Příloha A

Parametry dávkovače dle principu dávkování roztoku

Velikost tlaku působícího na roztok ve stříkačce je určena z Bernoulliho rovnice. Výpočet je prováděn k hodnotě většího průtoku, tzn. větší rychlosti proudu roztoku, kdy dostáváme větší hodnotu potřebného tlaku.

Průtok roztoku stříkačkou je $\dot{V_s} = 1\ až\ 4\, ml/hod$

Parametry stříkačky:

vnitřní průměr stříkačky	ds [mm]	16
max. délka stříkačky	ls [mm]	59
průměr jehly	dj [mm]	0,9
délka jehly	lj [mm]	55

Pro zjednodušení výpočtu byla přechodová část sloužící pro spojení stříkačky a jehly zanedbána resp. byla brána jako by se jednalo o část jehly.

Maximální rychlost proudění roztoku stříkačkou (jedná se zároveň o maximální rychlost pohybu pístu stříkačky):

$$c_{smax} = \frac{4 \cdot \dot{V_{smax}}}{\pi \cdot d_s^2} = \frac{4 \cdot \frac{4 \cdot 10^3}{60}}{\pi \cdot (16)^2} = 0{,}33 \frac{mm}{min} \tag{A1}$$

Minimální rychlost proudění roztoku stříkačkou (jedná se zároveň o minimální rychlost pohybu pístu stříkačky):

$$c_{smin} = \frac{4 \cdot \dot{V_{smin}}}{\pi \cdot d_s^2} = \frac{4 \cdot \frac{1 \cdot 10^3}{60}}{\pi \cdot (16)^2} = 0{,}08 \frac{mm}{min} \tag{A2}$$

Dávkovací zařízení musí být schopno dávkovat roztok v rozsahu těchto rychlostí.

Maximální rychlost proudění roztoku jehlou dle rovnice kontinuity:

$$c_{smax} \cdot A_s = c_{jmax} \cdot A_j \Rightarrow c_{jmax} = \frac{c_{smax} \cdot d_s^2}{d_j^2} = 0{,}33 \cdot \frac{16^2}{0{,}9^2} = 104{,}8 \frac{mm}{min} \tag{A3}$$

Vlastnosti roztoku:

hustota	ρ_r [kg*m^{-3}]	1 120
kinematická viskozita	ν_r [m^2/s]	2,68*10^{-3}

Kinematická viskozita je určena z dynamické viskozity pomocí vztahu $\nu_r = \frac{\eta_r}{\rho_r}$. Vychází se z předpokladu, že viskozita roztoku je přibližně stejná jako viskozita medu, tj. $\eta_r = 3Pa \cdot s$

Součinitel tření dle Darcyho pro laminární proudění a maximální rychlost proudění. Pro stříkačku a jehlu zvlášť v jednotkách SI:

$$\lambda_s = \frac{64}{Re} = \frac{64 \cdot \nu_r}{c_s \cdot d_s}, \qquad \lambda_j = \frac{64}{Re} = \frac{64 \cdot \nu_r}{c_j \cdot d_j} \tag{A4}$$

součinitel tření pro stříkačku	λ_s [m^2/s]	1 939*10^3
součinitel tření pro jehlu	λ_j [m^2/s]	109*10^3

Místní ztrátový součinitel v místě přechodu spoje mezi stříkačkou a jehlou (výpočet proveden pro přechodový průměr d_p = 2 mm):

$$\xi = 0{,}5 \cdot \left(1 - \left(\frac{d_p}{d_s}\right)^2\right) = 0{,}5 \cdot \left(1 - \left(\frac{2}{16}\right)^2\right) = 0{,}38 \tag{A5}$$

Jelikož se vlivem dávkování mění zdvih stříkačky, tak se mění i třecí odpor ve stříkačce. Největší bude při začátku dávkování.

Výpočet je proveden pro konkrétní hustotu a viskozitu roztoku platících při teplotě 20 °C.

Maximální tlak na píst stříkačky nutný k započetí dávkování:

$$p_s = \rho_r \cdot \frac{c_{smax}^2}{2} \cdot \left(\frac{\lambda_s \cdot l_s}{d_s} - 1 + \left(\frac{d_s}{d_j}\right)^2 \cdot \left(1 + \xi + \frac{\lambda_j \cdot l_j}{d_j}\right)\right) \tag{A6}$$

$$p_s = 1120 \cdot \frac{\left(\frac{0{,}33 \cdot 10^{-3}}{60}\right)^2}{2} \cdot \left(1939 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{59}{16}\right) - 1 + \left(\frac{16}{0{,}9}\right)^2 \cdot \left(1 + 0{,}38 + 109 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{55}{0{,}9}\right)\right)\right) \approx 36Pa \tag{A7}$$

V případě použití roztoku s jinými parametry je nutné počítat s rozdílným výsledkem.

Příloha B

Návrh okruhu a jeho částí

Vlastnosti vody

Voda při ohřevu mění svůj objem a hustotu. Se zvyšující se teplotou hustota klesá a objem vody se zvětšuje. Se zvyšující se teplotou se dále snižuje viskozita neboli vnitřní tření v kapalině. To je dobře vidět v tabulce níže. Míru změny objemu a hustoty kapaliny vyjadřuje součinitel teplotní objemové roztažnosti, jehož hodnota ale se změnou teploty není konstantní.

Teplota t [°C]	Hustota ρ [kg*m^3]	Kinematická viskozita	Součinitel teplotní objemové roztažnosti
t [°C]	ρ [kg*m^3]	ν*10^6 [m^2/s]	γ*10^3 [1/K]
20	998,2	0,995	0,208
30	995,7	0,796	0,302
40	992,3	0,663	0,386
50	988,1	0,562	0,457
60	983,2	0,480	0,522
70	977,8	0,413	0,584
80	971,8	0,362	0,642

Průtočné charakteristiky

O velikost průtoku se bude starat čerpadlo. Jelikož je ale jisté, že se jedná o malý okruh s malým otopným tělesem, tak i čerpadlo bude malé. Proto se už předběžně volí menší průměry hadic, pro ucházející průtok musí kapalina hadicemi proudit vyšší rychlostí.

Předběžné rozměry hadiček:

vnitřní průměr	d_h [mm]	8
celková délka	l_h [mm]	1500

Objem kapaliny v hadičkách:

$$V_h = \frac{\pi \cdot l_h \cdot d_h^2}{4} \cdot 10^{-3} = \frac{\pi \cdot 1500 \cdot 8^2}{4} \cdot 10^{-3} = 75{,}4ml \qquad \text{(B1)}$$

Aby nedocházelo k přílišnému promíchávání hlavního proudu kapaliny s mezní vrstvou, volí se Reynoldsovo číslo Re = 3500, kdy už proudění není laminární, ale stále nemá plně turbulentní profil.

