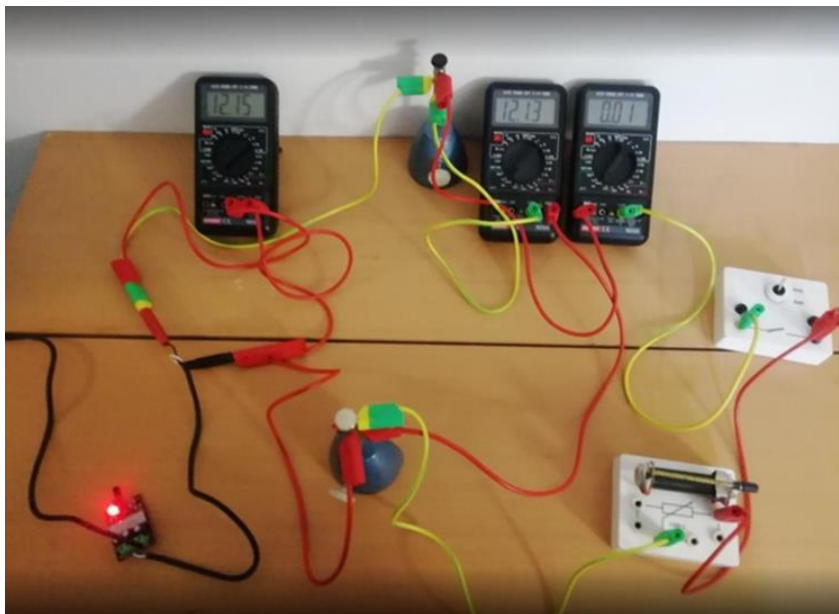
Specifikace PWM regulátoru [45]:

- Napětí s pracovním cyklem plně nastavitelné od 0 -100 %.
- Vstupní napájecí napětí: 6–28 VDC.
- Maximální výstupní výkon: 80 W.
- Maximální trvalý výstupní proud: A.
- Rozměry DPS: 50 × 33 mm.



Obrázek 31: PWM regulátor a jeho specifikace

PWM (pulsně šířková modulace) regulátor stejnosměrného napětí. Je vhodný k plynulé regulaci svitu/otáček nebo výkonu.



Obrázek 32: Měřicí pracoviště

Připojený PWM regulátor se využívá k regulaci stejnosměrného napětí, dále například k regulaci otáček stejnosměrných motorů. Tento druh regulace využívá změny šířky proudového obdélníkového pulzu do motoru. Při pulzní regulaci zůstává proud i napětí konstantní. Mění se pouze aktivní doba, kdy prochází proud motorem – a ten má větší sílu i při větších otáčkách. Regulace je v podstatě bezztrátová díky tranzistoru, který přechází do plně otevřeného stavu velice rychle. Po zapojení PWM regulátoru mezi zdroj napětí a zátěž jsme mohli měnit hodnoty napětí a proudu obvodem (obr. 32). Při použití tohoto zdroje a zmenšení regulačního odporu na minimum došlo ke zkratu – byl překročen maximální povolený proud zdroje a došlo k jeho poškození. Z tohoto důvodu jsme pro měření zvolili jiný zdroj, který splňuje odolnost proti přetížení a zkratu. Proto jsme se rozhodli pro napájecí laboratorní zdroj značky P 1320 PEAKTECH (obr. 33) s napětěvým rozsahem 3–12 V a maximálním proudem 3,2 A. Tento zdroj je běžně využíván žáky na základních školách během fyzikálních měření.

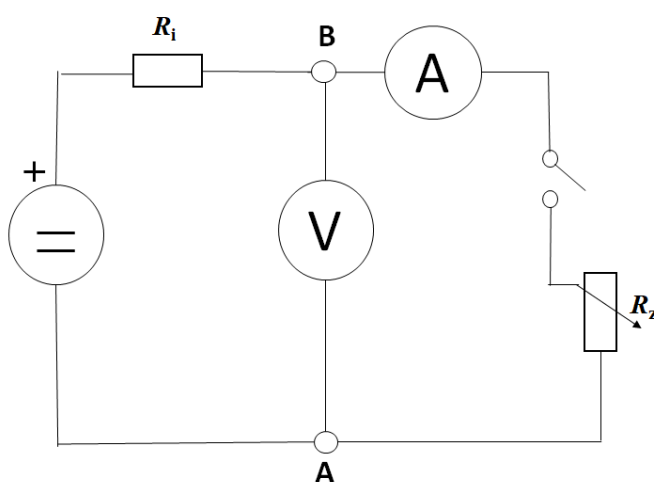


Obrázek 33: Výrobní štítek Peak Tech

6.2 Měření vnitřního odporu zdroje Peak Tech Ohmovou metodou

Abychom docílili požadované přesnosti měření vnitřního odporu zdroje s dostupnými součástkami a nepřesáhli maximální proud zdroje 3 A, zvolili jsme napěťový rozsah zdroje 9 V. Zdroj jsme zatížili reostatem s odporem o velikosti cca 6 Ω , který jsme si orientačně ověřili ohmmetrem. Měření odporů popsaná v následujících kapitolách byla již prováděna Ohmovou metodou, jejíž zapojení je znázorněno na obrázku č. 34.

Pro výpočet vnitřního odporu zdroje je třeba nejprve změřit pro uvedený napěťový rozsah napětí naprázdno U_0 , jehož hodnotu získáme změřením napětí na svorkách nezatíženého zdroje při rozepnutém obvodu (na obrázku 34). Poté sepneme spínač a změříme napětí na zátěži U_z , proud protékající obvodem I a podle vzorce $R_i = \frac{U_e - U_z}{I}$ spočítáme vnitřní odpor zdroje.



Obrázek 34: Schéma měření odporu Ohmovou metodou

Spočtený vnitřní odpor zdroje jsme dosadili do tabulky (tab. 2) a získali jsme předpokládané hodnoty napětí na zátěži pro zvolené hodnoty proudů od 0 A do 2,5 A s krokem 0,5 A. Tyto hodnoty jsme ověřili několika měřeními v celé zkoumané oblasti a chyba modelu se pohybuje kolem 1 % (obr. 36). Po ověření správnosti postupu u modelu jsme na reostatu jezdcem nastavili a zanesli různé hodnoty odporu. Hodnoty napětí a proudu při měření jsme zanesli do tabulky zatěžovací charakteristiky (tab. 3–4) a obrázku (obr. 37).

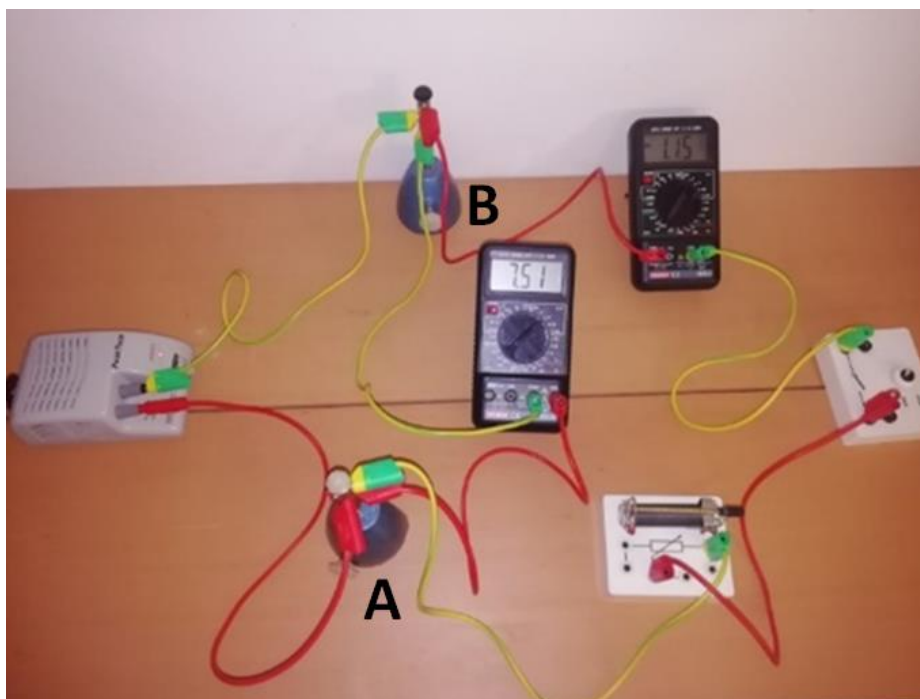
Nastavíme multimetr na měření napětí s rozsahem 20 V a měřicí konektory připojíme na svorky zdroje. V našem případě do uzlů A a B – viz schéma (obr. 34).

Druhým multimetrem budeme měřit stejnosměrný proud I protékající obvodem. Nastavíme jej na měření proudu s rozsahem 200 mA a zapojíme mezi uzel B a spínač S.

Na ampérmetru nastavíme měření pro stejnosměrné proudy a otočíme přepínačem na hodnotu 200 mA, případně můžeme během měření přepínat do vyšší hodnoty. Vodič zasuneme do zdířky mA a opět druhý vodič zasuneme do zemnicí zdířky.

Do série zapojíme na zdroji, uzel, ampérmetr, spínač, reostat s rozsahem do 100 Ω , uzel a končíme druhou zdířkou na zdroji. Paralelně k uzlům připojíme voltmetr.

K pólům zdroje připojíme voltmetr a změříme napětí naprázdno, které je mezi póly reálného nezátíženého zdroje (obr. 35).



Obrázek 35: Měřicí pracoviště

Po sepnutí spínače postupně zvyšujeme proud v obvodu zmenšováním odporu na reostatu a zároveň měříme odpovídající svorkové napětí. Z naměřených hodnot proudu a svorkového napětí sestrojíme graf závislosti svorkového napětí na odebíraném proudu, kterému se také říká zatěžovací charakteristika zdroje.

6.2.1 Základní rovnice a jejich odvození

Z napětí na prázdko U_o a z vnějšího svorkového napětí U_Z určíme vnitřní svorkové napětí U_i :

$$U_o = U_Z + U_i \quad (1)$$

$$U_i = U_o - U_Z \quad (2)$$

Pro výpočet proudu I využijeme Ohmův zákon pro uzavřený elektrický obvod:

$$U_o = R_Z \cdot I + R_i \cdot I \quad (3)$$

$$U_o = I \cdot (R_Z + R_i) \quad (4)$$

$$I = \frac{U_o}{R_Z + R_i} \quad (5)$$

V našem měření určíme proud I ampérmetru. Z proudu a napětí vypočítáme úbytek napětí U_i (2) na vnitřním odporu zdroje a vnitřní odpor zdroje R_i (8). Ohmův zákon pro uzavřený elektrický obvod můžeme určit výpočtem nebo změřením svorkového napětí U_Z .

$$U_o = U_Z + R_i \cdot I \quad (6)$$

$$U_Z = U_e - R_i \cdot I \quad (7)$$

Svorkové napětí zdroje v našem případě měříme voltmetrem připojeným ke svorkám zdroje. Vypočítáme vnitřní odpor zdroje R_i (8), který nám sníží napětí při zapnutí zdroje v elektrickém obvodu. Snažíme se, aby vnitřní odpor nejmenší, protože budeme mít menší ztráty (a zdroj nám tak dává dostatek energie). Vnitřní napětí U_i (9) zdroje závisí na vnitřním odporu R_i zdroje:

$$R_i = \frac{U_i}{I} = \frac{U_o - U_Z}{I} \quad (8)$$

$$U_i = R_i \cdot I \quad (9)$$

Při zatíženém zdroji je hodnota proudu nulová a svorkové napětí je menší než napětí naprázdno U_o (6), neboť nám klesne o hodnotu U_i (9). V důsledku porušení izolace či přímého propojení svorek zdroje mluvíme o spojení nakrátko neboli zkratu, při němž obvodem protéká zkratový proud I_k , který vypočteme podle vztahu (10).

$$I = I_k = \frac{U_o}{R_i} \quad (10)$$

Spojení nakrátko neboli zkrat nastává bez součástí, tedy odporu ve vnější části. Proud v obvodu dosahuje největší možnou hodnotu. Tento proud nám může poškodit zdroj. Vztah pro výpočet maximálního zkratového proudu I_k – výpočet vychází z Ohmova zákona. Ze vztahu vyplývá, že čím menší bude odpor R_i ve jmenovateli, tím větší bude proud I_k (10).

Celkový výkon P_c dodávaný zdrojem do celého obvodu lze rozdělit na činný výkon P (11) na zátěži R_Z a ztrátový výkon P_{R_i} (12) na vnitřním odporu zdroje. Jejich součtem $P_c = P + P_{R_i}$ dostaneme celkový výkon.

Činný výkon P spotřebovaný na zátěži vypočteme podle vztahu:

$$\begin{aligned}
 P &= U_Z \cdot I = R_Z \cdot I \cdot I = R_Z \cdot I^2 = R_Z \cdot \left(\frac{U_o}{R_Z + R_i} \right)^2 = \frac{R_Z}{(R_Z + R_i)^2} \cdot U_o^2 = \\
 &= U_o^2 \cdot \frac{R_Z \cdot \frac{1}{R_i^2}}{(R_Z + R_i)^2 \cdot \frac{1}{R_i^2}} = U_o \cdot \frac{U_o}{R_i} \cdot \frac{R_Z \cdot \frac{1}{R_i}}{(R_Z + R_i)^2 \cdot \frac{1}{R_i^2}} = \\
 &= U_o \cdot I_k \cdot \frac{\frac{R_Z}{R_i}}{(R_Z^2 + 2R_Z R_i + R_i^2) \cdot \frac{1}{R_i^2}} = \\
 &= U_o \cdot I_k \cdot \frac{\frac{R_Z}{R_i}}{1 + 2 \cdot \frac{R_Z}{R_i} + \frac{R_Z^2}{R_i^2}} = U_o \cdot I_k \cdot \frac{\frac{R_Z}{R_i}}{\left(1 + \frac{R_Z}{R_i} \right)^2} \quad (11)
 \end{aligned}$$

Ztrátový výkon můžeme také vyjádřit:

$$P_{R_i} = U_i \cdot I = R_i \cdot I^2 \quad (12)$$

Účinnost η přenosu energie ze zdroje do spotřebiče nepřekročí hodnotu jedna. Tuto hodnotu určíme z poměru výkonu P odevzdaného do spotřebiče a celkového výkonu P_c :

$$\eta = \frac{P}{P_c} \quad (13)$$

Výpočet pro 1.–2. měření – dosazení hodnot pro 3 V

Vnitřní svorkové napětí U_i :

Napětí naprázdno zdroje: $U_o = 3,35$ V

Vnější svorkové napětí zatíženého zdroje: $U_Z = 3,32$ V

Úbytek napětí na zdroji: $U_i = ? \text{ V}$

$$U_o = U_Z + U_i$$

$$U_i = U_o - U_Z$$

$$U_i = 3,35 \text{ V} - 3,32 \text{ V} = 0,03 \text{ V}$$

Vnitřní odpor zdroje R_i :

Napětí naprázdno zdroje: $U_o = 3,35 \text{ V}$

Vnější svorkové napětí zatíženého zdroje: $U_Z = 3,32 \text{ V}$

Proud zatíženého zdroje: $I = 0,55 \text{ A}$

Vnitřní odpor zdroje: $R_i = ? \Omega$

$$R_i = \frac{U_o - U_Z}{I}$$

$$R_i = \frac{3,35 \text{ V} - 3,32 \text{ V}}{0,55 \text{ A}} \cong 0,05 \Omega$$

Vnější odpor zdroje R_Z :

Vnější svorkové napětí zatíženého zdroje: $U_Z = 3,32 \text{ V}$

Proud zatíženého zdroje: $I = 0,55 \text{ A}$

Vnitřní odpor zdroje: $R_i = 0,05 \Omega$

Vnější odpor zdroje: $R_Z = ? \Omega$

$$R_Z = \frac{U_Z}{I}$$

$$R_Z = \frac{3,32 \text{ V}}{0,55 \text{ A}} \cong 6,04 \Omega$$

Celkový odpor R vnější a vnitřní části:

Vnitřní odpor zdroje: $R_i = 0,05 \Omega$

Vnější odpor zdroje: $R_Z = 6,04 \Omega$

Celkový odpor: $R = ? \Omega$

$$R = R_i + R_Z$$

$$R = 0,55 \Omega + 6,04 \Omega = 6,09 \Omega$$

Zkratový proud I_k :

Napětí naprázdno zdroje: $U_o = 3,35 V$

Vnitřní odpor zdroje: $R_i = 0,05 \Omega$

Zkratový proud: $I_k = ? A$

$$I_k = \frac{U_o}{R_i}$$

$$I_k = \frac{3,35 V}{0,05 \Omega} = 61,42 A$$

Výkon P odevzdaný do spotřebiče:

Vnější svorkové napětí zatíženého zdroje: $U_Z = 3,32 V$

Proud zatíženého zdroje: $I = 0,55$

Výkon odevzdaný do spotřebiče: $P = ? W$

$$P = U_Z \cdot I$$

$$P = 3,32 V \cdot 0,55 A = 1,83 W$$

Ztrátový výkon P_{Ri} :

Proud zatíženého zdroje: $I = 0,55 \text{ A}$

Vnitřní odpor zdroje: $R_i = 0,05 \Omega$

Ztrátový výkon: $P_{Ri} = ? \text{ W}$

$$P_{Ri} = I^2 \cdot R_i$$

$$P_{Ri} = (0,55 \text{ A})^2 \cdot 0,05 \Omega = 0,02 \text{ W}$$

Výkon odevzdaný zdrojem P :

Ztrátový výkon: $P_{Ri} = 0,02 \text{ W}$

Výkon odevzdaný do spotřebiče: $P = 1,83 \text{ W}$

Výkon odevzdaný zdrojem: $P_c = ? \text{ W}$

$$P_c = P_{Ri} + P$$

$$P_c = 0,02 \text{ W} + 1,83 \text{ W} = 1,85 \text{ W}$$

Účinnost přenosu energie do spotřebiče η :

