

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ
ÚSTAV CHEMIE MATERIÁLŮ

FACULTY OF CHEMISTRY
INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE

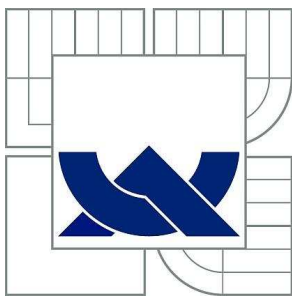
TECHOLOGIE VÝROBY DENTÁLNÍHO KOMPOZITU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PŘEMYSL MENČÍK

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA CHEMICKÁ
ÚSTAV CHEMIE MATERIÁLŮ
FACULTY OF CHEMISTRY
INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE

TECHOLOGIE VÝROBY DENTÁLNÍHO KOMPOZITU

PRODUCTION TECHNOLOGY OF DENTAL COMPOSITE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PŘEMYSL MENČÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Mgr. RADEK PŘIKRYL, Ph.D.

BRNO 2010



Vysoké učení technické v Brně
Fakulta chemická
Purkyňova 464/118, 61200 Brno 12

Zadání bakalářské práce

Číslo bakalářské práce:	FCH-BAK0447/2009	Akademický rok: 2009/2010
Ústav:	Ústav chemie materiálů	
Student(ka):	Přemysl Menčík	
Studijní program:	Chemie a chemické technologie (B2801)	
Studijní obor:	Chemie, technologie a vlastnosti materiálů (2808R016)	
Vedoucí práce	Mgr. Radek Přikryl, Ph.D.	
Konzultanti:	Ing. Vladimír Pavelka	

Název bakalářské práce:

Techologie výroby dentálního kompozitu

Zadání bakalářské práce:

Návrh a realizace způsobu optimalizace systému pro výrobu prepregu dentálního dlouhovláknového kompozitního materiálu.

Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2010

Bakalářská práce se odevzdává ve třech exemplářích na sekretariát ústavu a v elektronické formě vedoucímu bakalářské práce. Toto zadání je přílohou bakalářské práce.

Přemysl Menčík
Student(ka)

Mgr. Radek Přikryl, Ph.D.
Vedoucí práce

prof. RNDr. Josef Jančář, CSc.
Ředitel ústavu

V Brně, dne 1.12.2009

prof. Ing. Jaromír Havlica, DrSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá vývojem a výrobou zařízení pro odtah a dělení prepregu vláknového dentálního kompozitu. Hlavním cílem byl návrh zařízení, tvorba technické dokumentace všech jeho částí, vlastní výroba a sestavení celého zařízení. Finální systém byl testován v průmyslové výrobě.

Abstract

This bachelor thesis deals with the development and processing of the device useful for pulling and cutting of dental fiber reinforced composite prepreg. The main goal was the designing, assembling and testing of the device and making of the technical documentation of its all components. Furthermore, the developed apparatus was implemented and tested in the industrial production.

Klíčová slova

Odtahové zařízení, dentální kompozit, FRC, pultruze, prepreg

Keywords

Pulling mechanism, dental composite, FRC, pulltrusion, prepreg

MENČÍK, P. Technologie výroby dentálního kompozitu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2010. 33 s. Vedoucí bakalářské práce Mgr. Radek Přikryl, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že tuto bakalářskou práci na téma *Technologie výroby dentálního kompozitu* jsem vypracoval samostatně. Použitou literaturu a podkladové materiály uvádím v příloženém seznamu literatury.