Vlivem rozdílné viskozity vody za teploty okolí a ohřevu je možné dosahovat při daném průřezu a Re číslu rozdílných rychlostí. To je však prakticky špatně řešitelné, proto bude čerpadlo po celou dobu provozu dodávat konstantní průtok, který je určen pro teplotu vody 80 °C.

Rychlost proudu kapaliny:

$$c = \frac{Re \cdot \nu_{80}}{d_h} = \frac{3500 \cdot 0{,}362 \cdot 10^{-6}}{8 \cdot 10^{-3}} = 0{,}16\, m/s = 160\, mm/s \qquad \text{(B2)}$$

Objemový průtok soustavou:

$$\dot{V} = c \cdot A_h = 0{,}18 \cdot \frac{\pi \cdot \left(7 \cdot 10^{-3}\right)^2}{4} = 6{,}9 \cdot 10^{-6}\, m/s = 482{,}5\, ml/min \qquad \text{(B3)}$$

Zásobník ohřívané kapaliny

Zásobník ohřívané kapaliny je požadováno umístit co nejdále od procesu zvlákňování. Zároveň by měl pojmout dostatečné množství kapaliny, aby nedocházelo k přehřívání kapaliny ohřívačem a ohřev byl efektivní. Zásobník je nejníže umístěným tělesem v okruhu (uvažováno umístění na desce pracovního stolu).

Předběžné rozměry zásobníku:

vnitřní průměr	d_z [mm]	70
vnitřní výška	h_z [mm]	100

Objem zásobníku:

$$V_z = \frac{\pi \cdot h_z \cdot d_z^2}{4} \cdot 10^{-3} = \frac{\pi \cdot 100 \cdot 70^2}{4} \cdot 10^{-3} = 384{,}8 ml \qquad \text{(B4)}$$

Rychlost proudění kapaliny zásobníkem z rovnice kontinuity:

$$c \cdot A_h = c_n \cdot A_n \Rightarrow c_n = \frac{c \cdot d_h^2}{d_z^2} = 160 \cdot \frac{8^2}{70^2} = 2{,}1\, mm/s \qquad \text{(B5)}$$

Hadice

Pro spojení zásobníku ohřívané kapaliny a otopného tělesa je navrhováno použít flexibilní hadičky, kterou je možné ještě dodatečně zaizolovat.

Otopné těleso

Otopné těleso je nejvýše položeným místem okruhu. Uvažovaná výška horní hrany otopného tělesa od desky stolu je h = 400 mm. Těleso je konstruováno válcového tvaru se souosou válcovou dutinou, do které se vsouvá injekční stříkačka. Vnější průměr stříkačky činí 17 mm a její délka je 63 mm. Tomu odpovídají rozměry objímky.

Otopné těleso je navrženo ze tří částí. Vnitřní válcová část s čely na obou stranách, která jsou po vnějším obvodě opatřena metrickými závity. Přes tyto závity se k sobě našroubují dvě vnější části, jež udávají vnější válcový tvar tělesa. Kapalina je do těchto dvou částí přiváděna v tangenciálním směru, aby nedocházelo k tříštění proudu o vnitřní dutinu. Mezi vnějšími díly je o-kroužek pro statické utěsnění.

Vnitřní část tělesa je navrhována s obvodovou spirálou, která bude navazovat na vstup a výstup kapaliny z tělesa a zajistí řízení průtoku kapaliny. To by mělo vést k efektivnějšímu prostupu tepla ke stříkačce, díky promíchávání hlavního proudu kapaliny s mezní vrstvou a rovnoměrnější distribucí tepelné energie po celé délce stříkačky.

Takto složené těleso je navrhováno vyjma vnitřní dutiny zalít silikonem, jenž by fungoval jako tepelná izolace otopného tělesa a zajišťoval dodatečné utěsnění prostoru závitů.

Rozměry otopného tělesa jsou voleny následovně:

malý průměr dutiny	d_{ot1} [mm]	17	vnitřní délka tělesa	l_{ot1} [mm]	62
velký průměr dutiny	d_{ot2} [mm]	21	vnější délka tělesa	l_{ot2} [mm]	70
malý průměr tělesa	d_{ot3} [mm]	40	plocha spirály	A_{ot} [mm^2]	3 625
velký průměr tělesa	d_{ot4} [mm]	46	tloušťka spirály	t_{ot} [mm]	3

Objem kapaliny v otopném tělese:

$$V_{ot} = \left(\frac{\pi \cdot l_{ot1} \cdot (d_{ot3}^2 - d_{ot1}^2)}{4} - A_{ot} \cdot t_{ot}\right) \cdot 10^{-3} =$$

$$\left(\frac{\pi \cdot 62 \cdot (40^2 - 21^2)}{4} - 3625 \cdot 3\right) \cdot 10^{-3} = 45{,}6ml \qquad \text{(B6)}$$

Expanze kapaliny

Pro zamezení prudkého nárůstu tlaku v soustavě při ohřevu je použito závaží v podobě pístu, které svým zdvihem umožňuje kapalině zvětšovat svůj objem. Díky tomuto řešení je zároveň možné okruh používat i při mírném kolísání objemu vody v soustavě, zapříčiněném odpařením vody či jejím únikem při odvzdušňování.

Klasické expanzní nádoby se vždy umisťují na sání čerpadla, aby čerpadlo a celý okruh vždy pracovaly v oblasti relativního přetlaku. Z hlediska tepelného zatížení je vhodné expanzní nádobu umisťovat na vratném potrubí.

V současné době je expanze kapaliny minimální, proto je plně dostačující naplnění zásobníku s vodou na ¾, aby zůstala rezerva pro nabytí objemu kapaliny. Nahoře zásobníku s vodou je umístěna záslepka s dírou.

Čerpadlo

Již je dán požadovaný průtok kapaliny soustavou. Pro návrh čerpadla je však ještě nutné určit dopravní tlak čerpadla, aby čerpadlo bylo schopné plnit určenou funkci.

Dopravní tlak čerpadla u uzavřeného systému slouží pouze k pokrytí ztrát v okruhu. Výškové rozdíly se sem nezapočítávají, protože energie, kterou čerpadlo vydá na čerpání kapaliny do určité výšky se následně vrátí při návratu kapaliny zpět do původní výšky.

Ztráty, které se v okruhu vyskytují, lze rozdělit na místní (na armaturách, při změně průřezu,..) a třecí (vlivem viskozity kapaliny).