Výkon odevzdaný do spotřebiče: $P = 1,83 \text{ W}$

Výkon odevzdaný zdrojem: $P_c = 1,85 \text{ W}$

Účinnost spotřebiče: $\eta = ?$

$$\eta = \frac{P}{P_c}$$

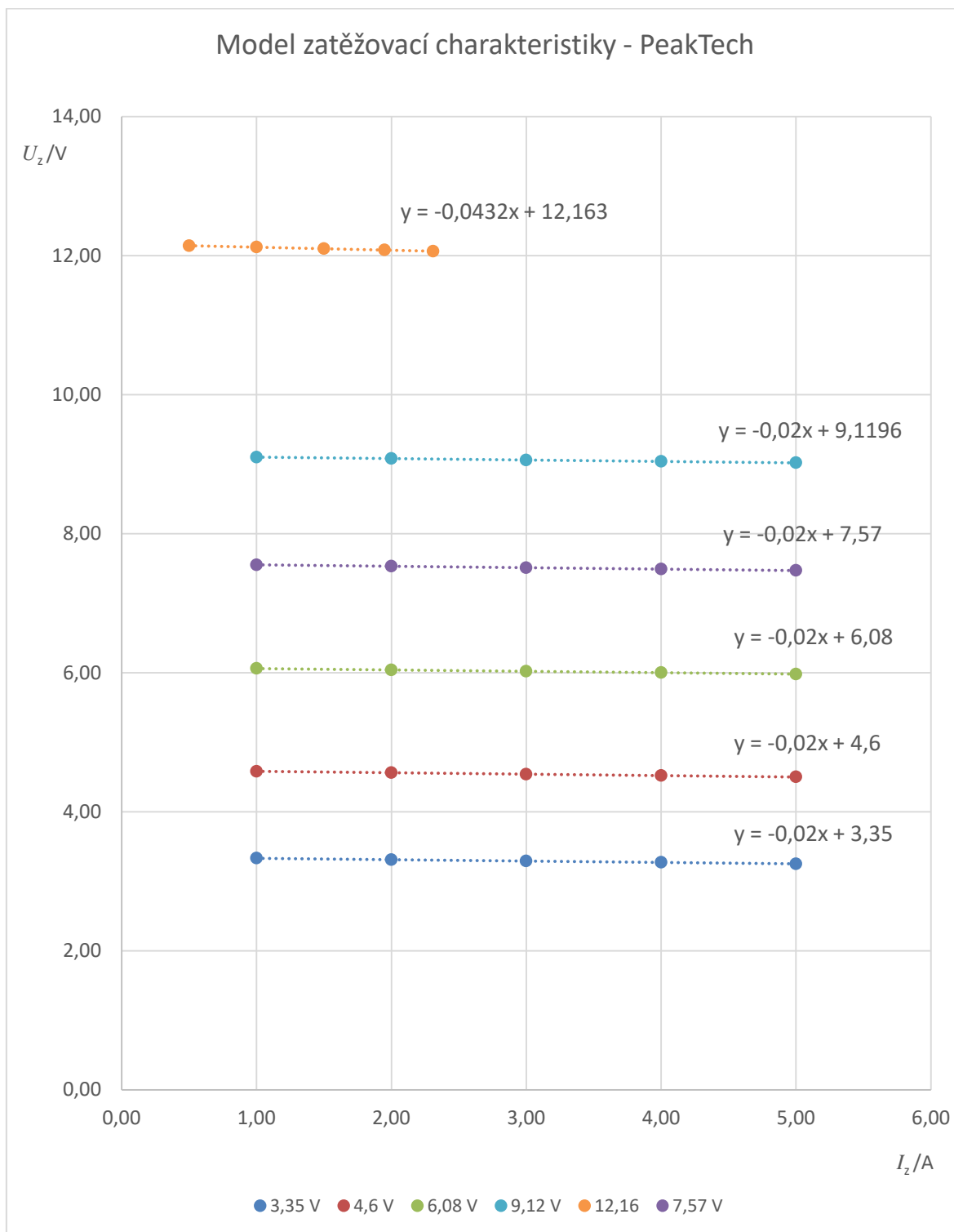
$$\eta = \frac{1,83 \text{ W}}{1,85 \text{ W}} \Rightarrow 98,91 \%$$

6.2.2 Model zatěžovací charakteristiky – zdroj PeakTech

Tabulka 2: Model zatěžovací charakteristiky

Hodnoty spočtené modelem							Ověřeno měřením	
U_o / V	R_i / Ω	R_z / Ω	U_z / V	I / A	U_i / V	I_k / A	U_z / V	I / A
3,35	0,04	-	-	-	-	83,75	-	-
3,35	0,04	6,66	3,33	0,50	0,02	-	3,32	0,51
3,35	0,04	3,31	3,31	1,00	0,04	-	-	-
3,35	0,04	2,19	3,29	1,50	0,06	-	-	-
3,35	0,04	1,64	3,27	2,00	0,08	-	-	-
3,35	0,04	1,30	3,25	2,50	0,10	-	-	-
4,60	0,04	-	-	-	-	115,00	-	-
4,60	0,04	9,16	4,58	0,50	0,02	-	4,58	0,51
4,60	0,04	4,56	4,56	1,00	0,04	-	4,57	0,71
4,60	0,04	3,03	4,54	1,50	0,06	-	-	-
4,60	0,04	2,26	4,52	2,00	0,08	-	-	-
4,60	0,04	1,80	4,50	2,50	0,10	-	-	-
6,08	0,04	-	-	-	-	152,00	-	-
6,08	0,04	12,12	6,06	0,50	0,02	-	6,06	0,51
6,08	0,04	6,04	6,04	1,00	0,04	-	6,04	0,94
6,08	0,04	4,01	6,02	1,50	0,06	-	-	-
6,08	0,04	3,00	6,00	2,00	0,08	-	-	-
6,08	0,04	2,39	5,98	2,50	0,10	-	-	-
7,57	0,04	-	-	-	-	189,25	-	-
7,57	0,04	15,10	7,55	0,50	0,02	-	7,55	0,51
7,57	0,04	7,53	7,53	1,00	0,04	-	7,53	1,01
7,57	0,04	5,01	7,51	1,50	0,06	-	-	-
7,57	0,04	3,75	7,49	2,00	0,08	-	-	-
7,57	0,04	2,99	7,47	2,50	0,10	-	-	-
9,12	0,04	-	-	-	-	228,00	-	-
9,12	0,04	18,20	9,10	0,50	0,02	-	9,11	0,30
9,12	0,04	9,08	9,08	1,00	0,04	-	9,08	0,97
9,12	0,04	5,84	9,06	1,55	0,06	-	9,06	1,55
9,12	0,04	4,52	9,04	2,00	0,08	-	-	-
9,12	0,04	3,61	9,02	2,50	0,10	-	-	-
12,16	0,04	-	-	-	-	304,00	-	-
12,16	0,04	24,28	12,14	0,50	0,02	-	12,14	0,50
12,16	0,04	12,12	12,12	1,00	0,04	-	12,12	1,00
12,16	0,04	8,07	12,10	1,50	0,06	-	12,11	1,50
12,16	0,04	6,16	12,08	1,96	0,08	-	12,09	1,95
12,16	0,04	4,82	12,06	2,50	0,10	-	12,08	2,31

Šedivá buňka je hodnota vnitřního odporu zdroje spočtená na základě změřených hodnot U_i a I pro $U_o = 9,12$ V. Hodnota R_i byla dále zkopírována do všech řádků, kde jsme zjistili chování obvodu v celé vyšetřované oblasti.



Obrázek 36: Model zatěžovací charakteristiky – PeakTech

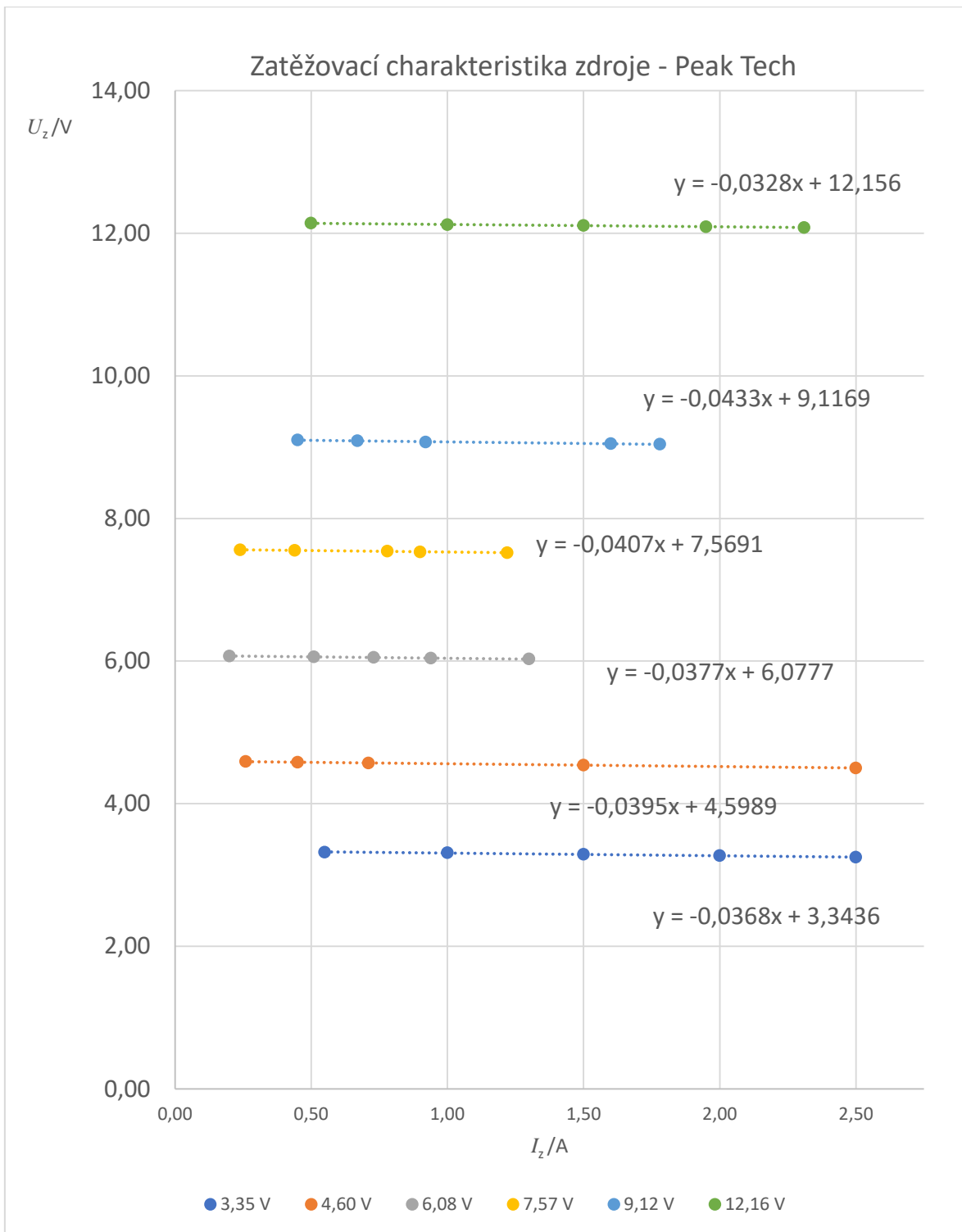
6.2.3 Zatěžovací charakteristika zdroje – PeakTech

Tabulka 3: Zatěžovací charakteristika zdroje PeakTech 3,35 V – 6,08 V

Měřené veličiny			Spočtené hodnoty									
U_o / V	U_z / V	I / A	U_i / V	R_i / Ω	R_z / Ω	R_i / R_z	R_c / Ω	I_k / A	P_z / W	P_{ztr} / W	P / W	$\eta / \%$
3,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3,35	3,32	0,55	0,03	0,05	6,04	0,01	6,09	61,42	1,84	0,02	1,86	99,11
3,35	3,31	1,00	0,04	0,04	3,31	0,01	3,35	83,75	3,35	0,04	3,39	98,82
3,35	3,29	1,50	0,06	0,04	2,19	0,02	2,23	83,75	5,03	0,09	5,12	98,24
3,35	3,27	2,00	0,08	0,04	1,64	0,02	1,68	83,75	6,70	0,16	6,86	97,67
3,35	3,25	2,50	0,10	0,04	1,30	0,03	1,34	83,75	8,38	0,25	8,63	97,10
4,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4,60	4,59	0,26	0,01	0,04	17,65	0,00	17,69	119,60	1,20	0,00	1,20	99,78
4,60	4,58	0,45	0,02	0,04	10,18	0,00	10,22	103,50	2,07	0,01	2,08	99,57
4,60	4,57	0,71	0,03	0,04	6,44	0,01	6,48	108,87	3,27	0,02	3,29	99,35
4,60	4,54	1,50	0,06	0,04	3,03	0,01	3,07	115,00	6,90	0,09	6,99	98,71
4,60	4,50	2,50	0,10	0,04	1,80	0,02	1,84	115,00	11,50	0,25	11,75	97,87
6,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6,08	6,07	0,20	0,01	0,05	30,35	0,00	30,40	121,60	1,22	0,00	1,22	99,84
6,08	6,06	0,51	0,02	0,04	11,88	0,00	11,92	155,04	3,10	0,01	3,11	99,67
6,08	6,05	0,73	0,03	0,04	8,29	0,00	8,33	147,95	4,44	0,02	4,46	99,51
6,08	6,04	0,94	0,04	0,04	6,43	0,01	6,47	142,88	5,72	0,04	5,75	99,35
6,08	6,03	1,30	0,05	0,04	4,64	0,01	4,68	158,08	7,90	0,06	7,97	99,18

Tabulka 4: Zatěžovací charakteristika zdroje PeakTech 7,57 V – 12,16 V

Měřené veličiny			Spočtené hodnoty									
U_o / V	U_z / V	I / A	U_i / V	R_i / Ω	R_z / Ω	R_i / R_z	R_c / Ω	I_k / A	P_z / W	P_{ztr} / W	P / W	$\eta / \%$
7,57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7,57	7,52	1,22	0,05	0,04	6,16	0,01	6,20	184,71	9,24	0,06	9,30	99,34
7,57	7,54	0,78	0,03	0,04	9,67	0,00	9,71	196,82	5,90	0,02	5,93	99,61
7,57	7,56	0,24	0,01	0,04	31,50	0,00	31,54	181,68	1,82	0,00	1,82	99,87
7,57	7,55	0,44	0,02	0,05	17,16	0,00	17,20	166,54	3,33	0,01	3,34	99,74
7,57	7,53	0,90	0,04	0,04	8,37	0,01	8,41	170,33	6,81	0,04	6,85	99,47
9,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9,12	9,04	1,78	0,08	0,04	5,08	0,01	5,12	202,92	16,23	0,14	16,38	99,13
9,12	9,05	1,60	0,07	0,04	5,66	0,01	5,70	208,46	14,59	0,11	14,70	99,24
9,12	9,07	0,92	0,05	0,05	9,86	0,01	9,91	167,81	8,39	0,05	8,44	99,45
9,12	9,09	0,67	0,03	0,04	13,57	0,00	13,61	203,68	6,11	0,02	6,13	99,67
9,12	9,10	0,45	0,02	0,04	20,22	0,00	20,27	205,20	4,10	0,01	4,11	99,78
12,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12,16	12,14	0,50	0,02	0,04	24,28	0,00	24,32	304,00	6,08	0,01	6,09	99,84
12,16	12,12	1,00	0,04	0,04	12,12	0,00	12,16	304,00	12,16	0,04	12,20	99,67
12,16	12,11	1,50	0,05	0,03	8,07	0,00	8,11	364,80	18,24	0,08	18,32	99,59
12,16	12,09	1,95	0,07	0,04	6,20	0,01	6,24	338,74	23,71	0,14	23,85	99,43
12,16	12,08	2,31	0,08	0,03	5,23	0,01	5,26	351,12	28,09	0,18	28,27	99,35
Průměrná hodnota				0,04								



Obrázek 37: Zatěžovací charakteristika zdroje PeakTech

6.2.4 Porovnání hodnot zatěžovacích charakteristik model/realita

Tabulka 5: Srovnání naměřených hodnot zatěžovacích charakteristik zdroje s matematickým modelem v celém rozsahu proudů a napětí

$I = 0,50$ A			$I = 1,00$ A			$I = 1,50$ A			$I = 2,00$ A			$I = 2,50$ A		
model	realita	rozdíl	model	realita	rozdíl	model	realita	rozdíl	model	realita	rozdíl	model	realita	rozdíl
U_{zm} / V	U_{zr} / V	$U_{zm}/U_{zr} (%)$	U_{zm} / V	U_{zr} / V	$U_{zm}/U_{zr} (%)$	U_{zm} / V	U_{zr} / V	$U_{zm}/U_{zr} (%)$	U_{zm} / V	U_{zr} / V	$U_{zm}/U_{zr} (%)$	U_{zm} / V	U_{zr} / V	$U_{zm} / U_{zr} (%)$
12,14	12,14	1,000	12,12	12,12	1,000	12,10	12,11	0,999	12,08	12,09	0,999	12,06	12,07	0,998
9,12	9,10	1,003	9,11	9,07	1,004	9,10	9,05	1,005	9,09	9,03	1,007	9,08	9,01	1,008
7,56	7,55	1,001	7,55	7,53	1,003	7,54	7,51	1,004	7,53	7,49	1,006	7,52	7,47	1,007
6,06	6,07	0,998	6,04	6,06	0,997	6,02	6,05	0,995	6,00	6,04	0,993	5,98	6,03	0,992
4,59	4,58	1,002	4,58	4,56	1,005	4,57	4,54	1,007	4,56	4,52	1,009	4,55	4,50	1,011
3,34	3,33	1,004	3,33	3,31	1,007	3,32	3,29	1,010	3,31	3,27	1,012	3,30	3,25	1,015

Naměřené hodnoty napětí odpovídají vytvořenému modelu s maximální odchylkou 1,015 % (tab. 5). Měření považujeme za velice přesné, výsledná zatěžovací charakteristika pro všechny napěťové rozsahy je na obrázku (obr. 37).

6.2.5 Vyhodnocení měření vnitřního odporu zdroje Peak Tech ohmovou metodou

Zatěžovací charakteristika zdroje je závislost svorkového napětí na proudu odebíraném ze zdroje.

Z průběhu voltampérové charakteristiky na obrázku č. 37 je zřejmé, že při zvýšení odběru proudu ze zdroje Peak Tech dochází k poklesu jeho svorkového napětí. Pokles napětí odpovídá vnitřnímu odporu zdroje o velikosti $0,04 \Omega$. Zatěžovací charakteristika zdroje se řídí úbytkem napětí od -45 mV do -31 mV na 1 A . Změna zátěže nemá významný vliv na svorkové napětí zdroje ve zkoumané oblasti. Proto tento zdroj lze považovat za tvrdý.

Z naměřených dat dále vidíme, že účinnost zdroje se pohybuje okolo 99% .

Výpočet vnitřního odporu zdroje popsany výše platí pro nestabilizovaný zdroj. Na základě skutečnosti, že zkratový proud nám vychází vyšší než 160 A , a na základě informace z manuálu, že se jedná o zdroj stabilizovaný, je nutno k získání hodnoty vnitřního odporu zdroje použít vhodnější metodu.

7 Odporové dráty

V předchozích kapitolách je popsán design těla řezačky polystyrenu a použitý zdroj elektrické energie. Nejvíce pozornosti si však zaslouží odporový drát řezačky. Odporový drát je nejdůležitějším prvkem řezačky, proto bylo jeho analýze věnováno nejvíce času a bude mu věnována následující kapitola.

Od ruční řezačky polystyrenu do hodin technické výchovy na základní škole se očekává, že bude bezpečná a bude se s ní snadno manipulovat – bude lehká a kompaktní. Na základě těchto parametrů jsme se rozhodli provést měření a podrobnou analýzu vhodnosti odporových drátů různých materiálů, od malých rozměrů až po maximální délku 50 cm.