.....
Podpis studenta

Obsah

1	Úvod	4
1.1	Co je to kompozitní materiál	4
1.2	Dentální kompozity	5
2	Popis a výroba dentálního kompozitu	6
2.1	Částicové kompozity	6
2.1.1	Popis částicových kompozitů	6
2.1.2	Pojiva	6
2.1.3	Cementy na bázi fosforečnanu zinečnatého	9
2.1.4	Polykarboxalátové cementy	9
2.1.5	Silikátové a skloionomerní cementy	10
2.2	Vláknové kompozity	10
2.3	Značení vláknových dentálních kompozitů od vybraného výrobce (ADM a.s.)	12
2.4	Použití dentálních kompozitů	13
3	Zařízení pro odtah a střih dentálního kompozitu	18
3.1	Vymezení cílů	18
3.2	Vývoj zařízení	18
3.3	Týdenní testovací provoz	26
3.4	Manuál k obsluze a údržbě stroje	28
3.4.1	Zavádění pásky	28
3.4.2	Spuštění stroje	28
3.4.3	Čištění a údržba stroje	29
4	Závěr	30
5	Použitá literatura a internetové zdroje	31
6	Seznam použitých zkratk	32
7	Seznam příloh	33

1 Úvod

1.1 Co je to kompozitní materiál

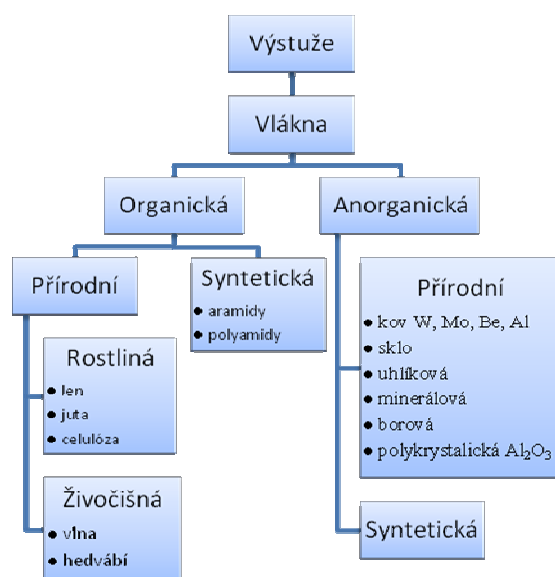
Kompozitní materiál by se dal definovat jako „Materiálový systém, který je složen z více (nejméně dvou) fází, z nichž alespoň jedna je pevná, makroskopicky rozeznatelným rozhraním mezi fázemi, a který dosahuje vlastností, které nemohou být dosaženy kteroukoli složkou (fází) samostatně ani prostou sumací.“ [1]. Tato definice se dá pro naše účely zjednodušit tak, že kompozitní materiál je systém o třech fázích.

Výztuž zajišťuje mechanickou odolnost a absorbuje namáhání materiálu. Povrch výztuže se často upravuje silanizací, což je metoda aktivace anorganických povrchů částečně pokrytých vrstvou oxidu. Silanizace pomáhá aktivovat povrch, tzn. zlepšit adhezi výztuže k pryskyřici. Jedním z nejběžnějších silanizačních činidel je γ -aminopropyltriethoxysilan (APTES) [2]. Dalším možným způsobem aktivace povrchu je plazmatem.

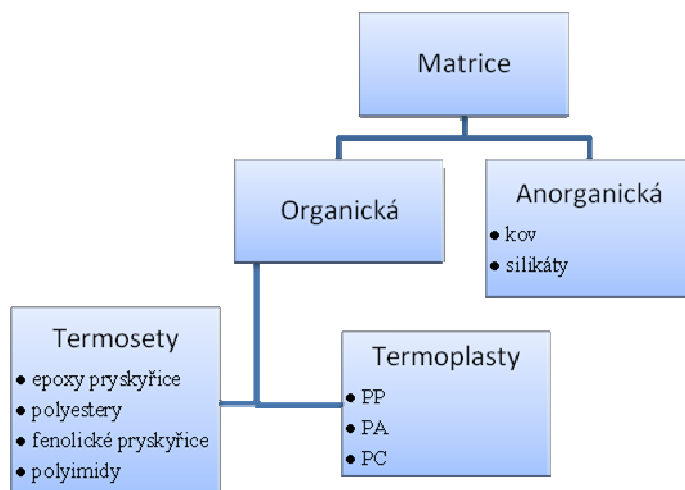
Další fází je matrice, spojující vlákna k sobě do kompaktní podoby a udržující tvar celého kompozitu. Nejdůležitější fází v kompozitu je mezifáze, což je tenká vrstva na molekulární úrovni na rozhraní obou fází, tedy matrice a výztuže, která se svým složením liší od složení stýkajících se fází. Na mezifázi vlastně závisí mechanické vlastnosti výsledného kompozitu, protože zprostředkovává adhezi mezi výztuží a matricí. Je-li adheze dobrá, přenáší se vnější mechanické namáhání z matrice přes mezifázi do vláken, které jsou schopny toto namáhání absorbovat. Pokud je adheze nízká nebo nulová (matrice nepřilne k vláknům) je takovýto kompozit mechanicky namáhán, napětí se nemůže účinně převádět do vláken, mizí efekt vyztužení. U dentálních kompozitů je jeden z nejdůležitějších požadavků na mezifázi její hydrolytická stabilita, protože je kompozit v ústech vystaven agresivnímu prostředí vodivých roztoků.