Ve výpočtu je potřeba uvažovat všechny místní ztráty a ztráty třením v hadici a otopném tělese. Ztráty třením v zásobníku ohřívané kapaliny lze zanedbat, protože nemají v podstatě žádný vliv na výsledek.

Výpočet je prováděn pomocí Bernoulliho rovnice pro kapalinu o teplotě 20 °C. Ztrátové součinitele místních odporů jsou voleny dle literatury či voleny, pokud by jejich určení bylo příliš složité.

Součinitel tření dle Darcyho pro Re = 3500:

$$\lambda = \frac{0{,}3164}{\sqrt[4]{Re}} = \frac{0{,}3164}{\sqrt[4]{3500}} = 0{,}041 \tag{B7}$$

Počet rozboček a ztráta na jednom:

$n_r = 2$, jedna pro odvzdušnění, druhá pro doplňování kapaliny

$\xi_r = 0{,}5$,

Počet a velikost kolen na hadici jsou voleny orientačně:

$$n_k = 10$$

$$\xi_k = 0{,}15$$

Ztráta na vstupu do zásobníku:

$$\xi_{z1} = 30$$

Ztráta na výstupu ze zásobníku:

$$\xi_{z2} = 2$$

Ztráta na vstupu do otopného tělesa:

$$\xi_{ot1} = 1$$

Ztráta na výstupu z otopného tělesa:

$$\xi_{ot2} = 0{,}5$$

Ztráta v otopném tělese:

$$\xi_{ot} = 15$$

Počet čidel a ztráta na jednom:

$$n_t = 2$$

$$\xi_t = 1$$

Potřebný dopravní tlak čerpadla:

$$\Delta p_č = \rho_{20} \cdot \frac{c^2}{2} \cdot \left(1 + \lambda \cdot \frac{l_h + \pi \cdot d_{ot3} \cdot n_{ot}}{d_h} + n_r \cdot \xi_r + n_k \cdot \xi_k + \xi_{z1} + \xi_{z2} + \xi_{ot1} + \xi_{ot2} + \xi_{ot} + n_t \cdot \xi_t\right) \quad \text{(B8)}$$

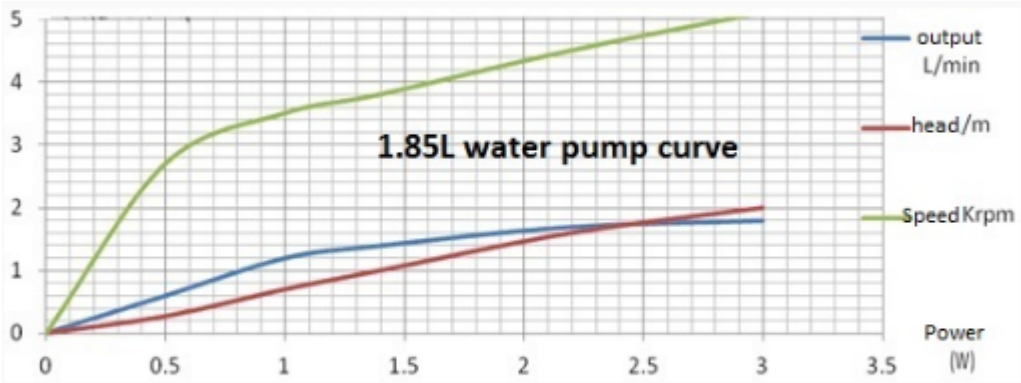
$$\Delta p_č = 998{,}2 \cdot \frac{0{,}16^2}{2} \cdot \left(1 + 0{,}041 \cdot \frac{1500 + \pi \cdot 40 \cdot 4}{7} + 2 \cdot 0{,}5 + 10 \cdot 0{,}15 + 30 + 2 + 1 + 0{,}5 + 15 + 2 \cdot 1\right) \quad \text{(B9)}$$

$$\Delta p_č = 823{,}8 Pa$$

Dle hodnoty průtoku a dopravního tlaku je voleno čerpadlo od firmy LightObject. Čerpadlo disponuje maximálním průtokem 1000 ml/min a jeho výtlačná výška je 1 metr, což odpovídá dopravnímu tlaku:

$$\Delta p_{čLO} = \rho_{20} \cdot g \cdot h_č = 998{,}2 \cdot 9{,}81 \cdot 1 = 9792{,}3 Pa \quad \text{(B4)}$$

K dispozici není dostupný pracovní diagram. Podle diagramu výkonnějšího čerpadla (viz obrázek B1) je ale zřejmé, že při regulaci čerpadla za účelem snížení objemového průtoku zároveň dojde i ke snížení výtlačné výšky čerpadla resp. dopravního tlaku. Tento tlak pak nesmí být nižší než vypočtený potřebný tlak čerpadla.



Obrázek B1: Charakteristika čerpadla

Ohřev kapaliny

Pro ohřev kapaliny v zásobníku je volen malý slídový pás. Je požadován rychlý ohřev vyžadující výkonný ohřívač. Výkonný ohřívač by při následném přihřívání kapaliny během procesu spínal jen na krátké časové intervaly se skokovými odběry elektrické energie, nebo

by jej bylo nutné během procesu značně regulovat. Proto by bylo výhodnější opatřit slabší zdroj tepla, který bude mít pomalejší náběh, ale šetrnější chod. Ať už z pohledu přihřívání kapaliny, tak životnosti dílů z plastických hmot (hadičky, fitinky, těsnění).

Minimální množství kapaliny v okruhu bez ohřevu:

$$m_{voda} = V_{min} \cdot \rho_{20} = 510{,}6 \cdot 10^{-6} \cdot 998{,}2 = 0{,}51kg \tag{B10}$$

Měrná tepelná kapacita vody:

$$c_p = 4180 \frac{J}{kg \cdot K} \tag{B11}$$

Potřebné teplo pro ohřev z 20-ti na 80 °C pro statický objem:

$$Q = m_{voda} \cdot c_p \cdot \Delta t_c = 0{,}51 \cdot 4180 \cdot (80 - 20) = 127{,}8 \cdot 10^3 J \tag{B12}$$

Volená doba ohřevu t_o = 5 min = 300 s

Potřebný výkon ohřívače pro statický objem:

$$P_o = \frac{Q}{t_o} = \frac{127{,}8 \cdot 10^3}{300} = 426{,}1W \tag{B13}$$

Toto platí pro zjednodušující předpoklad konstantní měrné tepelné kapacity, ohřevu neproudící kapaliny a zanedbání tepelných ztrát.