Tato kapitola obsahuje výsledky z mnoha měření elektrických a mechanických veličin odporových drátů s cílem najít vhodný odporový drát pro naši aplikaci.

Elektrický obvod, do kterého plánujeme odporový drát zařadit, obsahuje dále zdroj elektrické energie Peak Tech, napájecí vodiče, konektory a v některých případech jsme připojili sériový odpor či reostat. Odporů všech zmíněných součástí jsme při návrhu řezačky zohlednili. Abychom získali ucelenou představu o chování obvodu, vytvořili jsme na základě obvodových rovnic matematický model, díky kterému lze snadno spočítat hodnoty proudů tekoucích řezačkou a dalších sledovaných veličin pro jednotlivé rozsahy zdroje a zátěže.

7.1 Analýza materiálů řezných drátů a možností jejich využití pro řezání polystyrenu

Existuje několik druhů tavných drátů, které díky svým fyzikálním a mechanickým vlastnostem mají různorodé využití. Liší se svou hustotou, elektrickým odporem a maximální teplotou, která je dána teplotou tavení materiálu drátu. Jsou vyráběny v různých průměrech a lze je zakoupit v různé délce. Požadavky kladené na odporové dráty (měrný elektrický odpor, cena) splňují zejména slitiny na bázi mědi (konstantan, manganin atd.), železa (kanthal). Dalším důležitým zástupcem je chrom-nikl, jehož složení vyplývá již z jeho názvu.

Materiály vykazují velkou rezistivitu (ρ), malý teplotní součinitel rezistence elektrického odporu (α_R) a samozřejmě mechanickou pevnost (R_m) při vysokých teplotách.

Pro naše měření bylo využito pět druhů odporových drátů. Jejich materiálové vlastnosti jsou popsány níže.

Tabulka 6: Některé druhy odporových drátů a jejich vlastnosti [35 str. 125]

Odporový materiál	Chemické složení /hm. %	Rezistivita $\rho / \mu\Omega \cdot m$	Teplotní součinitel rezistence $\alpha \cdot 10^6 / K^{-1}$	Pevnost v tahu R_m / MPa	Max. pracovní teplota / °C
Manganin	86 Cu 12 Mn 2 Ni	0,43	$\pm 2,5$ (20 °C)	500÷550	140
Konstantan	54 Cu 45 Ni 1 Mn	0,5	± 50 (20 °C)	400÷500	500
Isotan	55 Cu 44 Ni 2 Mn	0,49	+40; -80	450÷550	600
Nikelin	67 Cu 30 Ni 3 Mn	0,4	± 180 (20 °C)	350÷400	400
Chrom-nikl	80 Ni 20 Cr	1,1	85	700÷1400	1200
Kantal A	70 Fe 23 Cr 4,5 Al 1 Co	1,39	49	650÷850	1300
Kantal Al	68 Fe 24 Cr 5,5 Al 1,5 Co	1,45	32	650÷850	1350
Kantal DS	72 Fe 22 Cr 4 Al 0,7 Co	1,35	63	650÷850	1150

7.2 Materiálové vlastnosti dostupných odporových drátů

Naším úkolem je vyrobit ruční řezačku polystyrenu, u které jsou pro nás klíčové malé rozměry, snadná manipulace a zejména bezpečnost. Na základě této specifikace jsme zvolili maximální délku odporového drátu 50 cm. Pomocí elektronické digitální šuplery jsme si ověřili průměr u všech odporových drátů (obr. 38). Změřené průměry odpovídaly hodnotám udaným výrobcem.

Tabulka 7: Ověření rozměru měřením posuvným měřítkem

Odporový materiál	$d_{m\check{e}r} / mm$	R_{vyr} / Ω	$R_{jmen} / \Omega / m$	$\rho / \Omega m$	α / K^{-1}
Kantal	0,18	53,1	55,0	$1,40 \cdot 10^{-6}$	$4,90 \cdot 10^{-5}$
Isotan	0,18	20,0	19,3	$4,90 \cdot 10^{-7}$	$-2,00 \cdot 10^{-5}$
Konstantan	0,18	18,5	19,3	$4,90 \cdot 10^{-7}$	$5,00 \cdot 10^{-5}$
Chrom-nikl	0,50	5,5	5,6	$1,10 \cdot 10^{-6}$	$8,50 \cdot 10^{-5}$
Manganin	0,40	3,5	8,8	$4,35 \cdot 10^{-7}$	$2,00 \cdot 10^{-8}$



Obrázek 38: Měření průměru drátu

7.3 Měření závislosti proudu, napětí a teploty na materiálu a délce odporového drátu

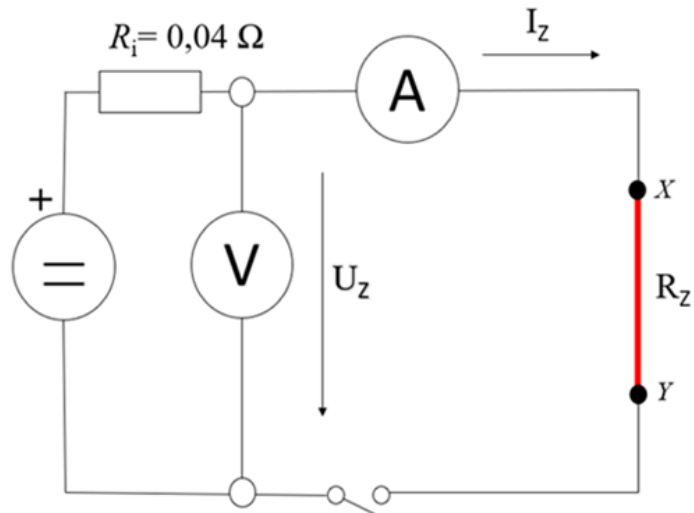
Do obvodu zapojeného podle schématu na obrázku č. 39 jsme zapojili odporové dráty (dále jen zátěž) uvedené v tabulce (č. 8–16) jeden po druhém. Pro různé kombinace napájecího napětí a délek drátů jsme změřili proud protékající obvodem, úbytek napětí na zátěži a teplotu na svorkách zátěže X a Y. Délka odporového drátu byla nastavena na 50 cm a po změření všech sledovaných veličin byla postupně po 10 cm

zkracována.

Elektrický proud byl měřen multimetrem (RE92-A RANGE) nastaveným na rozsah 200 mA, elektrické napětí bylo měřeno multimetrem (RE92-A RANGE) nastaveným na rozsah 20 V a teplota byla měřena přístrojem Xplorer GLX Pasco PS-2002 (obr. 39).



Obrázek 39: Xplorer GLX Pasco PS-2002 a multimetr RE92-A RANGE



Obrázek 40: Schéma zapojení



Obrázek 41: Rozsah napětí

Délku drátu jsme orientačně určili podle přiloženého měřítka (obr. 42), ověření správného nastavení délky jsme provedli měřením vzdálenosti mezi uchycenými svorkami drátu svinovacím metrem. Při nastavení délky drátu 50 cm jsme začali měřit v celém rozsahu napětí. Sledovali jsme napětí na svorkách a napětí v obvodu a proud, který procházel obvodem. Hodnoty jsme zaznamenali do tabulky a poté sestrojili graf voltampérové charakteristiky na obrázku č. 42. Zaznamenávali jsme teplotu, kterou jsme měřili ve stupních Celsia teplotním čidlem s termočlánkem značky Xplorer GLX na svorkách, které ve schématu (obr. 40) představují body X a Y. Maximální rozdíl mezi teplotami obou bodů byl 3 °C. Rozdíl teplot byl pravděpodobně způsoben větším odporem a podle vztahu (12) v bodě X způsobil větší ohřev. Z naměřených teplot jsme spočítali průměrnou teplotu, která je rozhodovacím kritériem pro nalezení správného řešení. Přesnost měření teploty jsme ověřili i záměnou teplotních čidel mezi body X a Y.



Obrázek 42: Měřicí pracoviště – měření odporových drátů

Postup měření jsme opakovali pro délku drátu, kterou jsme od 50 cm snižovali po 10 cm, a to až do doby, kdy jsme dosáhli námi požadovanou teplotu. V našem měření by se měla teplota pohybovat od 100 °C do cca 180 °C. Teplota tání polystyrenu je mezi 95 °C až 100 °C. Pro naše řezání polystyrenu potřebujeme dosáhnout vyšší teploty. Důvodem je ochlazování drátu při řezání polystyrenu a působení okolních vlivů prostředí. Při teplotě nad 100 °C jsme zkusmo řezali polystyren EPS, kde jsme zjišťovali čistotu řezu (obr. 43). Řez polystyrenu odporovým drátem kanthal při teplotě 133 °C, délce drátu 13 cm a při napětí 6,05 V je na obrázku 43.



Obrázek 43: Řez EPS polystyrenu drátem kanthal

7.3.1 Základní rovnice a jejich odvození

Z naměřených hodnot napětí na zátěži U_Z a proud I_Z , který prochází obvodem, jsme podle Ohmova zákona spočítali odpor odporového drátu:

$$R_Z = \frac{U_Z}{I} \quad (14)$$

S rostoucí teplotou dochází na základě materiálových vlastností (viz tab. 8–16) vodičů ke změně jejich odporu.

Obecně lze hodnotu elektrického odporu R_Z při teplotě t popsat rovnicí:

$$R_Z = R_{20} \cdot [1 + \alpha \cdot (t - t_{20})]^{17}, \quad (15)$$

kde R_{20} je hodnota odporu měřená při teplotě t_{20} , alfa je teplotní součinitel odporu.

Teplotní součinitel odporu α vyjadřuje závislost odporu na změně teploty – udává, jak se změní odpor vodiče, ohřejeme-li jej o jeden Kelvin.

Pro představu jsou v tabulkách č. 8–16 doplněny i hodnoty odporů všech vodičů přepočtené (R_{20}), které odpovídají odporům všech vodičů přepočtené na teplotu 20°C.

$$R_{20} = \frac{R_Z}{[1 + \alpha(t - 20)]} \quad (16)$$

Vzhledem k tomu, že teplotní součinitel odporu nabývá hodnot v řádu 10^{-5} – 10^{-8} (viz tab. 7), je teplotní změna odporu ve sledovaném rozsahu teplot zanedbatelná. Další důležitou hodnotou, která udává, kolik tepla je transformováno z elektrické energie dodané zdrojem, a která vypovídá o účinnosti řezačky, je elektrický výkon. Celkový výkon dodaný napájecím zdrojem do obvodu označíme P_c a spočteme jej podle vztahu:

$$P_c = U_o \cdot I, \quad (17)$$

kde U_e je napětí naprázdno zdroje a I je proud protékající obvodem. Výkon, který ohřívá odporový drát, označíme P_z a spočteme jej podle vztahu:

$$P_z = U_Z \cdot I \quad (18)$$

¹⁷ V této diplomové práci označujeme odpor zátěže odporového drátu jako R_Z .

Účinnost zdroje spočteme jako poměr výkonu spotřebovaného na zátěži v poměru k výkonu dodanému zdrojem podle vztahu:

$$\eta = \frac{P_z}{P_c} \quad (19)$$

Příklad výpočtu odporového drátu kanthal:

Naměřené a spočtené hodnoty pro výpočet teplotní závislosti elektrického odporu R_z jsou zapsány v tabulkách (tab. č. 8–16).

Odpor na zátěži R_z :

$$U_z = 12,10 \text{ V}$$

$$I = 1,03 \text{ A}$$

$$R_z = ? \Omega$$

$$R_z = \frac{U_z}{I}$$

$$R_z = \frac{12,10 \text{ V}}{1,03 \text{ A}} = 11,75 \Omega$$

Elektrický odpor odporového drátu pro teplotě $t_0 = 20 \text{ °C}$ spočteme z odporu R_z :

$$\alpha = 4,9 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$$

$$R_z = 11,75 \Omega$$

$$t_1 = 141 \text{ °C}$$

$$t_0 = 20 \text{ °C}$$

$$R_{20} = ? \Omega$$

$$R_z = R_{20}[1 + \alpha(t_1 - t_0)]$$

$$R_{20} = \frac{R_z}{1 + \alpha(t_1 - t_0)}$$

$$R_{20} = \frac{11,75 \Omega}{1 + 4,9 \cdot 10^{-5} K^{-1} \cdot (141 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C})} = 11,68 \Omega$$

$$R_{20} = \frac{11,75 \Omega}{1 + 4,9 \cdot 10^{-5} K^{-1} \cdot (141 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C})} = 11,68 \Omega$$

Výkon P_c , který je dodán do obvodu napájecím zdrojem:

$$U_e = 12,15 \text{ V}$$

$$I = 1,03 \text{ A}$$

$$P_c = ? \text{ W}$$

$$P_c = U_e \cdot I$$

$$P_c = 12,15 \text{ V} \cdot 1,03 \text{ A} = 12,51 \text{ W}$$

Výkon P_z , který odebírá odporový drát, spočteme:

$$U_z = 12,10 \text{ V}$$

$$I = 1,03 \text{ A}$$

$$P_z = ? \text{ W}$$

$$P_z = U_z \cdot I$$

$$P_z = 12,10 \text{ V} \cdot 1,03 \text{ A} = 12,46 \text{ W}$$

Výkon P_{Ri} , kterým je zatěžován odporovým drátem:

$$U_e = 12,15 \text{ V}$$

$$U_z = 12,10 \text{ V}$$

$$I = 1,03 \text{ A}$$

$$P_{\text{Ri}} = ? \text{ W}$$

$$P_{\text{Ri}} = (U_e - U_z) \cdot I$$

$$P_{\text{Ri}} = (12,15 \text{ V} - 12,10 \text{ V}) \cdot 1,03 \text{ A} = 0,05 \text{ W}$$

Účinnost

$$P_c = 12,51 \text{ W}$$

$$P_z = 12,46 \text{ W}$$

$$\eta = ?$$

$$\eta = \frac{P_z}{P_c}$$

$$\eta = \frac{12,46 \text{ W}}{12,51 \text{ W}} \Rightarrow 99,60 \%$$

7.4 Kanthal – naměřené a vypočtené hodnoty odporového drátu

Tabulka 8: Kanthal 3,35 V – 7,56 V

Změřené hodnoty							Spočtené hodnoty					
U_o / V	l / cm	U_z / V	I / A	$t_A / ^\circ C$	$t_B / ^\circ C$	$t_\theta / ^\circ C$	R_z / Ω	R_{20} / Ω	P_c / W	P_z / W	P_{Ri} / W	$\eta / \%$
3,35	20,00	3,32	0,29	48,00	49,00	48,50	11,45	11,43	0,97	0,96	0,01	99,33
3,35	30,00	3,32	0,20	32,00	35,00	33,50	16,60	16,59	0,67	0,66	0,01	99,15
3,35	40,00	3,32	0,14	33,00	34,00	33,50	23,71	23,69	0,47	0,46	0,01	98,81
3,35	50,00	3,32	0,10	32,00	35,00	33,50	33,20	33,18	0,33	0,33	0,00	99,27
4,59	20,00	4,56	0,40	52,00	54,00	53,00	11,40	11,38	1,83	1,82	0,01	99,41
4,59	30,00	4,56	0,28	38,00	39,00	38,50	16,29	16,28	1,28	1,28	0,00	99,97
4,59	40,00	4,57	0,20	36,00	36,00	36,00	22,85	22,83	0,92	0,91	0,01	99,38
4,59	50,00	4,59	0,17	36,00	38,00	37,00	27,00	26,98	0,78	0,78	0,00	99,81
6,08	10,00	6,04	0,94	135,00	135,00	135,00	6,43	6,39	5,72	5,68	0,04	99,32
6,08	13,00	6,05	0,83	133,00	133,00	133,00	7,29	7,25	5,05	5,02	0,02	99,39
6,08	20,00	6,05	0,53	64,00	65,00	64,50	11,42	11,40	3,22	3,21	0,01	99,70
6,08	30,00	6,06	0,36	41,00	42,00	41,50	16,83	16,81	2,19	2,18	0,01	99,70
6,08	40,00	6,06	0,24	37,00	39,00	38,00	25,25	25,23	1,46	1,45	0,01	99,53
6,08	50,00	6,07	0,20	38,00	39,00	38,50	30,35	30,32	1,22	1,21	0,01	99,53
7,56	10,00	7,52	1,09	206,00	208,00	207,00	6,90	6,84	8,25	8,20	0,05	99,42
7,56	13,00	7,52	0,93	187,00	187,00	187,00	8,09	8,02	7,03	6,99	0,04	99,38
7,56	20,00	7,53	0,65	74,00	75,00	74,50	11,58	11,55	4,91	4,89	0,02	99,59
7,56	30,00	7,53	0,45	48,00	49,00	48,50	16,73	16,71	3,40	3,39	0,01	99,81
7,56	40,00	7,54	0,34	42,00	42,00	42,00	22,18	22,16	2,57	2,56	0,01	99,66
7,56	50,00	7,54	0,24	39,00	39,00	39,00	31,42	31,39	1,81	1,81	0,00	99,88

Tabulka 9: Kanthal 9,11 V – 12,15 V

Změřené hodnoty							Spočtené hodnoty					
U_o / V	l / cm	U_z / V	I / A	$t_A / ^\circ\text{C}$	$t_B / ^\circ\text{C}$	$t_\theta / ^\circ\text{C}$	R_z / Ω	R_{20} / Ω	P_c / W	P_z / W	P_{Ri} / W	$\eta / \%$
9,11	20,00	9,06	0,79	91,00	90,00	90,50	11,47	11,43	7,18	7,16	0,02	99,66
9,11	30,00	9,07	0,54	60,00	61,00	60,50	16,80	16,77	4,91	4,90	0,01	99,77
9,11	40,00	9,08	0,41	43,00	45,00	44,00	22,15	22,12	3,73	3,72	0,01	99,72
9,11	50,00	9,08	0,32	41,00	40,00	40,50	28,38	28,35	2,91	2,91	0,00	99,99
12,15	20,00	12,10	1,03	140,00	142,00	141,00	11,75	11,68	12,51	12,46	0,05	99,60
12,15	30,00	12,13	0,72	67,00	68,00	67,50	16,85	16,81	8,76	8,73	0,03	99,69
12,15	40,00	12,13	0,54	52,00	53,00	52,50	22,46	22,42	6,56	6,55	0,01	99,82
12,15	50,00	12,14	0,43	46,00	47,00	46,50	28,23	28,19	5,23	5,22	0,01	99,86
MINIMUM			0,10	32,00	34,00	33,50	6,43	6,39	0,33	0,33	0,00	98,81
PRŮMĚR			0,48	67,54	68,54	68,04	18,40	18,36	3,78	3,77	0,02	99,58
MAXIMUM			1,09	206,00	208,00	207,00	33,20	33,18	12,51	12,46	0,05	99,99