Kompozitní materiály se mohou lišit podle výztuže na částicové, krátkovláknové, nebo dlouhovláknové. Příklady jednotlivých typů kompozitů jsou popsány v následujících kapitolách. Tato práce se převážně zabývá kompozity dlouhovláknovými.

Vláknové kompozity se mohou dále dělit podle materiálu výztuže (Obr. 1) a podle matrice (Obr. 2).



Obr. 1: Dělení kompozitů podle výztuže



Obr. 2: Dělení kompozitů podle matrice

Kompozitní materiály mají při nízké hmotnosti vysokou odolnost vůči mechanickému namáhání, což jim v řadě aplikací dává výhodu vůči oceli a různým slitinám. Nejen pro to našly uplatnění v řadě průmyslových odvětví, jako je konstrukce trupu lodí, karoserie autobusů a letadel, nebo velké moderní větrné elektrárny. Mezi další ceněné vlastnosti patří korozivzdornost, průsvitnost, transparentnost vůči radiovým vlnám a výborná soudržnost materiálu. Dentisté využívají částicové kompozitní materiály a to se skleněnými nebo křemennými částicemi v polymerní pryskyřici k opravám jednotlivých zubů. Vláknové kompozity se v dentální praxi využívají teprve krátce, a to jako podpěrné konstrukce pro korunky a můstky [3].

1.2 Dentální kompozity

Použití dentálních kompozitů nabývá v dentální protetice stále většího významu. Díky širokému spektru vlastností lze tyto materiály použít jako nejrozumnější v předním, či postranním úseku chrupu (částicové kompozity) nebo pro přípravu post-ortodonických retencí, dlah a jako výztuže můstkových konstrukcí. K tomuto účelu slouží vláknové kompozity FRC (Fiber Reinforced Composite) [4]

Pro kontrolu rentgenem je potřeba použít kontrastní láku, která není vůči RTG záření transparentní. Tuto podmínku splňuje barnaté sklo které je radioopakní. Nezbytnou složkou každého kompozitu s termosetní matricí je iniciátor. V případě dentálních kompozitů se využívá camphorquinone (CQ), což je látka citlivá na světlo o vlnové délce 470 nm a frekvenci mezi $6,4$ až $6,6 \cdot 10^{14}$ Hz (modré světlo) [5]. Matricí dentálního kompozitu je speciální pryskyřice na bázi dimetakrylátu.

V dřívější době se ke stomatologům dostávala zvlášť matrice a zvlášť plnivo. Ti si pak kompozity připravovali sami ve svých laboratořích. Výsledné materiály však neměly zaručené mechanické vlastnosti, z čehož plynula řada nevýhod a komplikací. V dnešní době se distribuují do ordinací hotové, avšak nevytvrzené kompozity – tzv. prepregy. Jde tedy o výztuž naimpregnovanou nevytvrzenou polymerní matricí, která se až při vlastní aplikaci síťuje (vytvvrzuje) aktivací modrým světlem. [6]

Na světě je několik firem zabývajících se výrobou dentálního kompozitu na bázi polymerní matrice, přičemž jedním z výrobců těchto kompozitů je firma ADM a.s. sídlící v Brně. Každá

společnost dodává na trh výrobky pod svými názvy, způsoby aplikace však zůstávají vzhledem k podobným užitým materiálům velice podobné.