Druhým způsobem výpočtu výkonu ohřívače je pro dynamický systém, kdy se zanedbávají tepelné ztráty v hadičkách a předpokládaný rozdíl teplot mezi vodou v ohřívači a na vratné větvi činí 15 °C:

$$\dot{V} = \frac{P_o}{\rho_{80} \cdot c_p \cdot \Delta t_o} \Rightarrow P_0 = \dot{V} \cdot \rho_{80} \cdot c_p \cdot \Delta t_o =$$

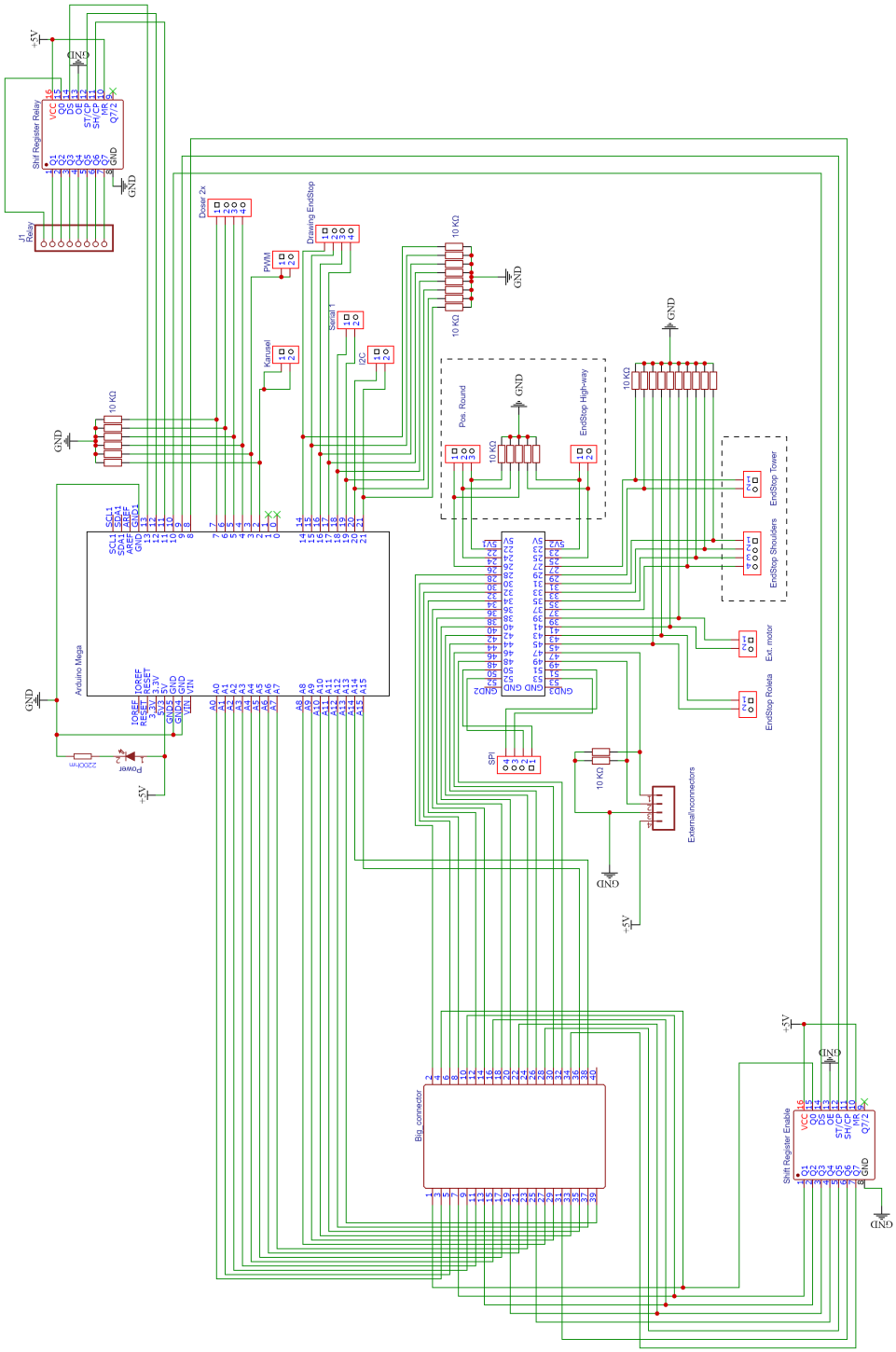
$$482{,}5 \cdot \frac{10^{-6}}{60} \cdot 971{,}8 \cdot 4180 \cdot 15 = 490W \tag{B14}$$

Oba výpočty jsou provedeny pro prvotní ohřev teplonosné kapaliny z teploty 20 °C na 80 °C. Po ohřátí roztoku na požadovanou teplotu bude ohřívač již jen dohřívat kapalinu pro udržení teploty, k čemuž postačuje již menší výkon ohřívače.