7.5 Konstantan – naměřené a vypočtené hodnoty odporového drátu

Tabulka 10: Konstantan 3,35 V – 9,11 V

Změřené hodnoty							Spočtené hodnoty					
U_0 / V	l / cm	U_z / V	I / A	$t_A / ^\circ\text{C}$	$t_B / ^\circ\text{C}$	$t_\theta / ^\circ\text{C}$	R_z / Ω	R_{20} / Ω	P_c / W	P_z / W	P_{Ri} / W	$\eta / \%$
3,35	20,00	3,30	0,64	66,00	66,00	66,00	5,16	5,15	2,14	2,11	0,03	98,51
3,35	30,00	3,30	0,54	43,00	44,00	43,50	6,11	6,10	1,81	1,78	0,03	98,51
3,35	40,00	3,31	0,40	37,00	38,00	37,50	8,28	8,27	1,34	1,32	0,02	98,81
3,35	50,00	3,31	0,33	30,00	32,00	31,00	10,03	10,02	1,11	1,09	0,01	98,81
4,59	10,00	4,51	1,72	135,00	135,00	135,00	2,62	2,61	7,89	7,76	0,13	98,26
4,59	13,00	4,52	1,60	165,00	166,00	165,50	2,83	2,81	7,34	7,23	0,11	98,47
4,59	20,00	4,53	1,03	97,00	96,00	96,50	4,40	4,38	4,73	4,67	0,06	98,69
4,59	30,00	4,55	0,74	58,00	59,00	58,50	6,15	6,14	3,40	3,37	0,03	99,13
4,59	40,00	4,53	0,55	44,00	45,00	44,50	8,24	8,23	2,52	2,49	0,03	98,69
4,59	50,00	4,56	0,44	38,00	38,00	38,00	10,36	10,35	2,02	2,01	0,01	99,35
6,08	20,00	6,01	1,43	136,00	137,00	136,50	4,20	4,18	8,69	8,59	0,10	98,85
6,08	30,00	6,03	0,97	79,00	79,00	79,00	6,22	6,20	5,90	5,85	0,05	99,18
6,08	40,00	6,05	0,73	55,00	55,00	55,00	8,29	8,28	4,44	4,42	0,02	99,51
6,08	50,00	6,05	0,59	51,00	51,00	51,00	10,25	10,23	3,59	3,57	0,02	99,51
7,56	30,00	7,50	1,20	109,00	109,00	109,00	6,25	6,22	9,07	9,00	0,07	99,21
7,56	40,00	7,55	0,90	68,00	69,00	68,50	8,39	8,37	6,80	6,80	0,00	99,87
7,56	50,00	7,53	0,74	66,00	66,00	66,00	10,18	10,16	5,59	5,57	0,02	99,60
9,11	30,00	9,04	1,43	141,00	141,00	141,00	6,32	6,28	13,03	12,93	0,10	99,23
9,11	40,00	9,10	1,07	88,00	88,00	88,00	8,50	8,47	9,75	9,74	0,01	99,89
9,11	50,00	9,07	0,89	75,00	77,00	76,00	10,19	10,16	8,11	8,07	0,04	99,56

Tabulka 11: Konstantan 12,15 V

Změřené hodnoty							Spočtené hodnoty					
U_o / V	l / cm	U_z / V	I / A	$t_A / ^\circ\text{C}$	$t_B / ^\circ\text{C}$	$t_\theta / ^\circ\text{C}$	R_z / Ω	R_{20} / Ω	P_c / W	P_z / W	P_{Ri} / W	$\eta / \%$
12,15	40,00	12,13	1,45	126,00	127,00	126,50	8,37	8,33	17,62	17,59	0,03	99,84
12,15	50,00	12,12	1,18	95,00	97,00	96,00	10,27	10,23	14,34	14,30	0,04	99,75
MINIMUM			0,33	30,00	32,00	31,00	2,62	2,61	1,11	1,09	0,01	98,26
PRŮMĚR			0,94	81,91	82,50	82,20	7,35	7,33	6,42	6,38	0,04	99,15
MAXIMUM			1,72	165,00	166,00	165,50	10,36	10,35	17,62	17,59	0,14	99,89

7.6 Isotan – naměřené a vypočtené hodnoty odporového drátu

Tabulka 12: Isotan 3,35 V – 7,56 V

Změřené hodnoty							Spočtené hodnoty					
U_0 / V	l / cm	U_z / V	I / A	$t_A / ^\circ\text{C}$	$t_B / ^\circ\text{C}$	$t_\theta / ^\circ\text{C}$	R_z / Ω	R_{20} / Ω	P_c / W	P_z / W	P_{Ri} / W	$\eta / \%$
3,35	20,00	3,29	0,76	50,00	52,00	51,00	4,33	4,33	2,55	2,50	0,05	98,21
3,35	30,00	3,30	0,52	39,00	41,00	40,00	6,35	6,35	1,74	1,72	0,02	98,51
3,35	40,00	3,31	0,38	32,00	34,00	33,00	8,71	8,71	1,27	1,26	0,01	98,81
3,35	50,00	3,31	0,30	27,00	27,00	27,00	11,03	11,03	1,01	0,99	0,01	98,81
4,59	10,00	4,53	1,48	198,00	197,00	197,50	3,06		6,79	6,70	0,09	98,69
4,59	20,00	4,53	1,05	72,00	72,00	72,00	4,31	4,31	4,82	4,76	0,06	98,69
4,59	30,00	4,54	0,73	52,00	52,00	52,00	6,22	6,22	3,35	3,31	0,04	98,91
4,59	40,00	4,55	0,53	34,00	34,00	34,00	8,58	8,58	2,43	2,41	0,02	99,13
4,59	50,00	4,56	0,41	34,00	36,00	35,00	11,12	11,12	1,88	1,87	0,01	99,35
6,08	13,00	6,01	1,81	132,00	132,00	132,00	3,32	3,33	11,00	10,88	0,12	98,85
6,08	20,00	6,01	1,36	96,00	95,00	95,50	4,42	4,43	8,27	8,17	0,10	98,85
6,08	30,00	6,03	0,96	72,00	71,00	71,50	6,28	6,29	5,84	5,79	0,05	99,18
6,08	40,00	6,04	0,71	44,00	42,00	43,00	8,51	8,51	4,32	4,29	0,03	99,34
6,08	50,00	6,05	0,54	40,00	42,00	41,00	11,20	11,20	3,28	3,27	0,01	99,51
7,56	20,00	7,48	1,67	156,00	155,00	155,50	4,48	4,49	12,63	12,49	0,14	98,94
7,56	30,00	7,50	1,19	102,00	100,00	101,00	6,30	6,31	9,00	8,93	0,07	99,21
7,56	40,00	7,52	0,88	67,00	71,00	69,00	8,55	8,56	6,65	6,62	0,03	99,47
7,56	50,00	7,52	0,67	46,00	47,00	46,50	11,22	11,23	5,07	5,04	0,03	99,47

Tabulka 13: Isotan 9,11 V – 12,15 V

Změřené hodnoty							Spočtené hodnoty					
U_o / V	l / cm	U_z / V	I / A	$t_A / ^\circ\text{C}$	$t_B / ^\circ\text{C}$	$t_\theta / ^\circ\text{C}$	R_z / Ω	R_{20} / Ω	P_c / W	P_z / W	P_{Ri} / W	$\eta / \%$
9,11	30,00	9,03	1,43	140,00	140,00	140,00	6,31	6,33	13,03	12,91	0,12	99,12
9,11	40,00	9,05	1,05	70,00	71,00	70,50	8,62	8,63	9,57	9,50	0,06	99,34
9,11	50,00	9,06	0,82	47,00	49,00	48,00	11,05	11,06	7,47	7,43	0,04	99,45
12,15	30,00	12,07	1,83	207,00	209,00	208,00	6,60	6,62	22,23	22,09	0,15	99,34
12,15	40,00	12,10	1,41	127,00	129,00	128,00	8,58	8,60	17,13	17,06	0,07	99,59
12,15	50,00	12,11	1,08	78,00	80,00	79,00	11,21	11,22	13,12	13,08	0,04	99,67
MINIMUM			0,30	27,00	27,00	27,00	3,06	3,33	1,01	0,99	0,01	98,21
PRŮMĚR			0,98	81,75	82,42	82,08	7,52	7,72	7,27	7,21	0,06	99,10
MAXIMUM			1,83	207,00	209,00	208,00	11,22	11,23	22,23	22,09	0,15	99,67

7.7 Chrom-nikl – naměřené a vypočtené hodnoty odporového drátu

Tabulka 14: CHROM-NIKL 3,35 V – 9,11 V

Změřené hodnoty							Spočtené hodnoty					
U_0 / V	l / cm	U_z / V	I / A	$t_A / ^\circ\text{C}$	$t_B / ^\circ\text{C}$	$t_\theta / ^\circ\text{C}$	R_z / Ω	R_{20} / Ω	P_c / W	P_z / W	P_{Ri} / W	$\eta / \%$
3,35	13,00	3,22	3,23	138,00	138,00	138,00	1,00	0,99	10,82	10,40	0,42	96,12
3,35	20,00	3,23	2,20	88,00	88,00	88,00	1,47	1,46	7,37	7,11	0,26	96,42
3,35	30,00	3,25	1,69	73,00	73,00	73,00	1,92	1,91	5,66	5,49	0,17	97,01
3,35	40,00	3,27	1,28	34,00	34,00	34,00	2,55	2,55	4,29	4,19	0,10	97,61
3,35	50,00	3,29	1,06	48,00	50,00	49,00	3,10	3,09	3,55	3,49	0,06	98,21
4,59	20,00	4,45	3,39	140,00	140,00	140,00	1,31	1,30	15,56	15,09	0,47	96,95
4,59	30,00	4,43	3,15	81,00	80,00	80,50	1,41	1,40	14,46	13,95	0,50	96,51
4,59	40,00	4,51	1,76	55,00	56,00	55,50	2,56	2,55	8,08	7,94	0,14	98,26
4,59	50,00	4,52	1,46	36,00	37,00	36,50	3,10	3,10	6,70	6,60	0,10	98,47
6,08	30,00	5,89	2,32	110,00	111,00	110,50	2,54	2,52	14,11	13,66	0,44	96,88
6,08	40,00	5,98	2,28	120,00	120,00	120,00	2,62	2,60	13,86	13,63	0,23	98,36
6,08	50,00	6,00	1,93	101,00	103,00	102,00	3,11	3,09	11,73	11,58	0,15	98,68
7,56	40,00	7,44	2,84	202,00	205,00	203,50	2,62	2,58	21,47	21,13	0,34	98,41
7,56	50,00	7,46	2,39	126,00	128,00	127,00	3,12	3,09	18,07	17,83	0,24	98,68
9,11	50,00	9,04	2,82	208,00	209,00	208,50	3,21	3,16	25,69	25,49	0,20	99,23
MINIMUM			1,06	34,00	34,00	34,00	1,00	0,99	3,55	3,49	0,06	96,12
PRŮMĚR			2,25	104,00	104,80	104,40	2,38	2,36	12,09	11,84	0,26	97,72
MAXIMUM			3,39	208,00	209,00	208,50	3,21	3,16	25,69	25,49	0,50	99,23

7.8 Manganin – naměřené a vypočtené hodnoty odporového drátu

Tabulka 15: Manganin 3,35 V – 7,56 V

Změřené hodnoty							Spočtené hodnoty					
U_o / V	l / cm	U_z / V	I / A	$t_A / ^\circ\text{C}$	$t_B / ^\circ\text{C}$	$t_\theta / ^\circ\text{C}$	R_z / Ω	R_{20} / Ω	P_c / W	P_z / W	P_{Ri} / W	$\eta / \%$
3,35	20,00	3,14	3,78	133,00	130,00	131,50	0,83	0,82	12,66	11,87	0,79	93,73
3,35	30,00	3,20	2,67	102,00	100,00	101,00	1,20	1,20	8,94	8,54	0,40	95,52
3,35	40,00	3,22	2,15	87,00	87,00	85,00	1,50	1,50	7,20	6,92	0,28	96,12
3,35	50,00	3,23	1,73	72,00	70,00	71,00	1,87	1,87	5,80	5,59	0,21	96,42
4,59	40,00	4,43	2,97	145,00	148,00	146,50	1,49	1,49	13,63	13,16	0,48	96,51
4,59	50,00	4,45	2,40	85,00	85,00	85,00	1,85	1,85	11,02	10,68	0,34	96,95
6,08	30,00	5,84	4,80	334,00	336,00	335,00	1,22	1,22	29,18	28,03	1,15	96,05
6,08	40,00	5,88	3,85	157,00	158,00	157,50	1,53	1,53	23,41	22,64	0,77	96,71
6,08	50,00	5,92	3,22	96,00	95,00	95,50	1,84	1,84	19,58	19,06	0,52	97,37
7,56	50,00	7,36	3,97	224,00	223,00	223,50	1,85	1,85	30,01	29,22	0,79	97,35
MINIMUM			1,73	72,00	70,00	71,00	0,83	0,82	5,80	5,59	0,21	93,73
PRŮMĚR			3,15	143,50	143,20	143,15	1,52	1,52	16,14	15,57	0,57	96,27
MAXIMUM			4,80	334,00	336,00	335,00	1,87	1,87	30,01	29,22	1,15	97,37

7.9 Souhrn měření pro řezání polystyrenu odporovými dráty

Tabulka 16: Souhrn měření odporových drátů

Změřené hodnoty							Spočtené hodnoty					
Materiál	d / mm	U_o / V	l / cm	U_z / V	I / A	$t_o / ^\circ\text{C}$	R_z / Ω	R_{20} / Ω	P_c / W	P_z / W	P_{Ri} / W	$\eta / \%$
Chrom-nikl	0,50	3,35	13,00	3,22	3,23	138,00	1,00	0,99	10,82	10,40	0,42	96,12
Chrom-nikl	0,50	4,59	20,00	4,45	3,39	140,00	1,31	1,30	15,56	15,09	0,47	96,95
Isotan	0,18	6,08	13,00	6,01	1,81	132,00	3,32	3,33	11,00	10,88	0,13	98,85
Isotan	0,18	7,56	20,00	7,48	1,67	155,50	4,48	4,49	12,63	12,49	0,13	98,94
Isotan	0,18	9,11	30,00	9,03	1,43	140,00	6,31	6,33	13,03	12,91	0,11	99,12
Kanthal	0,18	6,08	10,00	6,04	0,94	135,00	6,43	6,39	5,72	5,68	0,04	99,32
Kanthal	0,18	6,08	13,00	6,05	0,83	133,00	7,29	7,25	5,05	5,02	0,02	99,39
Kanthal	0,18	12,15	20,00	12,10	1,03	141,00	11,75	11,68	12,51	12,46	0,05	99,60
Konstantan	0,18	4,59	10,00	4,51	1,72	135,00	2,62	2,61	7,89	7,76	0,14	98,26
Konstantan	0,18	4,59	13,00	4,52	1,60	165,50	2,83	2,81	7,34	7,23	0,11	98,47
Konstantan	0,18	6,08	20,00	6,01	1,43	136,50	4,20	4,18	8,69	8,59	0,10	98,85
Konstantan	0,18	9,11	30,00	9,04	1,43	141,00	6,32	6,28	13,03	12,93	0,10	99,23
Manganin	0,40	3,35	20,00	3,14	3,78	131,50	0,83	0,82	12,66	11,87	0,79	93,73

7.10 Závěr měření odporových drátů

Abychom byli schopni posoudit, jaká konfigurace naměřených hodnot v předchozí kapitole je vhodná pro naši řezačku, bylo potřeba zjistit minimální a maximální teplotu řezného (odporového) drátu. Pro další test jsme sestavili obvod viz schéma č. 40, měření na obrázku č. 44. Jako řezací drát jsme zvolili materiál konstantano v délce 50 cm. Postupným zvyšováním proudu, odečítáním teploty na svorkách odporového drátu a testováním, zda odporový drát (už) řeže polystyren, či (už) dochází k degradaci polystyrenu, jsme získali rozsah vhodných teplot, který jsme ještě korigovali o rezervu respektující okolní teplotu a povětrnostní podmínky. Tento postup jsme aplikovali i na odporové dráty manganin, chrom-nikl, kanthal a isotan.

Ze souboru naměřených a vypočtených hodnot v předchozí kapitole byly vybrány konfigurace odpovídající novým teplotním limitům. Abychom ověřili i další potenciální rizika, která nejsou na první pohled známa (například snížení maximální teploty řezání pro příslušný materiál, protože dochází k jeho přerušení), ověřili jsme si tyto konfigurace měření pro každý materiál zvlášť. Detailnější zápis z pozorování je níže a výsledné aplikovatelné konfigurace jsou zobrazeny v tabulce č. 16.

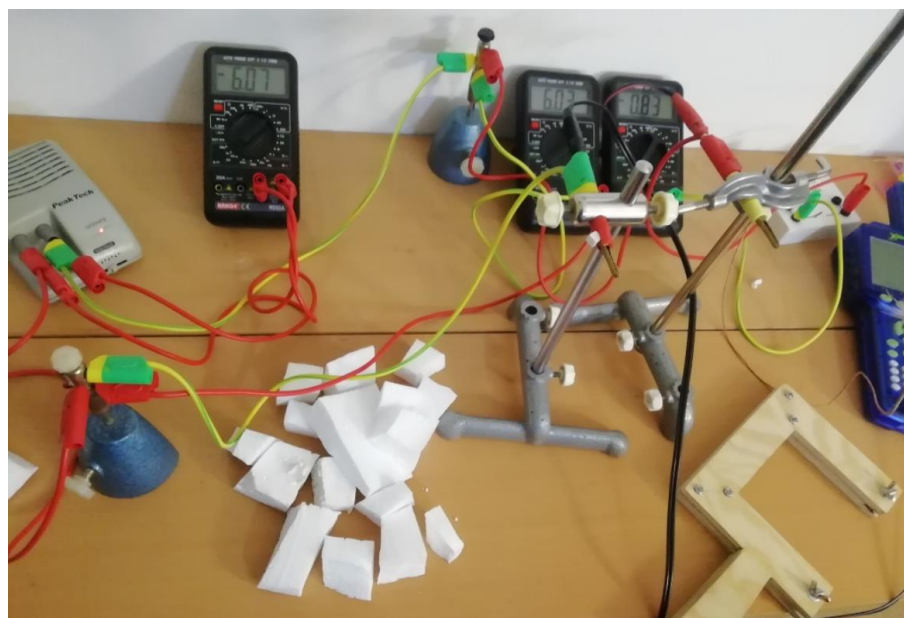
Pro další test jsme na řezačku upnuli odporový drát (obr. 44) s délkou odporového drátu 13 cm, který vyhovoval pro řezání polystyrenu, jehož teplota byla v rozpětí od 132 °C do 165,50 °C (tab. 17).

Experimentálním měřením jsme zjistili, že při nízkých teplotách nelze odporovým drátem rychle řezat, protože dochází k pomalejšímu tavení polystyrenu, většímu tření mezi polystyrenem a řezným drátem, který následně na polystyrenu zanechává nitě. Zatímco při vysokých teplotách dochází k rychlému tavení a nekontrolovatelnému řezu, řez je velmi nepřesný. Nejvhodnější teplota odporového drátu pro řezání polystyrenu je okolo 140 °C, kdy je řez plynulý, hladký a snadno kontrolovatelný.