2 Popis a výroba dentálního kompozitu

2.1 Částicové kompozity

2.1.1 Popis částicových kompozitů

Částicové kompozity jsou složeny z plniva a matrice. Jako plnivo slouží nejčastěji sklo typu E, S_2 nebo silikáty ve formě kulovitého, destičkového, jehlicovitého ($Mg(OH)_2$) nebo nepravidelného ($CaCO_3$) tvaru o rozměrech desítek až stovek mikrometrů. V důsledku různého obsahu a velikosti plniva, vykazují částicové kompozity širokou škálu mechanických vlastností. Termosetní matrice částicových kompozitů jsou převážně na bázi světlem tvrditelných dimetakrylátů. Další důležitou složkou částicového kompozitu je mezifáze na rozhraní matrice a částicového kompozitu. Ta umožňuje přenos napětí z matrice do částic. Při dobré adhezi částic a matrice je částicový kompozit odolný vůči namáhání v tlaku a zároveň je hydrolyticky stabilní.

Obvyklým příkladem částicového kompozitního materiálu je ve stavebnictví hojně využívaný Portlandský cement, což je směs plniva v podobě písku až malých oblázků vzájemně spojených maticí z vápna, hliníku a železa. Méně obvyklým příkladem kompozitu je i dentální amalgám, kdy plnivem je stříbro-cínový prach a maticí je rtuť. Rtuť rozpustí vrchní vrstvy částic a vytvoří stříbro-cín-rtuťovou slitinu, která ztvdne kolem nezreagovaného zbytku částice.

2.1.2 Pojiva

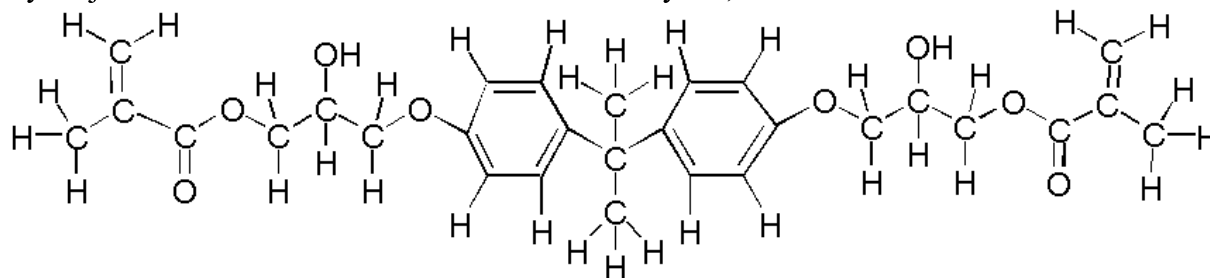
Pro přípravu dentálních cementů se v praxi využívá pouze dvou různých prášků a čtyř kapalin. Jejich možné kombinace a výsledné produkty jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 1).

Tabulka 1: materiály pro dentální cementy [6]

Kapalina	Vyplňující prášek	
	Oxid zinečnatý (ZnO)	Skleněný prach
Kyselina fosforečná (H_3PO_4)	Zinko-fosfátový cement	Silikátový cement + výplňový materiál
Kyselina akrylová (C_2H_3COOH)	Polykarboxylátový cement	Skloionomerní cement + výplňový materiál
Bis-GMA		Cement na bázi kompozitní pryskyřice + výplňový materiál
Eugenol – Kyselina hřebíčková	Oxozinečnatý eugenol + výplňový materiál	