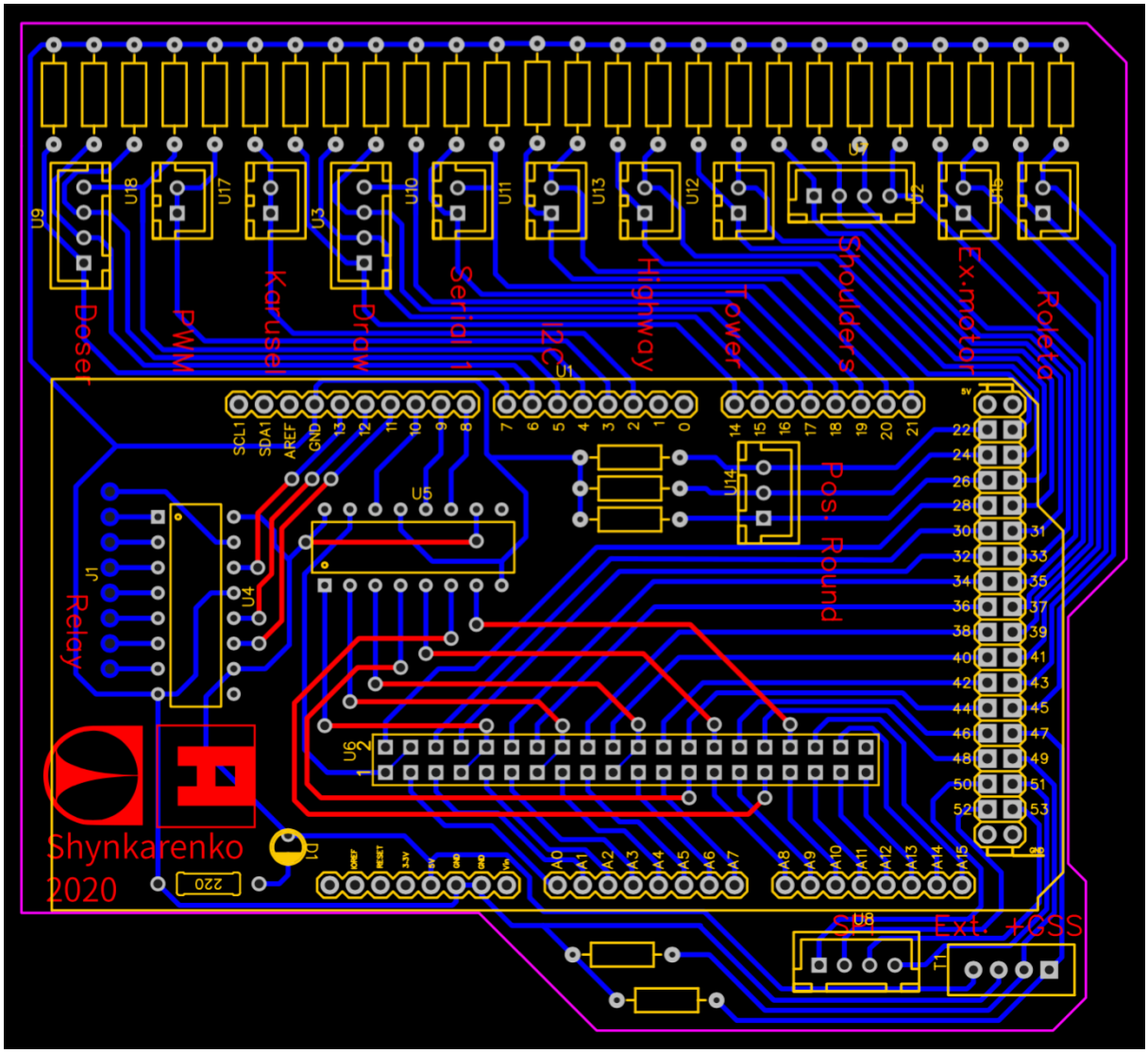
Z katalogu malých slídových pásů je vybrán pás s udávaným tepelným výkonem 500 W a výškou 38 mm, který se montuje na nádoby / potrubí o vnějším průměru 75 mm.

Příloha C

Schéma zapojení a návrh desky plošných spojů pro propojení pinů mikroprocesoru ATmega 2560.