7.11 Odporové dráty, které vyhovují specifikaci řezačky

Tabulka 17: Odporové dráty určené pro vyrobenou řezačku polystyrenu

Materiál	d /mm	U_o / V	l /cm	U_z / V	I_z /A	t_θ / °C	R_z / Ω	R / Ω	P_c / W	P_z / W	P_R / W	η / %
Kanthal	0,18	6,08	13,00	6,05	0,83	133,00	7,29	7,25	5,05	5,02	0,02	99,39
Konstantan	0,18	4,59	13,00	4,52	1,60	165,50	2,83	2,81	7,34	7,23	0,11	98,47
Isotan	0,18	6,08	13,00	6,01	1,81	132,00	3,32	3,33	11,00	10,88	0,13	98,85
Chrom-nikl	0,50	3,35	13,00	3,22	3,23	138,00	1,00	0,99	10,82	10,40	0,42	96,12



Obrázek 44: Ověření teploty pro řezání polystyrenu

8 Ruční řezačka

8.1 Výroba ruční řezačky ve výuce technických činností

Žáci si připraví:

Materiál:

Papír 3 x A4, OSB desku 400 × 400mm (tl. 4 mm), disperzní lepidlo (Herkules), 10 cm smršťovací bužírky a kabelová očka o průměru cca 5 mm, slaněné vodiče o délce 1 500 mm s průměrem 1,5 mm s polyethylenovou izolací, banánky, dále dvě křídlové matky, šrouby, matky a podložky (vše vel. 4 mm).

Nářadí:

Plochý a křížový šroubovák, vrtačku, krimpovací kleště, lupénkovou pilku, pilník, rašplí, brusný papír (zrnitost 280), tužku, nůžky, štětec.

Postup výroby:

Na dřevotřískovou desku si žáci překreslí šablonu ruční řezačky. Požadovaný tvar vyříznou lupénkovou pilkou, hrany začistí rašplí, pilníkem a brusným papírem. Pomocí disperzního lepidla slepí vrchní a spodní díl řezačky (viz obr. 26). Na konce vodičů uchytní zakončovací očka pomocí krimpovacích kleští. Banánky umístí na opačný konec vodičů a upevní je pomocí plochého šroubováku. Sestaví jednotlivé díly řezačky a vyvrtají otvory na šrouby, které zapustí do řezačky. Sejmou vrchní díl řezačky a do prostředního dílu vloží vodiče se zakončovacími očky, která uchytní na šrouby a vymezovací podložky. Přiklopí vrchní díl řezačky a vše zajistí matkami.

Časová náročnost výroby:

- Proškolení o bezpečnosti práce, příprava materiálu, pracovních pomůcek a diskuze nad zadaným úkolem – 1 hodina.
- Vyrobení papírové šablony, nákresu na dřevotřískovou desku – 1 hodina.
- Výřez dílů lupénkovou pilou (vrstvy pro lepení), jejich broušení a začištění – 2 hodiny.
- Slepění dílů do sestavy (tělo řezačky) – 1 hodina.
- Vrtání a usazení všech částí řezačky – 1 hodina.

- Naměření, zkrácení a protažení napájecích vodičů – 1 hodina.
- Dokončení pracovního postupu – 1 hodina.
- Zhodnocení vytvoření ruční řezačky, řezání zadaných tvarů z polystyrenu – 1 hodina.

8.2 Používání řezačky polystyrenu ve výuce na druhém stupni základní školy

- Před zahájením práce žáci pod vedením učitele vizuálně zkontrolují, zda jsou zařízení neporušená (ruční řezačka, odporový drát, žákovský zdroj, napájecí kabely). Předpokladem je mít nepoškozený zrevidovaný zdroj, nepoškozenou řezačku a přívodní kabely před začátkem hodiny. Tento postup si žáci osvojí i pro práci s jinými spotřebiči, se kterými se běžně dostávají do styku.
- Nasadí si ochranné brýle.
- Napnou a zajistí odporový drát křídlovými matkami.
- Připojí řezačku ke zdroji elektrické energie Peak Tech s pomocí banánků.
- Nastaví napěťový rozsah zdroje elektrické energie podle použitého odporového drátu dle tabulky níže (tab. 18). Tabulka obsahuje předpokládanou teplotu odporového drátu pro zmíněný napěťový rozsah.
- Vyučující zkontroluje nastavený napěťový rozsah zdroje a připojí zdroj elektrické energie do elektrické sítě (provede vyučující).
- Žáci si nasadí tepelně odolné rukavice.
- Zapnou zdroj Peak Tech (doba ohřevu odporového drátu je v řádu jednotek sekund).
- Samostatná práce – řezání požadovaného tvaru/obrazce z polystyrenové desky.
- Vypnutí zdroje Peak Tech.
- Žáci vyčkají cca 20 sekund na vychlazení odporového drátu řezačky.
- Sundání brýlí, svlečení ochranných rukavic.
- Učitel odpojí zdroj Peak Tech ze sítě a sníží napěťový rozsah na nejnižší úroveň.
- Uklidí své pracoviště.
- Zkontrolují a zhodnotí svou práci.

Tabulka 18: Nastavení napěťového rozsahu pro daný materiál

Materiál	U / V	$t_0 / ^\circ C$
Kanthal	6	133,00
Konstantan	4,5	165,50
Isotan	6	132,00
Chrom-nikl	3	138,00

8.3 Bezpečnost práce na základní škole

Žáci budou při práci respektovat bezpečnost práce. Při sestavování řezačky polystyrenu budou dbát na bezpečnostní pokyny, respektovat zásady správného chování v učebně technické výchovy.

Žáci při práci s touto řezačkou používají bezpečné napětí a bezpečný proud. Mezi bezpečné napětí, které normy uvádějí, je stejnosměrné napětí nejvýše 25 V a střídavé nejvýše 12 V [37]. Hodnoty odpovídají vlhkému prostředí z důvodu vyššího nebezpečí úrazu. Jako bezpečný proud se v normách uvádí 25 mA u stejnosměrného napětí, zatímco u střídavého napětí to je 10 mA [45].

Podmínkou používání zdroje je to, že zdroj, který budou žáci používat, má platnou revizi. Z toho vyplývá, že bude splňovat odpojení od zdroje elektrické energie, pokud by došlo ke zkratu.

Protože vyrábíme elektrická zařízení, jsou zde rizika úrazu elektrickým proudem a popálenin. Zapojení elektrického spotřebiče do zásuvky provádí výhradně učitel.

Sestrojená tavná řezačka a popsaná v kapitole pět je napájena ze zdroje stejnosměrným napětím 6,05 V a odebírá proud 1,81 A.

Vyučující bude dbát na to, aby se žáci fyzicky nedotkli nažhaveného drátu a tím se nepopálili. Budou proto používat ochranné rukavice, brýle a podložku, na kterou budou odkládat řezačku polystyrenu.

Pokud dojde k destrukci řezacího drátu, požádají vyučujícího o jeho výměnu. Při práci žáci používají ochranné pomůcky, jimiž jsou tepelně odolné rukavice, neboť rozžhavený drát přesahuje bezpečnou teplotní hladinu 55 °C, proto je potřeba použít osobní ochranné pomůcky.

Žáci budou pod dohledem učitele a ten bude dohlížet na bezpečnost práce, používání ochranných pomůcek na základě vyhodnocení rizik a hlídat jejich dodržování.

Učitel bude dbát na to, aby byla místnost dobře vyvětraná.

9 Riziková analýza při výrobě školní tavné řezačky

V rámci malého týmu byla provedena zjednodušená riziková analýza pro výrobu a používání školní tavné řezačky[42] [43] [48].

Tabulka 19: Riziková analýza 1/3

Činnost		Charakterizace rizika	Typ nebezpečí	Možné zranění	Zmírňující opatření
Příprava šablony	Vytvoření papírové šablony – nákres a vystřižené řezačky.	Pořezání o nástroje při výrobě šablony.	Fyzikální	Řezné rány.	Nůžky s kulatou špičkou.
Příprava šablony	Překreslení šablony na dřevotřískovou desku.	Bodnutí o nástroj při použití truhlářské tužky s kovovým hrotem.	Fyzikální	Bodné rány.	Truhlářská tužka s grafitovou tuhou.
Montáž řezačky	Řezání dřevotřískové desky.	Pořezání o nástroje při opracování dřeva.	Fyzikální	Řezné rány, zasažení odletujícími částmi opracovávaného výrobku.	Ochranné brýle, plná obuv.
Montáž řezačky	Broušení materiálu pilníkem, rašplí, brusným papírem.	Pořezání o nástroje při opracování dřeva. Poškození zraku při opracování dřeva.	Fyzikální	Řezné rány z třísek, poškození zraku.	Ochranné brýle. Pilovaný materiál je upnut uprostřed čelistí svěráku. Oděv musí být řádně upnutý.

Tabulka 20: Riziková analýza 2/3

Činnost		Charakterizace rizika	Typ nebezpečí	Možné zranění	Zmírňující opatření
Montáž řezačky	Používání elektrických nástrojů (vrtačka).	Pořezání o nástroje při opracování dřeva. Poškození zraku při opracování dřeva. Úraz elektrickým proudem při použití elektrického nástroje.	Fyzikální	Řezné a bodné rány.	Řádně upnutý oděv. Ochranné brýle proti odletujícím třískám. Vrtaný obrobek musí být správně upnut.
Montáž řezačky	Lepení disperzním lepidlem Herkules.	Vyvolání alergické kožní reakce a poškození zraku.	Chemické	Poškození zraku	Ochranné brýle, ochranný oděv, užší štětec na natírání, gumové rukavice
Montáž řezačky	Montáž slaněných vodičů (zatavení bužírky, montáž oček na konec drátů)	Popálení během zatavování bužírky.	Fyzikální	Popáleniny	Tepelně odolné rukavice

Tabulka 21: Riziková analýza 3/3

Činnost		Charakterizace rizika	Typ nebezpečí	Možné zranění	Zmírňující opatření
Montáž řezačky	Přípevnění banánků na konce vodičů	Fyzikální	Bodná rána při manipulaci se šroubovákem.	Bodné rány	Ochranné rukavice
Montáž řezačky	Upnutí řezného drátu	Fyzikální	Poškození zraku při vymrštění odporového drátu. Pořezání o odporový drát	Bodné a řezné rány	Ochranné brýle a použití pracovních rukavic.
Uvedení řezačky do provozu	Zapojení obvodu	Fyzikální, chemické	Úraz elektrickým proudem během zapojování obvodu	Poranění – elektrické (elektrický šok), tepelné (popáleniny) a mechanické (křeče, pád, výbuch).	Používání školního zdroje s platnou revizí, zapojování ve vypnutém stavu. Obvod smí zapojovat pouze osoba s platným elektrotechnickým vzděláním.
Řezání řezačkou	Uvedení řezačky do provozu	Fyzikální	Popálení o přehřátý odporový drát	Popáleniny	Používání rukavic proti popálení
Řezání řezačkou	Řezání polystyrenu	Chemické	Otrava výpary z roztaveného polystyrenu	Nevolnost	Zajistit dostatečný přísun vzduchu, při většimu vývinu par doplnit lokální odsávání. Při nadýchání přestat pracovat a jít se nadýchat čerstvého vzduchu.

9.1 Ověření ruční řezačky ve výuce technických činností

Ruční řezačka polystyrenu sestavená podle popisu v předchozích kapitolách byla otestována žáky 8. ročníku základní školy v Kryrech v hodině fyziky.

Použitá řezačka s dřevěným tělem a odporovým drátem kanthal napnutým mezi křídlové matky je zobrazena na obrázku č. 45. Byla napájena ze zdroje elektrické energie Peak Tech nastaveného na napětíovou hladinu 6,08 V. Popis práce s poznatky od studentů jsou níže popsány. Pro řezání byl k dispozici polystyren EPS o šířce 10 mm.



Obrázek 45: Výsledné zařízení se zdrojem Peak Tech

Nejprve byli žáci proškoleni o rizicích a bezpečnosti práce při práci s řezačkou. Poté si žáci na polystyren nakreslili požadovaný tvar, který má být vyřezán. Žákům jsme doporučili zvolit větší tvary, které lze řezačkou vyřezat snadno. Na konci hodiny byli žáci požádáni o krátké hodnocení.

Žákům se řezání polystyrenu řezačkou velmi líbilo a rádi by si tuto práci zopakovali. Řezačka získala celkově kladné hodnocení. Mezi pozitivní stránky uvedli zejména rychlost řezání polystyrenu, lehkou konstrukci a někteří se shodli, že je to „dobrá hračička“. Prostor pro zlepšení uvedli v uchycení drátu, kdy při jeho ohřevu dochází k jeho povolení, což způsobilo při řezání preciznějších tvarů velké nepřesnosti. Jako další nevýhodu žáci zmínili horší manipulaci při práci, neboť i přes své kompaktní rozměry je řezačka stále dost velká, a zápach při řezání polystyrenu, který i při dostatečném větrání nelze zcela vyloučit. Tyto podněty je třeba vzít v úvahu při dalším zlepšování řezačky a pracoviště.



Obrázek 46: Samostatná práce s ruční řezačkou



Obrázek 47: Výsledek práce při řezání



Obrázek 48: Pečlivost při práci



Obrázek 49: Vyřezávání desky



Obrázek 50: Vlastní návrh a výřez svého iniciálu



Obrázek 51: Práce s řezačkou



Obrázek 52: Vyřezávání vlastního návrhu

10 Aspekty ve vzdělávání žáků z pohledu ŠVP

Obsahové, časové a organizační vymezení máme na základní škole vymezeny ve čtrnáctidenním cyklu po 2 hodinách nebo jako půlroční s 1 hodinovou dotací týdně. Předmět je vyučován formou kurzu „práce s technickými materiály“ [49].

Žáci by se měli naučit pracovat s různými materiály a osvojit si základní pracovní dovednosti a návyky. Učí se plánovat, organizovat a hodnotit pracovní činnost samostatně i v týmu.

Vzdělávacím oborem je „člověk a svět práce“, který je zaměřen na práci s drobným materiálem. Žáci využijí především poznávání vlastností materiálů (dřeva, odporových drátů) a funkcí. Využijí připravené pracovní (polystyren) a ochranné pomůcky.

Mezi konstrukční činnosti by se dal zařadit jednoduchý náčrt, který přiloží a obkreslí na polystyrenovou desku. Během pracovních činností musí být žáci soustavně vedeni k dodržování zásad bezpečnosti a hygieny při práci.

Výchovné a vzdělávací strategie pro rozvoj klíčových kompetencí k učení jsou u žáků plněny při osvojování základní pracovních dovedností a návyků z různých pracovních oblastí.

Kompetence k řešení problémů učitel řeší zadáváním úkolů, jako je například práce s rezačkou. Žákovu tvořivost učitel rozvíjí uplatňováním vlastních nápadů při vyřezávání polystyrenu různých tvarů.

Kompetence komunikativní učitel i žáci popisují pomocí správné terminologie, žák na konci vyučovací hodiny popíše postup práce.

Učitel se snaží, aby žáci mezi sebou komunicovali a spolupracovali, případně si vzájemně pomáhali, i když se bude jednat o samostatnou práci. Učitel vystupuje v pozadí jako rádce – tím plní kompetence sociální a personální.

Občanské kompetence jsou plněny na základě jasných kritérií a hodnocení vlastního výsledku práce. To znamená, jestli má správně opracované hrany, rovný řez u polystyrenu.

Při práci na rezačce polystyrenu je nutné dodržovat bezpečnost a používání ochranných pomůcek. Žák musí při práci dodržovat vymezená pravidla.

11 Reflexe

V této práci jsme se seznámili s principem řezání polystyrenu a s různými druhy řezaček. Teoreticky i v praxi jsme si ověřili zapojování elektrických obvodů, měření elektrických veličin a mechanických veličin (měření teploty, rozměry) a jejich vzájemných vazeb a vliv chyb jejich měření. Seznámili jsem se s různými druhy polystyrénu a jejich způsobu využití.

Seznámili jsme se s vyhodnocením rizik (rizikovou analýzou) při výrobě a používání elektrotechnického zařízení. Naučili jsme se psát technické texty a hledat ve zdrojích. Získali jsme kontakty pro další spolupráci z oborů chemie, elektrotechnika a výrobce řezaček polystyrenu.

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo vytvořit řezačku pěnového polystyrenu jako výukovou pomůcku pro žáky druhého stupně základních škol. Mezi dílčí úkoly práce patřila analýza materiálových vlastností pěnových polystyrénů, popis principu řezání odporovým drátem a popis technického řešení řezačky. Dále navrhnout a zhotovit výše zmíněnou řezačku, zhodnotit řezání polystyrenu žhavým drátem z hlediska bezpečnosti práce, ověřit její využití ve výuce a sepsat reflexi.

V teoretické části jsme se nejprve zaměřili na historii polystyrenových plastů, výrobu polystyrenu a historický vývoj extrudovaného polystyrenu v České republice, který je v běžné praxi nejvíce zastoupen. Poté jsme popsali různé druhy termoplastů a jejich rozdělení na základě polymerizačních stupňů jejich makromolekulárních sloučenin. Součástí kapitoly je i využití expandovaného, extrudovaného a houževnatého polystyrenu v současnosti a popis mechanismu řezání pěnového polystyrenu žhavým drátem.

Důležitým prvkem teoretické části je průzkum trhu a analýza konstrukčních řešení průmyslově vyráběných řezaček, které byly předlohou pro výrobu řezačky v této diplomové práci.

Praktická část práce zahrnuje postupný vývoj řezačky včetně volby vhodného zdroje. Bylo navrženo a vyrobeno několik kompletních zařízení. Při prvotních pokusech jsme se setkávali s mnoha výzvami (např. volba nevhodného zdroje, poddimenzování jeho kontaktů, velká hmotnost řezačky, špatná manipulace se řezačkou), které jsou zde popsány a se kterými jsme se postupně vypořádali.

Poslední verze řezačky se skládá z dřevěného těla řezačky, odporového drátu, napájecích vodičů a zdroje.

Významná část práce je věnována studiu napájecího zdroje PeakTech, který jsme zprvu považovali za nestabilizovaný. O toto tvrzení jsme se opírali po celou dobu měření, jehož výsledky jsme srovnali s výpočtním modelem. Zdroj se zprvu jevil jako velmi tvrdý, se zkratovým proudem vyšším než 160 A. Díky tomuto poznatku a technickému listu jsme dospěli k závěru, že zdroj patří mezi stabilizované a že metoda, kterou jsme používali a popsali v práci, je pro tento zdroj nevhodná.

PeakTech je napájecí jednocestný zdroj, který se skládá z vypínače, pojistky, transformátoru, usměřovače, filtru a stabilizátoru.

Transformátor ve zdroji snižuje střídavé napětí ze sítě na nižší, bezpečné a musí být vyšší než napětí na výstupu zdroje. Vnitřní odpor transformátoru určíme jako součet vnitřního odporu na sekundárním vinutí a vnitřního odporu na primárním vinutí, vydělené druhou mocninou převodu transformátoru.