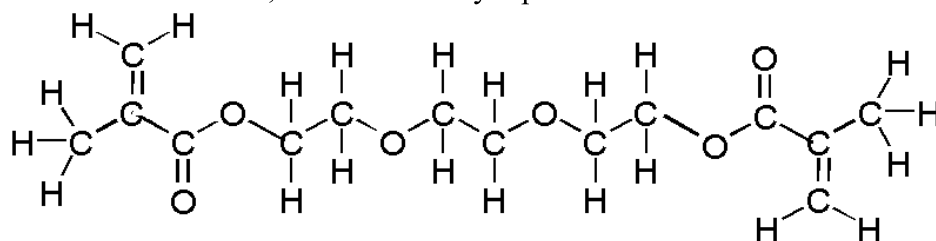
Jak plyne z tabulky, polymerní maticí pro tyto výplně jsou pryskyřice na bázi methyl akrylátové pryskyřice 2,2'-bis-[4-(methakryloxypropoxy)-fenyl]propan (bis-GMA) jejíž strukturní vzorec je na obrázku (Obr. 3) a triethylenglykol dimetakrylát (TEGDMA), jehož strukturní vzorec je na obrázku (Obr. 4). Obě zmíněné sloučeniny jsou podrobněji popsány níže. V menší míře se využívá uretan dimetakrylátová pryskyřice (UEDMA) jejíž

vzorec je znázorněn na obrázku (Obr. 5). Pryskyřice se zpravidla nepoužívají samostatně, nýbrž jako matrice slouží směs několika dimethakrylátů, stabilizátoru a iniciátoru.

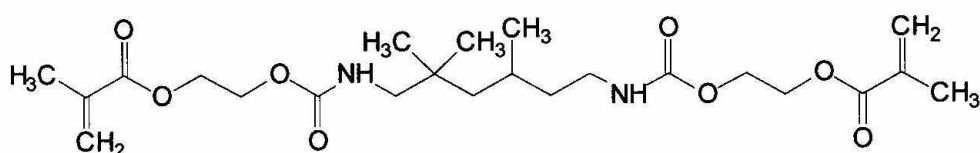


Obr. 3: Bis-GMA [13]

Ve stomatologii se jako matrice nejčastěji využívají pryskyřice, jejichž základem je Bis-GMA. Tato pryskyřice vytváří cementy na kompozitní bázi kdy nenarušuje vrchní vrstvu částic. Částice drží při sobě pomocí adheze a jejich vazba k pryskyřici je zajišťována pomocí mezifáze, nejčastěji na bázi siloxanu. V menší míře se pro částicové dentální kompozity využívá TEGDMA a to zejména v kombinaci s jemně mletými skleněnými částicemi o obsahu 70 až 75%, nebo keramickým plnivem o obsahu 25 až 30 hm %. [7]