Obrázek C1: Schéma zapojení mikroprocesoru ATmega 2560

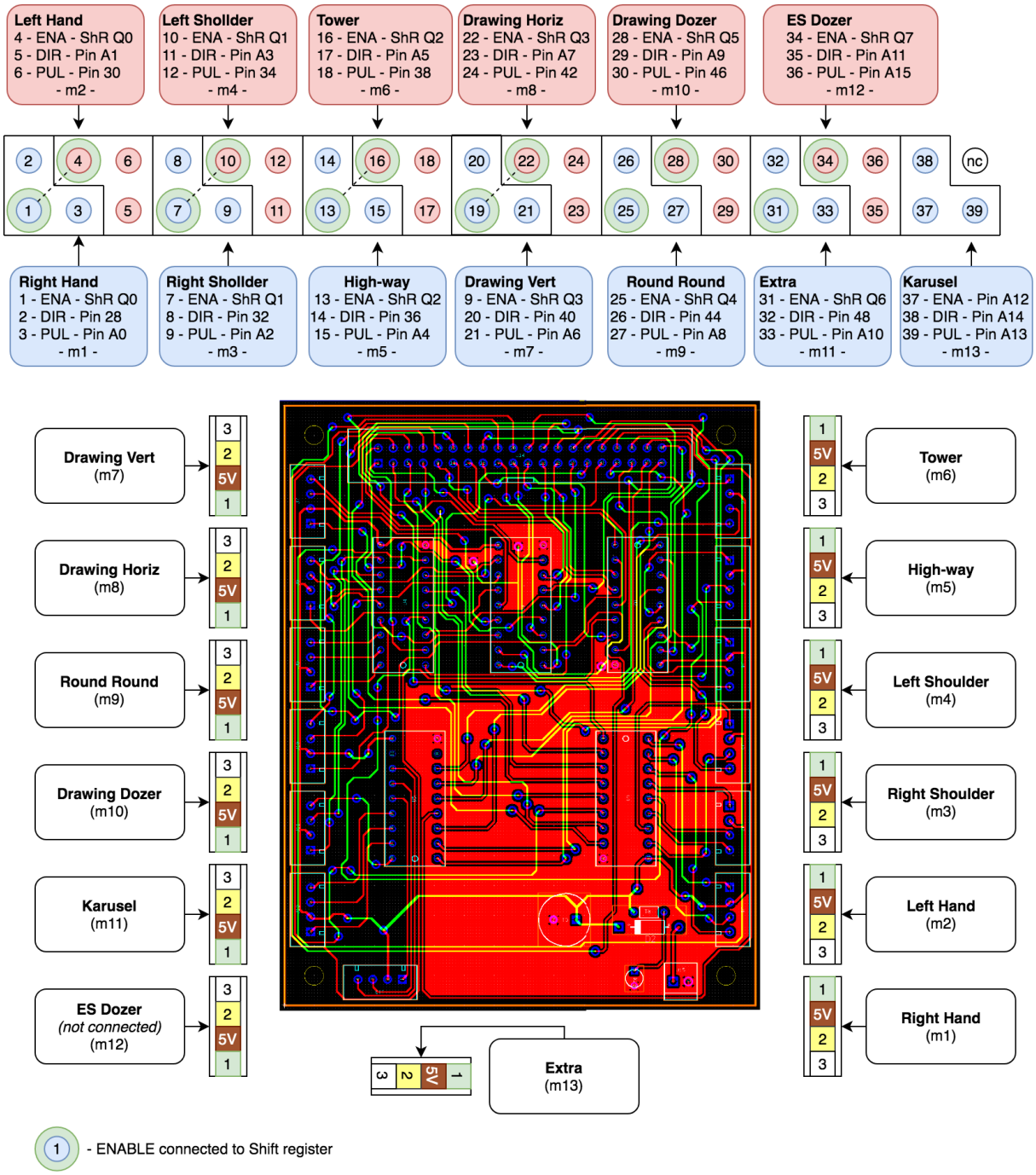


Obrázek C2: Návrh desky plošných spojů

Příloha D

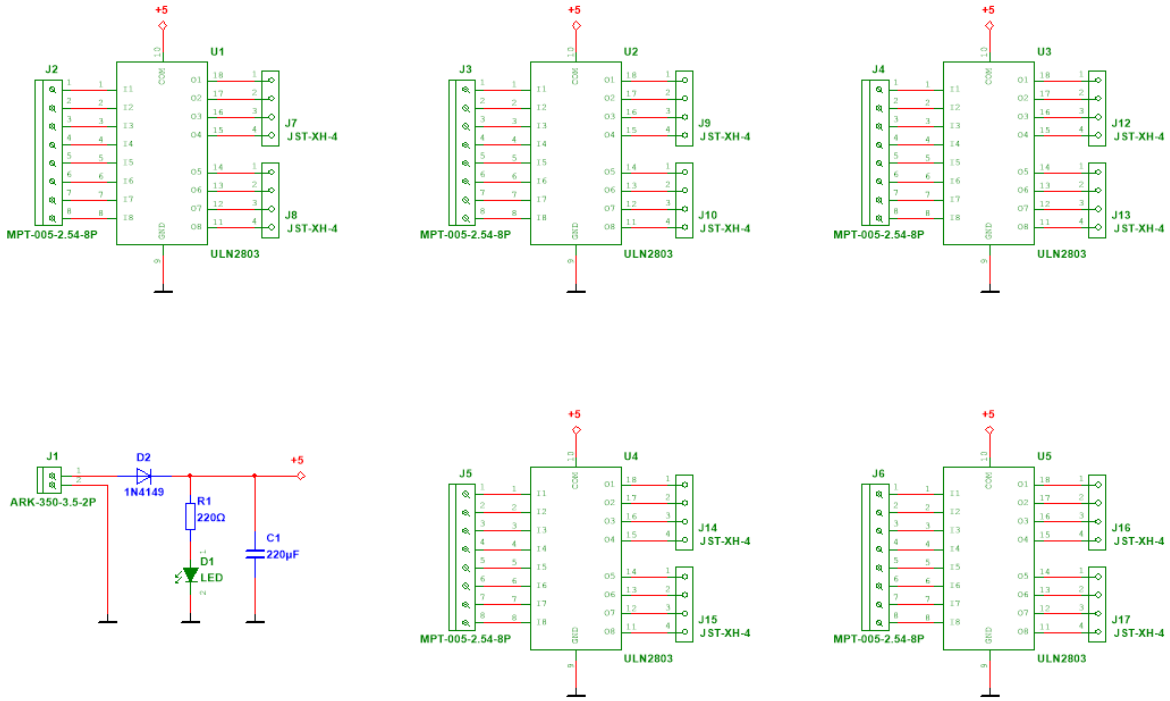
Schéma zapojení tranzistorového pole

a návrh desky plošných spojů.



Obrázek D1: Schéma zapojení tranzistorového pole

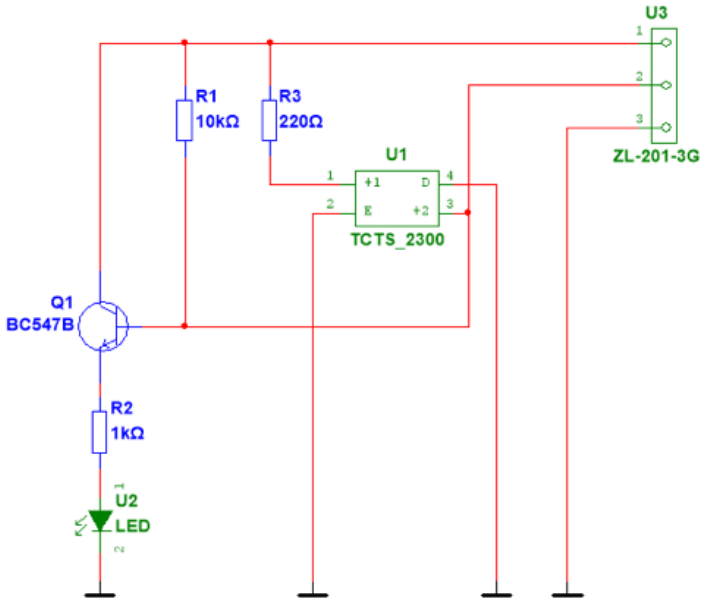
a návrh desky plošných spojů



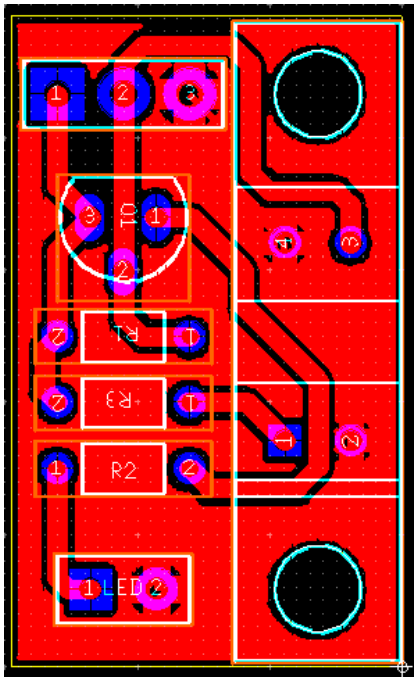
Obrázek D2: Schéma propojení prvků na desce plošných spojů

Příloha E

Schéma zapojení koncového spínače a návrh desky plošných spojů



Obrázek E1: Schéma zapojení koncového spínače



Obrázek E2: Návrh desky plošných spojů

Příloha F

Tabulka příkazů pro komunikační protokol

Tabulka F1: Tabulka pro formovaní příkazů pro skupinu zařízení určených pro výrobu vláken metodou drawing

Drawing						
4x	4x	3x	1x	to end	Command to CALL	Comment

DRAW	HOME	ALL			drawingHorizHoming();
					drawingVertHoming();
					drawingDoserHoming();
						Find Home position for all axis in "Drawing" subsystem

		M01			drawingHorizHoming();	Find Home position for Horizontal axis
		M02			drawingVertHoming();	Find Home position for Vertical axis
		M03			drawingDoserHoming();	Find Home position for "Drawing" doser
	MOVE	M01	A	100	drawingHorizMoveTo(-comPart	Move to absolut position
		M02	-	100	drawingVertMoveTo(comPart5.	Move to relative position in negative direction
		M03	+	100	drawingDoserMoveTo(comPart5	Move to relative position in positive direction
	ENAB	ALL			enableMotor("drawing", tr enableMotor("drawingDoser",	Enable all motors in "Drawing" system
		M12			enableMotor("drawing", true	Enable motors for X,Y axis
		M03			enableMotor("drawingDoser",	Enable doser motor
	SCEN	S01				Do scene named "S01" Go to start position
		S02				Do scene named "S02" Develop 2x fobers
		S03				Do scene named "S03"

Tabulka F2: Tabulka pro formování příkazů pro skupinu zařízení určených k polohování manipulátoru.