Hodnotu odporu usměřovače (diody) lze také zjistit z voltampérové charakteristiky nebo je udávána v technickém listu. Avšak hodnota odporu usměřovače PeakTech není v technickém listu k dispozici. Vnitřní odpor stabilizátoru je také možné určit z grafu, kde je závislost výstupního odporu na proudu zdroje.

Vnitřní odpor stabilizátoru je zde obtížným problémem. Měli bychom znát typ stabilizátoru, např. z dokumentace. Druhou možností je odečítání z grafu, kde výsledná hodnota bude nepřesná, jelikož změna napětí je relativně malá.

Vnitřní odpory všech prvků jsou v sérii. Výsledný vnitřní odpor je tedy součet dílčích vnitřních odporů.

Vnitřní odpor celého zdroje se skládá ze součtu z vnitřního odporu transformátoru, odporu usměřovací diody a vnitřního odporu stabilizátoru.

Pro námi zvolené odporové dráty jsme zjistili, že optimální teplota pro řezání polystyrenu je v rozpětí mezi 132 °C a 165 °C. Pokud bude teplota drátu nižší než 132 °C, bude docházet k tření mezi drátem a polystyrenem. Vlivem tření se budou tvořit nevzhledné nitě v polystyrenu a bude zapotřebí pomalejší tempo při jeho řezání. Při teplotě vyšší než cca 167 °C dochází ke zvýšení odpařování škodlivin z polystyrenu a v důsledku rychlého tavení je řez velmi nepřesný. Ze zkoumaných odporových drátů je pro řezačku nejvhodnější konstantan a kanthal, které jsou v rozsahu 132 °C až 165 °C stabilní a se kterými se dobře pracovalo.

Aby žáci mohli řezačku vyrobit a využívat v hodinách na základní škole, byla zpracována zjednodušená riziková analýza, ze které vyplynula doporučení ohledně osobních ochranných pomůcek a bezpečnosti práce, včetně pracovního postupu.

Vyrobená řezačka na polystyren byla ověřena v hodině fyziky na základní škole v Kryrech v prosinci roku 2020. Celkové dojmy z hodiny včetně zpětné vazby od žáků a reflexe jsou sepsány v posledních kapitolách této práce.

Další kroky, kterými bychom navázali na tuto diplomovou práci, zahrnují zejména další optimalizaci designu pro lepší ergonomii držadla, prověření jiných materiálů na tělo řezačky a z pohledu úpravy pracoviště vyřešení odsávání škodlivých výparů a přívodu čistého vzduchu do místa práce.

Resumé

Diplomová práce s názvem Ruční řezačka pěnového polystyrenu se zabývá materiálovými vlastnostmi pěnového polystyrenu a technickým řešením ruční řezačky, která bude sloužit pro žáky druhého stupně základní školy. Dále je zde uveden princip řezání pěnového polystyrenu žhavým drátem. V práci jsou zahrnuté výsledky měření odporových drátů, zatěžovací charakteristika zdroje a konstrukce ruční řezačky. Výstupem jsou navržené odporové dráty, které lze použít v sestavené ruční řezačce, a ověření využití ruční řezačky ve výuce.

The diploma thesis „Manual polystyrene foam cutter“ deals with material properties of polystyrene foam. The technical solution of hand cutter, which will be used for pupils of second stage of primary school. Furthermore, principle of cutting expanded polystyrene with hot wire is presented in this thesis. The work includes results of measuring resistance wires, load characteristics of the source and the construction of a manual hand cutter. The output is designed with resistance wires that can be used in an constructed manual cutter and verification of the use of manual cutting in teaching.

Seznam použité literatury a pramenů

1. **Švec, Petr.** *Polystyren a jeho modifikace.* Praha : SNTL, 1985.
2. ABZ Knihy, a.s. *Pojem polymerace.* [Online] 2020. [Citace: 02. 27 2021.] <https://slovník-cizích-slov.abz.cz/web.php/slovo/polymerace>.
3. **H. Cídllová, B. Kohoutková, P. Křivánková, K. Štěpánek, B. Valová.** *Historie chemie. Hermann Staudinger.* [Online] 2011. [Citace: 27. 02 2021.] <https://www.ped.muni.cz/wchem/sm/hc/hist/nobceny/staudinger.html>.
4. Polymery II. *Chemie UJEP.* [Online] [Citace: 27. 02 2021.] https://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/2_%20POLYMERY%20-%20MECHANISMY%20VZNIKU%20-%20V%C3%9DROBN%C3%8D%20POSTUPY.pdf.
5. **Sova, Ing. Miloš.** Vstřikování na pístových a šnekových strojích. *Technoportál.cz.* [Online] 6. 5 2015. [Citace: 27. 02 2021.] <https://www.techportal.cz/33/vstrikovani-na-pistovych-a-snekovych-strojich-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EqQUkSFod1GxWBH6puOPOn8/>.
6. Jak se co dělá - Polystyren. [Online] 30. 12. 2011. [Citace: 03.. 03. 2021.] https://www.youtube.com/watch?v=rvmZiO_Fp98.
7. Synthos S.A. *SYNTHOS, chemical inovations.* [Online] 2015. [Citace: 24. 07 2020.] <https://web.archive.org/web/20150129193156/http://synthosgroup.com/cz/o-firme/ovladane-spolecnosti/synthos-kralupy-as/o-spolecnosti/historie/>.
8. Předpěňný koplén. [Online] Termax, s.r.o, 2010. [Citace: 27. 02 2021.] <http://www.termax.cz/cz/produkty/predpeneny-koplen.asp>.
9. **Kedrová, Kateřina.** *Organická Chemie: Makromolekulární látky.* [Online] 19. 06 2012. [Citace: 01.. 03. 2021.] http://www.mojechemie.cz/Organick%C3%A1_Chemie:Makromolekul%C3%A1rn%C3%AD_%C3%A1tky.
10. **LPM s.r.o.** *Plasty-Lexikon. Plasty-Lexikon.* [Online] © LPM s.r.o. (2021), 2021. [Citace: 25. 02 2021.] <https://www.lpm.cz/cs/lexikon-plastu>.
11. **Irena, Prokopová.** *Makromolekulární chemie.* [editor] Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. 2nd. Praha : autor neznámý, 2007. str. 69. 978-80-7080-662-3.
12. *Makromolekulární chemie. Wikipedie.* [Online] 31. 12 2020. [Citace: 28. 02 2021.] https://cs.wikipedia.org/wiki/Makromolekul%C3%A1rn%C3%AD_chemie.
13. **Doc. ing. Jaromír Lederer, CSc.** *Polystyren.* [Online] [Citace: 5.. 2. 2021.] <https://docplayer.cz/7550925-Polystyren-doc-ing-jaromir-lederer-csc.html>.
14. **Doc. Ing. Irena Prokopová, CSc.** *Makromolekulární chemie.* Praha : VŠCHT Praha, 2007. ISBN 978-80-7080-662-3 .
15. **Ing. Luboš Běhálek, Ph.D.** *Polymery. Impresum.* [Online] 2016. [Citace: 02. 28 2021.] <https://publi.cz/books/180/Impresum.html>. 978-80-88058-68-7.
16. *Encyklopedie plastů - Plastivěda. POLYETHYLENY (PE, LDPE i HDPE).* [Online] samosebou.cz, 28. 02 2020. [Citace: 28. 02 2021.] <https://www.samosebou.cz/2020/02/28/encyklopedie-plastu-polyethyleny-pe-ldpe-i-hdpe/>.

17. **IUPAC.** Mezinárodní unie pro čistou a aplikovanou chemii (IUPAC) Mezinárodní unie pro čistou a aplikovanou chemii - https://cs.qaz.wiki/wiki/International_Union_of_Pure_and_Applied_Chemistry. *Wikipedie*. [Online] 15. 02 2021. [Citace: 01. 03 2021.] https://cs.nipponkaigi.net/wiki/International_Union_of_Pure_and_Applied_Chemistry.
18. *Styren - základní charakteristika*. [Online] [Citace: 28. 02 2021.] <https://www.prtr.cz/repository/latky/styren.pdf>.
19. Effect of Different Kinds of Fruit on Styrofoam Degradability. [Online] 23. 10 2019. [Citace: 28. 02 2021.] <https://www.ukessays.com/essays/sciences/effect-of-different-kinds-of-fruit-on-styrofoam-degradability.php>.
20. **Švorčík, V.** Přehled struktury „hlavních polymerů“. *Vysoká škola chemicko-technologická v Praze*. [Online] https://ipl.vscht.cz/files/uzel/0024310/tyden_2.pdf?redirected.
21. **Svoboda, Karel Chaloupka a Zbyněk.** Vlastnosti a parametry pěnového polystyrenu. *Publikace - Ploché střechy*. [Online] 02. 05 2016. [Citace: 1.3. 02 2021.] <https://www.isolace-info.cz/technicke-informace/zateplovani-obecne-informace/20693-vlastnosti-a-parametry-penoveho-polystyrenu-a.html#.YDwSPdyLpPY>.
22. **Wekon.** Polystyren - vlastnosti a využití. [Online] 03.. 06. 2019. [Citace: 25.. 11. 2019.] https://www.youtube.com/results?search_query=+Wekon+Polystyren+-vlastnosti+a+vyu%C5%BEit%C3%AD..
23. HITA plast - výrobce polystyrenu . *HITA plast - výrobce polystyrenu* . [Online] 2016. [Citace: 02. 03 2021.] <https://www.hitaplast.cz/vyroba-polystyrenu>.
24. **EPS, Sdružení.** Využití polystyrenu ve stavebnictví: Nejen ekologická izolace. *MaxiBydlení.cz-Moderní bydlení*. [Online] 17. 07 2012. [Citace: 02. 03 2021.] <https://www.maxibydeni.cz/moderni-dum/vyuziti-polystyrenu-ve-stavebnictvi-nejen-ekologicka-izolace.html#comments>.
25. Styrotrade, a.s. *Styrotherm plus 70*. [Online] 2021. [Citace: 01. 03 2021.] <https://www.nejstavebniny.cz/styrotrade-polystyren-styrotherm-plus-70/>.
26. Izolace pro podlahové topení Styrotrade styroroll . *Stavebninyokolo.cz*. [Online] [Citace: 01. 03 2021.] <https://www.stavebninyokolo.cz/produkt/izolace-pro-podlahove-topeni-styroroll-100-30-mm-12334/>.
27. Styrotrade,a.s. *styro kašír*. [Online] 27. 12 2015. [Citace: 01. 03 2021.] <https://styrotrade.cz/cs/aktuality/ukonceni-vyroby-stresnich-kasirovanych-dilcu-sbs-pasy-styro-kas/>.
28. **Cifrain, Josef.** Rozdíl mezi klasickým polystyrenem do podlahy a stabilizovaným polystyrenem. *Tepelná izolace*. [Online] 5. 11 2012. [Citace: 02. 03 2021.] <http://www.tepelna-izolace.cz/rozdil-mezi-klasickym-polystyrenem-do-podlahy-a-stabilizovanim-polystyrenem.html>.
29. ESTAV.cz. *Izolační desky z pěnového polystyrenu mají nové značení*. [Online] 23. 07 2015. [Citace: 23. 07 2021.] <https://www.estav.cz/cz/2091.izolacnich-desky-z-penoveho-polystyrenu-maji-nove-znaceni>.
30. Isover.cz. *Saint-Gobain Construction Products CZ* . [Online] 1. 5 2020. [Citace: 02. 03 2021.]

https://www.isover.cz/sites/isover.cz/files/assets/documents/isover_eps_perimeter_tl_cz.pdf.

31. zofi. *ZOFI - tepelné izolace*. [Online] [Citace: 04. 03 2021.] <https://eshop.zofi.cz/styro-perimetr-200-soklovy-polystyren-50-300-mm/306203050-50mm-1250-x-600-mm/popis>.

32. KRAJSPOL SK s.r.o. [Online] KRAJSPOL SK s.r.o., 2019. [Citace: 02. 03 2021.] <https://www.krajspol.sk/produkt/dosky-z-huzevnateho-polystyrenu-hips/>.

33. Spotřeba polystyrenu v ČR loni vzrostla o 1,5 % na 61 000 tun. *iMateriály*. [Online] zpráva ČTK, 29. 03 2019. [Citace: 10. 03 2021.] https://www.imaterialy.cz/rubriky/aktuality/prumysl-a-obchod/spotreba-polystyrenu-v-cr-loni-vzrostla-o-1-5-na-61-000-tun_46789.html.

34. ROZHOVOR: Jak využít a recyklovat pěnový polystyren. *ESTAV.cz*. [Online] 12. 10 2018. [Citace: 02. 03 2021.] <https://www.estav.cz/cz/6843.rozhovor-jak-vyuzit-a-recyklovat-penovoy-polystyren>.

35. Recyklace polystyrenu. *ASSMANN kontejnery a odpady*. [Online] ASSMANN & SYN odpady, s.r.o., 28. 07 2014. [Citace: 02. 03 2021.] <http://www.assmann.cz/blog-recyklace-polystyrenu-detail-31>.

36. Řezačka polystyrenu Prep 128cm procut basic - řez polystyrenu. *TOPTOOL.cz*. [Online] NetAction.cz. [Citace: 03. 03 2021.] <http://www.toptool.cz/119-rezacky/906-rezacka-polystyrenu-prep-128cm-procut-basic/>.

37. Tavná řezačka. *Wikipedie*. [Online] 18. 01 2019. [Citace: 03. 03 2021.] https://cs.wikipedia.org/wiki/Tavn%C3%A1_%C5%99eza%C4%8Dka.

38. Tavné řezání polystyrenu. *YouTube*. [Online] ROBEXDK, 12. 10 2010. [Citace: 03. 03 2021.] https://www.youtube.com/watch?v=B16NSo__7RA&list=PL95BC3AC3BE6B0EAF&index=10.

39. CNC řezací pracoviště polystyrenu PYN-1. *ROBEX DK, s.r.o.* [Online] [Citace: 03. 03 2021.] <https://www.robex-dk.cz/index.php?category=12&subcategory=79&product=946>.

40. SUPER-NÁŘADÍ.CZ. *Řezačky polystyrenu*. [Online] SUPER-NÁŘADÍ.CZ. [Citace: 03. 03 2021.] <https://www.super-naradi.cz/>.

41. *Tavné příruční řezačky HSGM - před prvním spuštěním - ROBEX DK, s.r.o.* [Video] místo neznámé : ROBEX DK, s.r.o., 2009.

42. PWM regulátor 6 - 28V /3A. [Online] GM electronic, spol. s.r.o. [Citace: 11. 03 2021.] <https://www.gme.cz/pwm-regulator-6-28v-3a-product-38323#product-detail>.

43. **Jaromír Drápala, Miroslav Kursá.** ELEKTROTECHNICKÉ MATERIÁLY. *Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava*. [Online] 2012. [Citace: 04. 03 2021.] str.125. <http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/ETMAT/Elektrotechnicke%20materialy.pdf>. ISBN978-80-248-2570-0.

44. **Vozobule, Ing. Josef.** *Technický inspektorát České republiky*. [dotazovaný] Miroslava Dušková. 5. 02 2021.

45. **Kostka, Ing. Tomáš.** ZÁKLADNÍ ELEKTROTECHNICKÉ PŘEDPISY. *TŘEDNÍ ŠKOLA, HAVÍŘOV-ŠUMBARK*. [Online] 1 2013. [Citace: 28.. 11. 2019.] <https://www.ssph.cz/vyuka/elektrotechnicke-predmety/>.

46. BOZP.cz. *První pomoc při zásahu elektrickým proudem. Teoretický výcvik a zásady chování*. [Online] 07. 08 2020. [Citace: 10. 03 2021.] <https://www.skolenibozp.cz/aktuality/prvni-pomoc-pri-zasahu-elektroinou/>.
47. **RNDr. Stanislav Malý, Ph.D. a kol.** *PREVENCE PRACOVNÍCH RIZIK, díl IV.* Moravská Ostrava, Teslova 873/2 : Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v.v.i., Repronis s. r. o., , 2009. ISBN 978-80-86973-88-3.
48. **TB03MPSV007, Projekt č.** Rizika a nebezpečí. *ZNALOSTNÍ SYSTÉM PREVENCE RIZIK V BOZP.* [Online] TAČR, 21.. 03. 2017. [Citace: 10.. 03. 2021.] <https://zsbozp.vubp.cz/>.
49. Školní vzdělávací program pro základní vzdělávání ROZHLEDNA VĚDĚNÍ. *ŠKOLNÍ VZDĚLÁVACÍ PROGRAM pro základní vzdělávání zpracovaný dle RVP ZV.* Krynky : ZÁKLADNÍ ŠKOLA KRYNKA, OKRES LOUNY, 30.08.2011.
50. **Doc. ing. Jaromír Lederer, CSc.** *Kaučuky.* 15. 7 2020. https://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/Kaucuky_final.pdf.
51. **Ministerstvo obchodu a průmyslu.** Výroba polymerů - Ministerstvo průmyslu a obchodu. *Integrovaná prevence a omezování znečištění (IPPC).* [Online] Pracovní verze dokumentu o nejlepších dostupných technikách ve výrobě polymerů, Červen 2006. [Citace: 22. 07 2020.] s. 327. https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/prumysl-a-zivotni-prostredi/ippc-integrovana-prevence-a-omezovani-znecisteni/referencni-dokumenty-bref/2017/1/pol_8-7-20-10_complete_b.pdf.
52. Arnika. *SYNTHOS Kralupy a.s.*. [Online] 2014. [Citace: 22. 07 2020.] <https://arnika.org/synthos-kralupy-a-s>.
53. Polystyrén. *Modelové železnice.* [Online] 12. 3 2001. [Citace: 13. 08 2020.] <http://www.litomysky.cz/index.html>.
54. **Buchar, Jiří.** Tavné řezačky série CleexCut. *Robex-dk.* [Online] 4. 5 2010. [Citace: 25. 8 2020.] <https://adoc.tips/nabidkovy-list-cleexcut-harmony.html>.
55. Jak se vyrábí polystyren - postup. *Stavebniny.* [Online] 20. 8 2012. [Citace: 26. 8 2020.] <http://www.stavebniny-rychle.cz/jak-se-vyrabi-polystyren-postup.html>.
56. Wikipedie. *Isopren.* [Online] 24. 09 2020. [Citace: 28. 02 2021.] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Isopren>.
57. Wikipedie. *Polystyren.* [Online] 6. 10 2020. [Citace: 28. 02 2021.] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Polystyren#Vlastnosti>.
58. Stavba TZB -info. [Online] Sdružení EPS ČR, 13. 04 2012. [Citace: 01. 03 2021.]
59. **Samosebou.cz.** *Encyklopedie plastů: polystyreny (PS).* 04.. 09 2020.
60. **Ing. Pavel Zemene, Ph.D.** *Jak využít a recyklovat pěnový polystyren.* Kralupy nad Vltavou : autor neznámý, 12. 10 2018.
61. **Světové obchodní centrum, C/Inca Garliso s/n, E-41092 Sevilla –Španělsko.** Pracovní verze dokumentu o nejlepších dostupných technikách ve výrobě polymerů. [Online] 2006. [Citace: 20. 02 2021.] https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/prumysl-a-zivotni-prostredi/ippc-integrovana-prevence-a-omezovani-znecisteni/referencni-dokumenty-bref/2017/1/pol_8-7-20-10_complete_b.pdf.
62. **Maetzler Rechtsanwalts GmbH & Co KG.** UK Essays. [Online] 23. září 2019. <https://www.ukessays.com/essays/sciences/effect-of-different-kinds-of-fruit-on-styrofoam-degradability.php>.