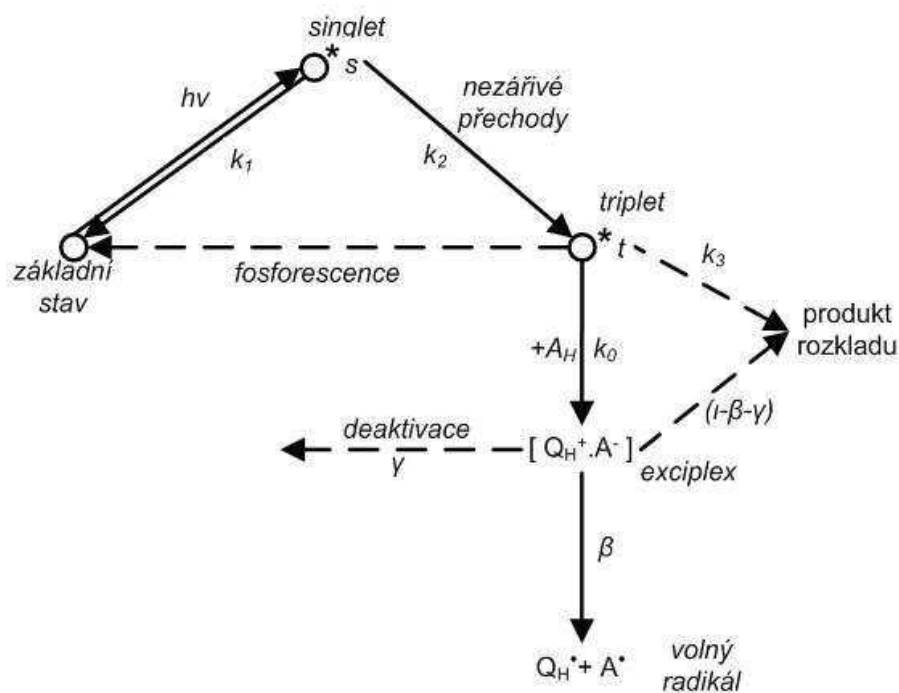


Obr. 4: TEGDMA [13]



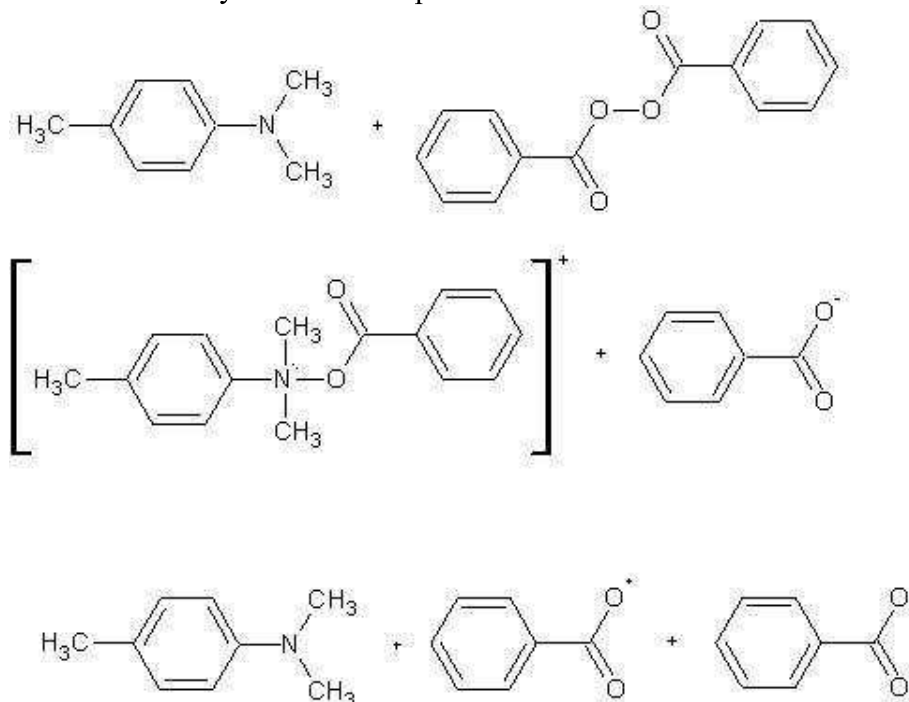
Obr. 5: UEDMA [8]

Jako iniciátory polymerace – vytvrzovací reakce - se standardně využívá camphroquinon (CQ). V kombinaci s 2(N, N-dimethylamino)ethyl methakrylátem (DMAEMA) nebo terciárním aminem vzniká redukční činidlo pro vytvrzování světlem. Tato reakce pro světelné vytvrzení je znázorněna na obrázku (Obr. 6). Reakcí CQ s di-benzoyl peroxidem (DBP) vzniká činidlo pro vytvrzování teplotou. Reakce vytvrzení teplotou je znázorněna na obrázku (Obr. 7). Při polymeraci dochází k fotoinicializaci volných radikálů. Dochází ke konverzi vinylenové C=C vazby v řetězci makromolekuly.