HighWay + Round						
4x	4x	3x	1x	to end	Command to CALL	Comment

HWRR	HOME	ALL			`enableMotor("roundRoundTower", false );`
					`enableMotor("highway", true );`
					`highWayHoming();`
					`enableMotor("roundRoundTower", true );`
					`roundRoundHoming();`
						Find Home position for all axis in "HighWay" and "Round"

		M01			`highWayHoming();`	High Way goes home to Karusel side; Round Round disabled !!!
		M02			`roundRoundHoming()`	Round Round goes home to Face position.
	MOVE	M01	a	100	`highWayMoveTo(comPart5.toInt());`	Move to absolute position
		M02	+/-	5	`roundRoundMoveTo(comPart5.toInt());`	Move to relative position in positive/negative direction
	ENAB	ALL			`enableMotor("highway", true );` `enableMotor("roundRoundTower", true );`	Enable all motors in "HighWay" and "Round"
		M01			`enableMotor("highway", true );`	Enable "High Way" motor
		M02			`enableMotor("roundRoundTower", false );`	Enable "Round" motor
	SCEN	S01				Do scene named "S01"
	MPOS	DRW			`roundRoundMoveTo(-1500);` `ADD HighWay !!!! Check Position !!!`	Move RR and HW to Drawing Position
		FCE			`roundRoundMoveTo(0);` `ADD HighWay !!!!`	Move RR and HW to Face Position
		KRS			`roundRoundMoveTo(1500);` `ADD HighWay !!!!`	Move RR and HW to Karusel position

Tabulka F3: Tabulka pro formování příkazů pro skupinu zařízení určených k ovládání manipulátorem

Manipulator						
4x	4x	3x	1x	to end	Command to CALL	Comment

MANI	HOME	ALL			`rightShollderHoming();`
					`leftShollderHoming();`
					`rightHandHoming();`
					`leftHandHoming();`
					`towerHoming();`
						Find Home position for all axis in "Manipulator" subsystem

		M01			`rightShollderHoming();`	**right Shollder** homeing to outer endstop
		M02			`leftShollderHoming();`	**left Shollder** homeing to outer endstop
		M03			`rightHandHoming();`	**right Hand** SET position as HOME
		M04			`leftHandHoming();`	**left Hand** SET position as HOME
		M05			`towerHoming();`	**Tower** goes to HOME position (DOWN)
	MOVE	M01	a	100	`rightShollderMoveTo(comPart`	Move right Shollder to absolute position
		M02	a	100	`leftShollderMoveTo(comPart5`	Move Left Shollder to absolute position
		M03	+	100	`rightHandMoveTo(comPart5.to`	Move right hand to relative position in positive/negative direction
		M04	+	100	`leftHandMoveTo(comPart5.toI`	Move right hand to relative position in positive/negative direction
		M05	a	100	`towerMoveTo(comPart5.toInt(`	Move Tower to absolute position in positive/negative direction

	ENAB	ALL			`enableMotor("hands", true);`
					`enableMotor("sholders", tru`
					`enableMotor("roundRoundTowe`
					`Serial.println("Warring! Ro`
						Enable all motors in "Manipulators" system

		M12	+		`enableMotor("sholders", tru`	Enable "Sholders" motors
		M34	-		`enableMotor("hands", true);`	Enable "Hands" motors
		M05	+		`enableMotor("roundRou` `Serial.println("Warring! Ro`	Enable "Tower" motor
	SCEN	S01				Gathering
		S02				Do scene named "S02"

Tabulka F4: Tabulka pro formování příkazů pro skupinu zařízení určených pro výrobu vláken metodou elektrického zvlákňování

Karusel						
4x	4x	3x	1x	to end	Command to CALL	Comment
KSEL	HOME	ALL			karuselHoming(); esDoserHoming();	Find Home position for all axis in "Karusel" subsystem
		M01			karuselHoming();	Find Home position for Karusel
		M02			esDoserHoming();	Find Home position for Extruder
	MOVE	M01	+	20	karuselRotateSpeed(comPart5	Rotation diraction + speed (+20)
			a	1200	karuselMoveTo(comPart5.toIn	Home + Move to absolute coordinate
		M02			esDoserMoveTo(comPart5.toIn	Move Doser to relative/absolute position in positive/negative direction
	ENAB	ALL			enableMotor("karusel", true enableMotor("esDoser", tru	Enable all motors in Karusel subsystem
		M01			enableMotor("karusel", true	Enable "Karusel" motor
		M02			enableMotor("esDoser", true	Enable "Doser" motor
	SCEN	S01				Zvlaknovaní (Speed karusel, Speed esDoser)
		S02				Do scene named "S02"
	MODE	004				Set amount of bars (4 bars)
		006				Set amount of bars (6 bars)
	NEXT					Next bar
	PREV					Previous bar

Tabulka F5: Tabulka pro formování příkazů pro ovládání relé

Relay				
4X	4x	to end	Command to CALL	Comment
RELA	YCH1	ON		
		OFF		
	YCH2	ON		
		OFF		
	YCH3	ON	`relayOnOff("lightDRAW", true);`	Light on Drawing ON
		OFF	`relayOnOff("lightDRAW", false);`	Light on Drawing OFF
	YCH4	ON	`relayOnOff("lightES", true);`	Light on Electro Spining ON
		OFF	`relayOnOff("lightES", false);`	Light on Electro Spining OFF
	YCH5	ON		
		OFF		
	YCH6	ON		Motor reserved
		OFF		Motor reserved
	YCH7	ON		Motor reserveed
		OFF		Motor reserved
	YCH8	ON	`relayOnOff("hotBlades", true);`	Hot Blade. Hitting ON
		OFF	`relayOnOff("hotBlades", false);`	Hot Blade. Hitting OFF

Příloha G

Testování cytotoxicity Polyesterových materiálů určených pro 3D tisk a přípravu vláken metodou drawing

Testování cytotoxicity materiálů In vitro

Polymerní struna a nosič vyrobený 3D tiskem byly podrobeny *In vitro* testu cytotoxicity z materiálového výluhu s buněčnou linií 3T3-SA myšími fibroblasty. Testování probíhalo dle normy ČSN EN ISO 10993-5 (855220). Norma určuje materiál jako cytotoxický v případě, že viabilita (životaschopnost) buněk inkubovaných s výluhem ze sledovaného materiálu v kultivačním médiu, dosahuje hodnot nižších, než je 70% viabilita buněk oproti negativní kontrole (buňky inkubované v daném plném médiu). (Jiří Hrazdil and Ladislav Rychnovský, 2008)

Materiály a příprava vzorků

Testována byla PCL struna určená pro 3D tisk a vytištěný vzorek vlákenného nosiče pomocí 3D tisku. Struna byla testována v podobě 2 a 5 cm a nosič o průměru 30 mm byl rozdělen na půl a každá půlka následně nastříhána na menší kusy tak, aby měly velikost max 14mm v průměru (24 mikrotitrační destička).