63. **Koštál, Ing. Josef.** *Teplotní závislost odporu kovových vodičů.* München, Německo : Hüthig & Pflaum Verlag GmbH München, 6 2007.
64. **Drápal, Jaromír.** Vysoká škola báňská –Technická univerzita OstravaFakulta metalurgie a materiálového inženýrstvíMATERIÁLY PRO ELEKTROTECHNIKU. *Technická univerzita Ostarva.* [Online] 2013.
http://katedry.fmmi.vsb.cz/Modin_Animace/Opory/03_Materialov%C3%A9_inzenyrstvi/08_Materialy_pro_elektrotechniku/Drapala_Materialy_pro_elektrotechniku.pdf.
65. Řešení elektronických obvodů. *Internetová elektronika.* [Online] [Citace: 20. 02 2021.]
<http://inter.elektronika.sweb.cz/2.htm>.
66. **Karel, Eisner.** *Dřevo a plasty.* Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1983. 1. vyd. SNTL, 1983. 383 s..
67. **autorů, Kolektiv.** *Encyklopedie práce se dřevem : průvodce truhlářstvím a řezbářstvím pro domácí dílnu.* Praha : Columbus, 2004. 80-7249-187-3 .
68. **Rudolf, Klenovský.** *Konstrukční návrh zařízení pro 4osé opracování pěnových polystyrenových hmot.* Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, 2009. Vedoucí práce Josef Formánek.
69. **Haškovec, František.** *Nábytek z pěnového polystyrenu - výroba a opravy .* Praha : SNTL, 1982. ISBN 04-307-82.
70. Jak řezat polystyren? *Stavební vzdělání.cz.* [Online] 2013-2020. [Citace: 29.. 09. 2020.]
<https://www.stavebni-vzdelani.cz/jak-rezat-polystyren/>.
71. Zásady bezpečné práce s elektrickými zařízeními, které jsou pod napětím. [Online] 27.1.2017. [Citace: 15.. 01. 2021.] <https://www.bezpecnostprace.info/bozp/zasady-bezpecne-prace-s-elektrickymi-zarizenimi-ktere-jsou-pod-napetim/>.
72. **Doc. Ing. Emil Kvítek, CSc.** MATERIÁLY PRO ELEKTROTECHNIKU. *UNIVERZITA PARDUBICE.* [Online] 01. 2008. [Citace: 15.. 02. 2020.]
<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/36489.pdf>.

Seznam obrázků, tabulek, grafů a diagramů

1. **Švec, Petr.** *Polystyren a jeho modifikace*. Praha : SNTL, 1985.
2. ABZ Knihy, a.s. *Pojem polymerace*. [Online] 2020. [Citace: 02. 27 2021.] <https://slovník-cizích-slov.abz.cz/web.php/slovo/polymerace>.
3. **H. Cídllová, B. Kohoutková, P. Křivánková, K. Štěpánek, B. Valová.** *Historie chemie. Hermann Staudinger*. [Online] 2011. [Citace: 27. 02 2021.] <https://www.ped.muni.cz/wchem/sm/hc/hist/nobceny/staudinger.html>.
4. Polymery II. *Chemie UJEP*. [Online] [Citace: 27. 02 2021.] https://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/2_%20POLYMERY%20-%20MECHANISMY%20VZNIKU%20-%20V%C3%9DROBN%C3%8D%20POSTUPY.pdf.
5. **Sova, Ing. Miloš.** *Vstřikování na pístových a šnekových strojích*. *Technoportál.cz*. [Online] 6. 5 2015. [Citace: 27. 02 2021.] <https://www.techportal.cz/33/vstrikovani-na-pistovych-a-snekovych-strojich-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EqQUkSFod1GxWBH6puOPOn8/>.
6. Jak se co dělá - Polystyren. [Online] 30. 12. 2011. [Citace: 03.. 03. 2021.] https://www.youtube.com/watch?v=rvmZiO_Fp98.
7. Synthos S.A. *SYNTHOS, chemical inovations*. [Online] 2015. [Citace: 24. 07 2020.] <https://web.archive.org/web/20150129193156/http://synthosgroup.com/cz/o-firme/ovladane-spolecnosti/synthos-kralupy-as/o-spolecnosti/historie/>.
8. Předpěněný koplén. [Online] Termax, s.r.o, 2010. [Citace: 27. 02 2021.] <http://www.termax.cz/cz/produkty/predpeneny-koplen.asp>.
9. **Kedrová, Kateřina.** *Organická Chemie: Makromolekulární látky*. [Online] 19. 06 2012. [Citace: 01.. 03. 2021.] http://www.mojechemie.cz/Organick%C3%A1_Chemie:Makromolekul%C3%A1rn%C3%AD_%C3%A1tky.
10. **LPM s.r.o.** *Plasty-Lexikon. Plasty-Lexikon*. [Online] © LPM s.r.o. (2021), 2021. [Citace: 25. 02 2021.] <https://www.lpm.cz/cs/lexikon-plastu>.
11. **Irena, Prokopová.** *Makromolekulární chemie*. [editor] Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. 2nd. Praha : autor neznámý, 2007. str. 69. 978-80-7080-662-3.
12. *Makromolekulární chemie*. *Wikipedie*. [Online] 31. 12 2020. [Citace: 28. 02 2021.] https://cs.wikipedia.org/wiki/Makromolekul%C3%A1rn%C3%AD_chemie.
13. **Doc. ing. Jaromír Lederer, CSc.** *Polystyren*. [Online] [Citace: 5.. 2. 2021.] <https://docplayer.cz/7550925-Polystyren-doc-ing-jaromir-lederer-csc.html>.
14. **Doc. Ing. Irena Prokopová, CSc.** *Makromolekulární chemie*. Praha : VŠCHT Praha, 2007. ISBN 978-80-7080-662-3 .
15. **Ing. Luboš Běhálek, Ph.D.** *Polymery. Impresum*. [Online] 2016. [Citace: 02. 28 2021.] <https://publi.cz/books/180/Impresum.html>. 978-80-88058-68-7.
16. *Encyklopedie plastů - Plastivěda. POLYETHYLENY (PE, LDPE i HDPE)*. [Online] samosebou.cz, 28. 02 2020. [Citace: 28. 02 2021.] <https://www.samosebou.cz/2020/02/28/encyklopedie-plastu-polyethyleny-pe-ldpe-i-hdpe/>.

17. **IUPAC.** Mezinárodní unie pro čistou a aplikovanou chemii (IUPAC) Mezinárodní unie pro čistou a aplikovanou chemii - https://cs.qaz.wiki/wiki/International_Union_of_Pure_and_Applied_Chemistry. *Wikipedie*. [Online] 15. 02 2021. [Citace: 01. 03 2021.] https://cs.nipponkaigi.net/wiki/International_Union_of_Pure_and_Applied_Chemistry.
18. *Styren - základní charakteristika*. [Online] [Citace: 28. 02 2021.] <https://www.prtr.cz/repository/latky/styren.pdf>.
19. Effect of Different Kinds of Fruit on Styrofoam Degradability. [Online] 23. 10 2019. [Citace: 28. 02 2021.] <https://www.ukessays.com/essays/sciences/effect-of-different-kinds-of-fruit-on-styrofoam-degradability.php>.
20. **Švorčík, V.** Přehled struktury „hlavních polymerů“. *Vysoká škola chemicko-technologická v Praze*. [Online] https://ipl.vscht.cz/files/uzel/0024310/tyden_2.pdf?redirected.
21. **Svoboda, Karel Chaloupka a Zbyněk.** Vlastnosti a parametry pěnového polystyrenu. *Publikace - Ploché střechy*. [Online] 02. 05 2016. [Citace: 1.3. 02 2021.] <https://www.isolace-info.cz/technicke-informace/zateplovani-obecne-informace/20693-vlastnosti-a-parametry-penoveho-polystyrenu-a.html#.YDwSPdyLpPY>.
22. **Wekon.** Polystyren - vlastnosti a využití. [Online] 03.. 06. 2019. [Citace: 25.. 11. 2019.] https://www.youtube.com/results?search_query=+Wekon+Polystyren+-vlastnosti+a+vyu%C5%BEit%C3%AD..
23. HITA plast - výrobce polystyrenu . *HITA plast - výrobce polystyrenu* . [Online] 2016. [Citace: 02. 03 2021.] <https://www.hitaplast.cz/vyroba-polystyrenu>.
24. **EPS, Sdružení.** Využití polystyrenu ve stavebnictví: Nejen ekologická izolace. *MaxiBydlení.cz-Moderní bydlení*. [Online] 17. 07 2012. [Citace: 02. 03 2021.] <https://www.maxibydeni.cz/moderni-dum/vyuziti-polystyrenu-ve-stavebnictvi-nejen-ekologicka-izolace.html#comments>.
25. Styrotrade, a.s. *Styrotherm plus 70*. [Online] 2021. [Citace: 01. 03 2021.] <https://www.nejstavebniny.cz/styrotrade-polystyren-styrotherm-plus-70/>.
26. Izolace pro podlahové topení Styrotrade styroroll . *Stavebninyokolo.cz*. [Online] [Citace: 01. 03 2021.] <https://www.stavebninyokolo.cz/produkt/izolace-pro-podlahove-topeni-styroroll-100-30-mm-12334/>.
27. Styrotrade,a.s. *styro kašír*. [Online] 27. 12 2015. [Citace: 01. 03 2021.] <https://styrotrade.cz/cs/aktuality/ukonceni-vyroby-stresnich-kasirovanych-dilcu-sbs-pasy-styro-kas/>.
28. **Cifrain, Josef.** Rozdíl mezi klasickým polystyrenem do podlahy a stabilizovaným polystyrenem. *Tepelná izolace*. [Online] 5. 11 2012. [Citace: 02. 03 2021.] <http://www.tepelna-izolace.cz/rozdil-mezi-klasickym-polystyrenem-do-podlahy-a-stabilizovanim-polystyrenem.html>.
29. ESTAV.cz. *Izolační desky z pěnového polystyrenu mají nové značení*. [Online] 23. 07 2015. [Citace: 23. 07 2021.] <https://www.estav.cz/cz/2091.izolacnich-desky-z-penoveho-polystyrenu-maji-nove-znaceni>.
30. Isover.cz. *Saint-Gobain Construction Products CZ* . [Online] 1. 5 2020. [Citace: 02. 03 2021.]

https://www.isover.cz/sites/isover.cz/files/assets/documents/isover_eps_perimeter_tl_cz.pdf.

31. zofi. *ZOFI - tepelné izolace*. [Online] [Citace: 04. 03 2021.] <https://eshop.zofi.cz/styro-perimetr-200-soklovy-polystyren-50-300-mm/306203050-50mm-1250-x-600-mm/popis>.

32. KRAJSPOL SK s.r.o. [Online] KRAJSPOL SK s.r.o., 2019. [Citace: 02. 03 2021.] <https://www.krajspol.sk/produkt/dosky-z-huzevnateho-polystyrenu-hips/>.

33. Spotřeba polystyrenu v ČR loni vzrostla o 1,5 % na 61 000 tun. *iMateriály*. [Online] zpráva ČTK, 29. 03 2019. [Citace: 10. 03 2021.] https://www.imaterialy.cz/rubriky/aktuality/prumysl-a-obchod/spotreba-polystyrenu-v-cr-loni-vzrostla-o-1-5-na-61-000-tun_46789.html.

34. ROZHOVOR: Jak využít a recyklovat pěnový polystyren. *ESTAV.cz*. [Online] 12. 10 2018. [Citace: 02. 03 2021.] <https://www.estav.cz/cz/6843.rozhovor-jak-vyuzit-a-recyklovat-penovoy-polystyren>.

35. Recyklace polystyrenu. *ASSMANN kontejnery a odpady*. [Online] ASSMANN & SYN odpady, s.r.o., 28. 07 2014. [Citace: 02. 03 2021.] <http://www.assmann.cz/blog-recyklace-polystyrenu-detail-31>.

36. Řezačka polystyrenu Prep 128cm procut basic - řez polystyrenu. *TOPTOOL.cz*. [Online] NetAction.cz. [Citace: 03. 03 2021.] <http://www.toptool.cz/119-rezacky/906-rezacka-polystyrenu-prep-128cm-procut-basic/>.

37. Tavná řezačka. *Wikipedie*. [Online] 18. 01 2019. [Citace: 03. 03 2021.] https://cs.wikipedia.org/wiki/Tavn%C3%A1_%C5%99eza%C4%8Dka.

38. Tavné řezání polystyrenu. *YouTube*. [Online] ROBEXDK, 12. 10 2010. [Citace: 03. 03 2021.] https://www.youtube.com/watch?v=B16NSo__7RA&list=PL95BC3AC3BE6B0EAF&index=10.

39. CNC řezací pracoviště polystyrenu PYNK-1. *ROBEX DK, s.r.o.* [Online] [Citace: 03. 03 2021.] <https://www.robex-dk.cz/index.php?category=12&subcategory=79&product=946>.

40. SUPER-NÁŘADÍ.CZ. *Řezačky polystyrenu*. [Online] SUPER-NÁŘADÍ.CZ. [Citace: 03. 03 2021.] <https://www.super-naradi.cz/>.

41. *Tavné příruční řezačky HSGM - před prvním spuštěním - ROBEX DK, s.r.o.* [Video] místo neznámé : ROBEX DK, s.r.o., 2009.

42. PWM regulátor 6 - 28V /3A. [Online] GM electronic, spol. s.r.o. [Citace: 11. 03 2021.] <https://www.gme.cz/pwm-regulator-6-28v-3a-product-38323#product-detail>.

43. **Jaromír Drápala, Miroslav Kursá.** ELEKTROTECHNICKÉ MATERIÁLY. *Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava*. [Online] 2012. [Citace: 04. 03 2021.] str.125. <http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/ETMAT/Elektrotechnicke%20materialy.pdf>. ISBN978-80-248-2570-0.

44. **Vozobule, Ing. Josef.** *Technický inspektorát České republiky*. [dotazovaný] Miroslava Dušková. 5. 02 2021.

45. **Kostka, Ing. Tomáš.** ZÁKLADNÍ ELEKTROTECHNICKÉ PŘEDPISY. *TŘEDNÍ ŠKOLA, HAVÍŘOV-ŠUMBARK*. [Online] 1 2013. [Citace: 28.. 11. 2019.] <https://www.ssph.cz/vyuka/elektrotechnicke-predmety/>.

46. BOZP.cz. *První pomoc při zásahu elektrickým proudem. Teoretický výcvik a zásady chování*. [Online] 07. 08 2020. [Citace: 10. 03 2021.] <https://www.skolenibozp.cz/aktuality/prvni-pomoc-pri-zasahu-elektroinou/>.
47. **RNDr. Stanislav Malý, Ph.D. a kol.** *PREVENCE PRACOVNÍCH RIZIK, díl IV.* Moravská Ostrava, Teslova 873/2 : Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v.v.i., Repronis s. r. o., 2009. ISBN 978-80-86973-88-3.
48. **TB03MPSV007, Projekt č.** Rizika a nebezpečí. *ZNALOSTNÍ SYSTÉM PREVENCE RIZIK V BOZP.* [Online] TAČR, 21.. 03. 2017. [Citace: 10.. 03. 2021.] <https://zsbozp.vubp.cz/>.
49. Školní vzdělávací program pro základní vzdělávání ROZHLEDNA VĚDĚNÍ. *ŠKOLNÍ VZDĚLÁVACÍ PROGRAM pro základní vzdělávání zpracovaný dle RVP ZV.* Krynky : ZÁKLADNÍ ŠKOLA KRYNKY, OKRES LOUNY, 30.08.2011.
50. **Doc. ing. Jaromír Lederer, CSc.** *Kaučuky.* 15. 7 2020. https://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/Kaucuky_final.pdf.
51. **Ministerstvo obchodu a průmyslu.** Výroba polymerů - Ministerstvo průmyslu a obchodu. *Integrovaná prevence a omezování znečištění (IPPC).* [Online] Pracovní verze dokumentu o nejlepších dostupných technikách ve výrobě polymerů, Červen 2006. [Citace: 22. 07 2020.] s. 327. https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/prumysl-a-zivotni-prostredi/ippc-integrovana-prevence-a-omezovani-znecisteni/referencni-dokumenty-bref/2017/1/pol_8-7-20-10_complete_b.pdf.
52. Arnika. *SYNTHOS Kralupy a.s.*. [Online] 2014. [Citace: 22. 07 2020.] <https://arnika.org/synthos-kralupy-a-s>.
53. Polystyrén. *Modelové železnice.* [Online] 12. 3 2001. [Citace: 13. 08 2020.] <http://www.litomysky.cz/index.html>.
54. **Buchar, Jiří.** Tavné řezačky série CleexCut. *Robex-dk.* [Online] 4. 5 2010. [Citace: 25. 8 2020.] <https://adoc.tips/nabidkovy-list-cleexcut-harmony.html>.
55. Jak se vyrábí polystyren - postup. *Stavebniny.* [Online] 20. 8 2012. [Citace: 26. 8 2020.] <http://www.stavebniny-rychle.cz/jak-se-vyrabi-polystyren-postup.html>.
56. Wikipedie. *Isopren.* [Online] 24. 09 2020. [Citace: 28. 02 2021.] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Isopren>.
57. Wikipedie. *Polystyren.* [Online] 6. 10 2020. [Citace: 28. 02 2021.] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Polystyren#Vlastnosti>.
58. Stavba TZB -info. [Online] Sdružení EPS ČR, 13. 04 2012. [Citace: 01. 03 2021.]
59. **Samosebou.cz.** *Encyklopedie plastů: polystyreny (PS).* 04.. 09 2020.
60. **Ing. Pavel Zemene, Ph.D.** *Jak využít a recyklovat pěnový polystyren.* Kralupy nad Vltavou : autor neznámý, 12. 10 2018.
61. **Světové obchodní centrum, C/Inca Garliso s/n, E-41092 Sevilla –Španělsko.** Pracovní verze dokumentu o nejlepších dostupných technikách ve výrobě polymerů. [Online] 2006. [Citace: 20. 02 2021.] https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/prumysl-a-zivotni-prostredi/ippc-integrovana-prevence-a-omezovani-znecisteni/referencni-dokumenty-bref/2017/1/pol_8-7-20-10_complete_b.pdf.
62. **Maetzler Rechtsanwalts GmbH & Co KG.** UK Essays. [Online] 23. září 2019. <https://www.ukessays.com/essays/sciences/effect-of-different-kinds-of-fruit-on-styrofoam-degradability.php>.

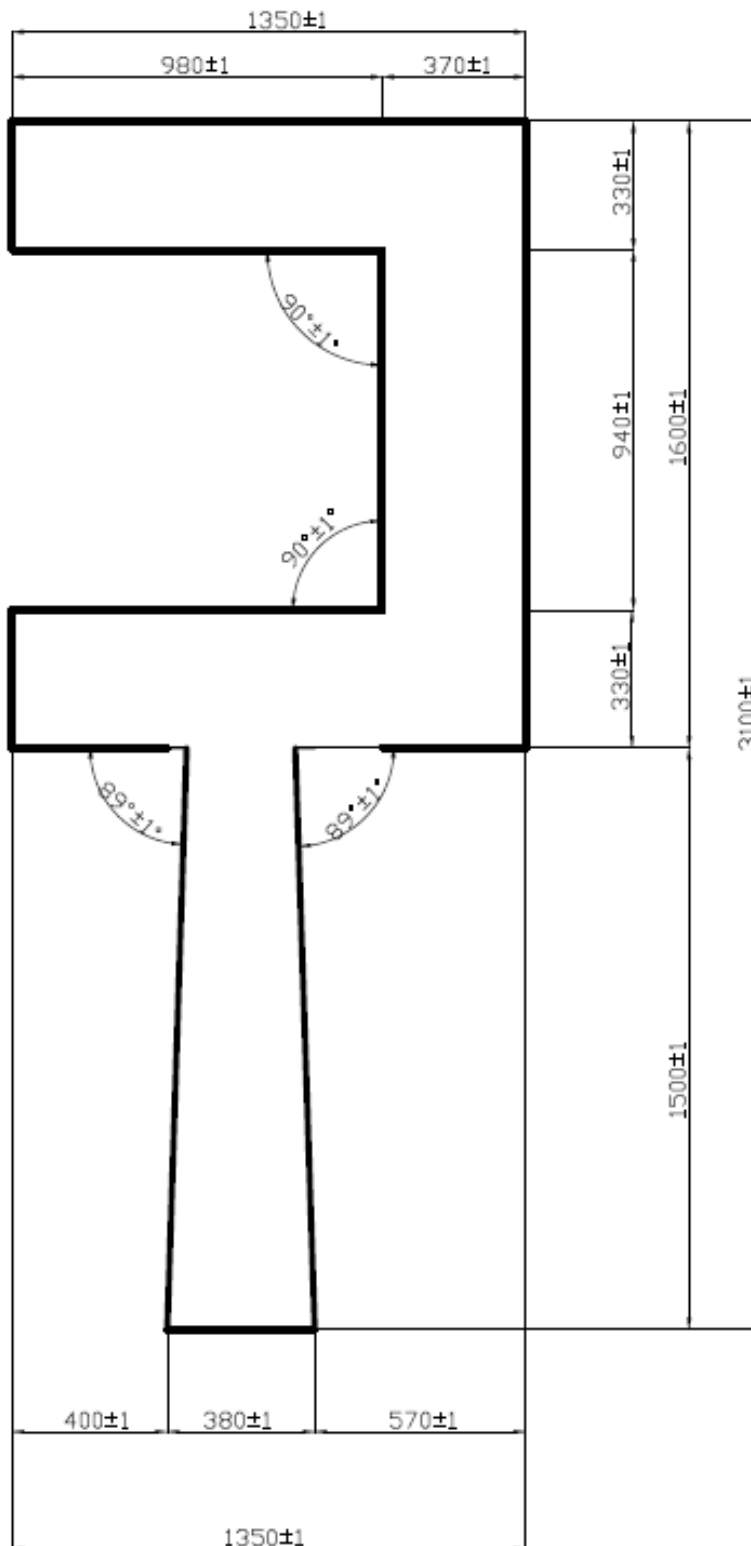
63. **Koštál, Ing. Josef.** *Teplotní závislost odporu kovových vodičů.* München, Německo : Hüthig & Pflaum Verlag GmbH München, 6 2007.
64. **Drápal, Jaromír.** Vysoká škola báňská –Technická univerzita OstravaFakulta metalurgie a materiálového inženýrstvíMATERIÁLY PRO ELEKTROTECHNIKU. *Technická univerzita Ostarva.* [Online] 2013.
http://katedry.fmmi.vsb.cz/Modin_Animace/Opory/03_Materialov%C3%A9_inzenyrstvi/08_Materialy_pro_elektrotechniku/Drapala_Materialy_pro_elektrotechniku.pdf.
65. Řešení elektronických obvodů. *Internetová elektronika.* [Online] [Citace: 20. 02 2021.]
<http://inter.elektronika.sweb.cz/2.htm>.
66. **Karel, Eisner.** *Dřevo a plasty.* Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1983. 1. vyd. SNTL, 1983. 383 s..
67. **autorů, Kolektiv.** *Encyklopedie práce se dřevem : průvodce truhlářstvím a řezbářstvím pro domácí dílnu.* Praha : Columbus, 2004. 80-7249-187-3 .
68. **Rudolf, Klenovský.** *Konstrukční návrh zařízení pro 4osé opracování pěnových polystyrenových hmot.* Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, 2009. Vedoucí práce Josef Formánek.
69. **Haškovec, František.** *Nábytek z pěnového polystyrenu - výroba a opravy .* Praha : SNTL, 1982. ISBN 04-307-82.
70. Jak řezat polystyren? *Stavební vzdělání.cz.* [Online] 2013-2020. [Citace: 29.. 09. 2020.]
<https://www.stavebni-vzdelani.cz/jak-rezat-polystyren/>.
71. Zásady bezpečné práce s elektrickými zařízeními, které jsou pod napětím. [Online] 27.1.2017. [Citace: 15.. 01. 2021.] <https://www.bezpecnostprace.info/bozp/zasady-bezpecne-prace-s-elektrickymi-zarizenimi-ktere-jsou-pod-napetim/>.
72. **Doc. Ing. Emil Kvítek, CSc.** MATERIÁLY PRO ELEKTROTECHNIKU. *UNIVERZITA PARDUBICE.* [Online] 01. 2008. [Citace: 15.. 02. 2020.]
<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/36489.pdf>.

Tabulka 1 Základní modifikované typy	11
Tabulka 2: Model zatěžovací charakteristiky	45
Tabulka 3: Zatěžovací charakteristika zdroje PeakTech 3,35 V – 6,08 V	47
Tabulka 4: Zatěžovací charakteristika zdroje PeakTech 7,57 V – 12,16 V	48
Tabulka 5: Srovnání naměřených hodnot zatěžovacích charakteristik zdroje s matematickým modelem v celém rozsahu proudů a napětí	50
Tabulka 6: Některé druhy odporových drátů a jejich vlastnosti.....	53
Tabulka 7: Ověření rozměru měřením posuvným měřítkem.....	53
Tabulka 8: Kanthal 3,35 V – 7,56 V.....	61
Tabulka 9: Kanthal 9,11 V – 12,15 V.....	62
Tabulka 10: Konstantan 3,35 V – 9,11 V	63
Tabulka 11: Konstantan 12,15 V	64
Tabulka 12: Isotan 3,35 V – 7,56 V	65
Tabulka 13: Isotan 9,11 V – 12,15 V	66
Tabulka 14: CHROM-NIKL 3,35 V – 9,11 V.....	67
Tabulka 15: Manganin 3,35 V – 7,56 V	68
Tabulka 16: Souhrn měření odporových drátů	69
Tabulka 17: Odporové dráty určené pro vyrobenou řezačku polystyrenu	71
Tabulka 18: Nastavení napětíového rozsahu pro daný materiál	74
Tabulka 19: Riziková analýza 1/3	76
Tabulka 20: Riziková analýza 2/3	77
Tabulka 21: Riziková analýza 3/3	78
Obrázek 1: Schéma pístového vstřikovacího stroje.....	7
Obrázek 2: Schéma pístového stroje se šnekovou předplastikací	8
Obrázek 3: Depolymerizace	13
Obrázek 4: Výroba expandovaného polystyrenu.....	15
Obrázek 5: Značení polystyrenu.....	16
Obrázek 6: Využití polystyrenu ve stavebnictví.....	16
Obrázek 7: Styrotherm plus 70	17
Obrázek 8: Styrotrade styroroll	17
Obrázek 9: Střešní kaširovaný polystyren	18
Obrázek 10: Polystyren EPS.....	18
Obrázek 11: Extrudovaný polystyren (fasádní).....	19

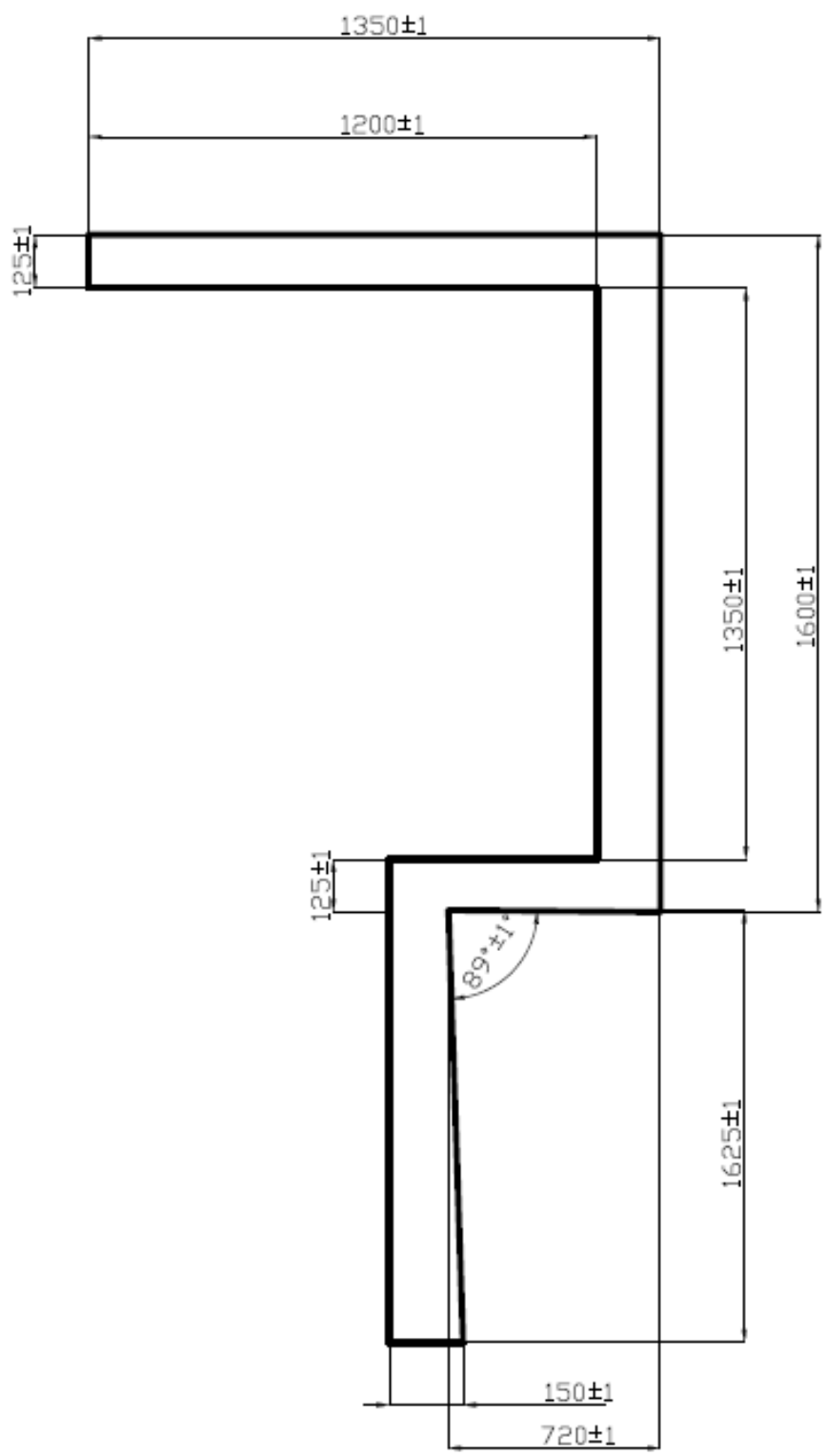
Obrázek 12: Styrotrade styro perimetr 200	20
Obrázek 13: Desky z houževnatého polystyrenu HIPS.....	20
Obrázek 14: Roční spotřeba pěnového polystyrenu	21
Obrázek 15: Varianty řezu polystyrenu	23
Obrázek 16: Stolní řezačka s odporovým drátem.....	23
Obrázek 17: CNC řezací pracoviště PYNC-1	24
Obrázek 18: Elektrická řezačka na polystyren Styro 7W KG7W, modelářská, hobby, KEMPER 1650	26
Obrázek 19: YT-82190 Termický nůž.....	26
Obrázek 20 Řezací čepel, řezačka na polystyren Dedra DED7519	26
Obrázek 21: Tavné příruční řezačky HSGM – před prvním spuštěním –ROBEX DK, s.r.o.	27
Obrázek 22: Úprava nože před řezáním	28
Obrázek 23: Akumulátorová řezačka polystyrenu	31
Obrázek 24: Umístění svorkovnice s vodičem v drážce.....	32
Obrázek 25: Propálené kontakty v boxu baterie.....	33
Obrázek 26: Vyříznuté a slepené tvary.....	34
Obrázek 27: Vodiče se smršťovací bužírkou	34
Obrázek 28: Sestavení řezačky polystyrenu	35
Obrázek 29: Řezačka polystyrenu	35
Obrázek 30: Výrobní štítek DVE	36
Obrázek 31: PWM regulátor a jeho specifikace.....	36
Obrázek 32: Měřicí pracoviště	37
Obrázek 33: Výrobní štítek Peak Tech.....	37
Obrázek 34: Schéma měření odporu Ohmovou metodou	38
Obrázek 35: Měřicí pracoviště	39
Obrázek 36: Model zatěžovací charakteristiky – PeakTech.....	46
Obrázek 37: Zatěžovací charakteristika zdroje PeakTech.....	49
Obrázek 38: Měření průměru drátu	54
Obrázek 39: Xplorer GLX Pasco PS-2002 a multimetr RE92-A RANGE	54
Obrázek 40: Schéma zapojení	55
Obrázek 41: Rozsah napětí	55
Obrázek 42: Měřicí pracoviště – měření odporových drátů	56
Obrázek 43: Řez EPS polystyrenu drátem kanthal.....	56

Obrázek 44: Ověření teploty pro řezání polystyrenu	71
Obrázek 45: Výsledné zařízení se zdrojem Peak Tech.....	79
Obrázek 46: Samostatná práce s ruční řezačkou	80
Obrázek 47: Výsledek práce při řezání	81
Obrázek 48: Pečlivost při práci	81
Obrázek 49: Vyřezávání desky.....	82
Obrázek 50: Vlastní návrh a výřez svého iniciálu.....	82
Obrázek 51: Práce s řezačkou.....	83
Obrázek 52: Vyřezávání vlastního návrhu	83

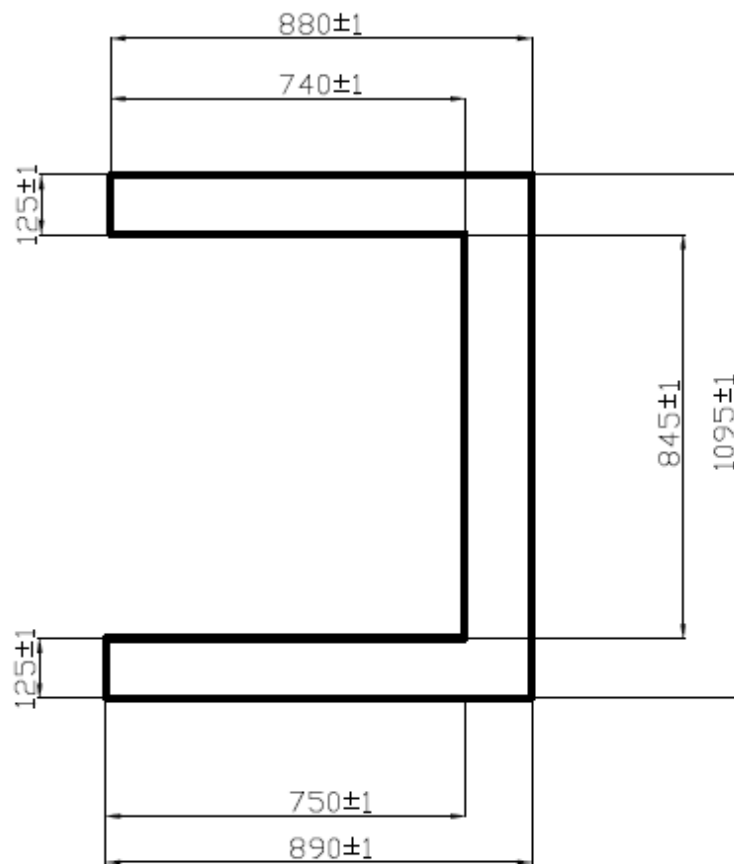
Přílohy



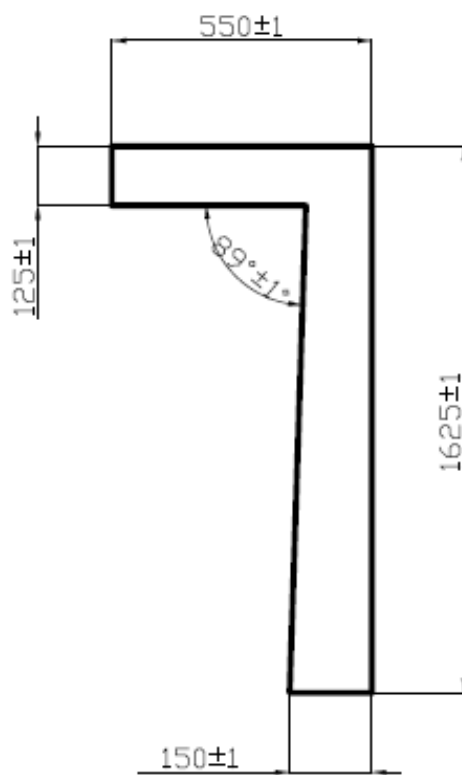
vypracoval: Miroslava Dušková	
obsah: Rezačka Polystyrenu	datum: 20. 03. 2021
	formát: A4
	M 1:1



vyráběcí: Miroslava Dušková	
obsah: Výplň řezačky Díl 2	datum: 20. 03. 2021
	formát: A4
	M 1:1



vypracoval: Miroslava Dušková		
obsah: Výplň řezačky Díl č. 3	datum	20. 03. 2021
	formát	A4
	M 1:1	



vypracoval: Miroslava Dušková		
obsah: Výplň řezačky Díl č. 4	datum	20. 03. 2021
	formát	A4
	M 1:1	