Sterilizace materiálů

Sterilizace probíhala dvěma způsoby pomocí UV záření po dobu 20 minut a pomocí 70% ethanolu (99% ethanol p.a. ředěný do dH_2O) po dobu 30min při pokojové teplotě. Po sterilizaci ethanolem byly materiály 2x opláchnuty roztokem PBS. Následně byly dané vzorky inkubovány s kultivačním médiem (výluh materiálu pro zjištění toxicity materiálu).

Buněčná linie

3T3-SA myšší fibroblasty (ATCC), pasáž 26, nasazeno $1*10^4$ buněk/96well ($1*10^4$/100µl)

Médium

DMEM High Glucose (Dulbecco's Modified Engles Medium, Biosera) obohacené o 10 % fetálního bovinního séra (Biosera), 1 % glutaminu (Biosera) a 1% antibiotik – Pen/Strep Amphotericin B (Lonza).

Experiment

Cytotoxicita výluhem dle normy ČSN EN ISO 10993-5 (85 5220)

- 1. den – nasazení buněk do jamek (100 µl/jamku) o koncentraci 10^4 buněk /jamku (10^4 buněk/ 100 µl/jamku), materiál (struna 2 nebo 5cm i 3D nosič = 24 jamková mikrotitrační destička) s 1ml DMEM
- 2. den – odsátí média z jamek s adherovanými buňkami (na dně jamky) a připipetování výluhu z materiálů – 100 µl/jamku
- 3. den – kolorimetrický metabolický test – cck-8 – 200 µl/jamku, inkubace s buňkami 3 hodiny při 37°C v CO_2 inkubátoru

Tabulka G1: Stupeň cytotoxicity dle viability buněk

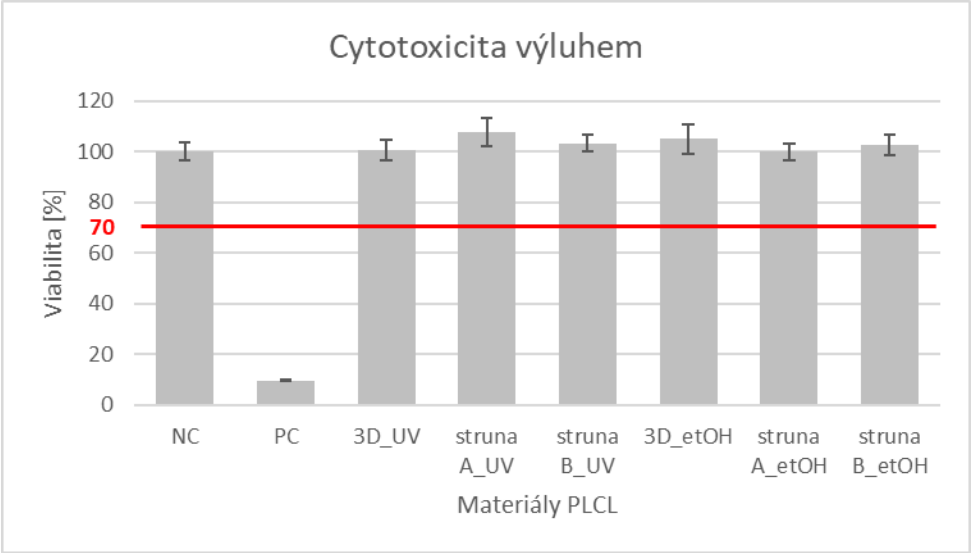
Reaktivita	**Podmínky všech kultivací_viabilita buněk**
Žádná	100% viabilita buněk
Malá	80% viabilita buněk oproti NC
Mírná	50% viabilita buněk oproti NC
Střední	30% viabilita buněk oproti NC
Silná	10% a nižší viabilita buněk oproti NC

U buněčné linie se měří inhibice buněčného růstu, proliferace buněk nebo tvorba kolonií či úmrtí buněk. U materiálů určených pro medicínské aplikace je snížení životaschopnosti buněk o více než 30 % považováno za cytotoxický účinek. (Jiří Hrazdil and Ladislav Rychnovský, 2008)

Výsledky

Kolorimetrický metabolický test – cck-8

Testováno bylo vždy 10 jamek s 3T3 myšími fibroblasty pro jeden materiál/vzorek. Následně byla měřena absorbance inkubovaného roztoku cck-8 (cell counting kit) s buňkami v jednotlivých jamkách při vlnové délce 450nm pomocí spektrofotometru (Synergy HTX multi-mode reader). Z jednotlivých výsledků byla procentuálně vypočítána viabilita buněk, viz graf na obrázku G1.



Obrázek G1: Sloupcový graf viability buněk měřené pomocí metabolického testu (cck-8) po kultivaci 3T3-SA myších fibroblastů s kultivačním médiem DMEM (NC), s 0,5% tritonem v DMEM (PC) a s výluhem z jednotlivých vzorků PCL materiálu při různých sterilizacích (3D=nosič připravený 3D tiskem, Struna A=2cm, a struna B=5cm)

Z grafu na obrázku G1 vyhodnoceného dle normy ČSN EN ISO 10993-5 (85 5220) vyplývá, že zvolené materiály PCL v kultivačním médiu nejsou pro buněčnou linii 3T3 myších fibroblastů toxické.

Závěr

Pro testování cytotoxicity materiálů byly použity PCL struny určené pro tažení vláken z taveniny a 3D tisk materiálů určených pro tkáňové inženýrství. Byl otestován i materiál po průchodu zvlákňovací hlavou (vytisknutý nosič).

Z výsledků měření cytotoxicity pomocí výluhu do kompletního média z testovaných materiálů vyhodnocených dle normy ČSN EN ISO 10993-5 (85 5220) vyplývá, že materiály nevykazují žádný toxický účinek na použitou buněčnou linii 3T3 myší fibroblasty.

Zvolený materiál PCL je tedy možné dále použít pro testování *in vitro* vyrobených nosičů pro testování cytokompatibylity materiálů za účelem použití pro tkáňové inženýrství. Dalším testováním by bylo vhodné sledovat buněčnou adhezi a proliferaci na nosičích vyrobených z testované struny PCL.