Obr. 6: Iniciace světlem [8]

Testováním se prokázalo že s rostoucí koncentrací bis-GMA v reakční směsi konverze dvojné vazby klesá. To je možno lépe pozorovat při světlem iniciovaných reakcích, protože u reakcí iniciovaných teplem dochází ke zvýšení teploty, čímž dojde i k větší mobilitě radikálů a pokles rychlosti konverze se vyrovnává. Iniciátor může být součástí plniva nebo je přidáván zvlášť. Dalším způsobem aktivace je přídavek vody či jiného rozpouštědla, jenž zahájí reakci. U vytvrzování světlem je iniciátor součástí matrice a polymerace je spuštěna až po aktivaci světelným zářením o specifické vlnové délce.



Obr. 7: Iniciace teplem [8]

Viskozita pryskyřice Bis-GMA je v surovém stavu velmi vysoká a konverze dvojných vazeb v molekule je v porovnání s jinými pryskyřicemi poměrně nízká. To může znamenat jisté problémy se smáčivostí plniva při výrobě kompozitu. Pro odstranění tohoto problému se často přidává malé množství jiného monomeru a to zejména TEGDMA. Ten snižuje viskozitu směsi a zvyšuje reaktivitu dvojných vazeb při polymeraci. I když směs obou zmíněných pryskyřic Bis-GMA/TEGDMA dosahuje ve stomatologii vynikajících výsledků, některé vlastnosti této směsi, především pevnost a ořezuvzdornost, je třeba ještě zvýšit. To je možné přípravou upravené molekuly Bis-GMA kde jsou hydroxylové skupiny nahrazeny skupinou nereaktivní, například triethylsilanovou skupinou, nebo silsesquioxanovým monomerem. Vzniká organo-anorganický hybridní dentální materiál s mnohem lepšími mechanickými vlastnostmi. Dalším problémem při výrobě bývá smrštění (kontrakce) matrice při polymeraci. Ta se eliminuje díky benzenovým jádrům ve struktuře polymeru které smrštění zabraňují. Dalším způsobem jak kontrakci zabránit je využitím vhodného plniva.

Pro zajištění adheze částic plniva k pryskyřici se částice povrchově upravují pomocí silanového činidla, které obsahuje methakrylové skupiny. Ty jsou schopny kopolymerace s matricí za tvorby dimethakrylátového monomeru a jeho funkční skupiny se vážou s výztuží.

Mezi dentální kompozitní materiály se řadí i světlem či duálně tuhnoucí cementy, které se využívají k ukotvení čepů při endodonickém ošetření zubních kanálků. Zubní cementy je možné rozdělit na cementy obsahující kovová a nekovová polymerní plniva.

2.1.3 Cementy na bázi fosforečnanu zinečnatého

Cementy na bázi $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$ jsou jedním z nejstarších a dodnes úspěšně využívaných typů cementů. Využívá se k lepení litých kovových korunek a k tmelení nežádoucích mezizubních mezer. Připravují se smísením 37% roztoku H_3PO_4 s oxidem zinečnatým. Oxid zinečnatý se částečně rozpustí a vytvoří fosforečnan zinečnatý. Ten vytváří matrici, která spojí nezreagované částice dohromady. Po zpracování a po vysušení je velmi pevný a vodě odolný. Práce s tímto materiálem je poněkud náročná, protože cement se musí míchat pomalu aby se zabránilo jeho předčasnému vytvrdnutí. V průběhu míchání je potřeba udržet suché prostředí aby se fosforečnan ve vodě nerozpustil. Kyselina fosforečná je schopná leptat zubní sklovinu, čímž zdrsňuje povrch zubu a cement může přesně vyplnit dutinu a vytvořit mikromechanické spojení typu „zámek a klíč“. V současné době se s nástupem modernějších materiálů využívá méně, zejména z důvodu poměrně malé odolnosti proti opotřebení a neestetičnosti výsledné aplikace. [6]

2.1.4 Polykarboxylátové cementy

Polykarboxylátové cementy jsou novější verzí fosforečnanových cementů. Připravují se smísením oxidu zinečnatého s kyselinou polyakrylovou. Kyselina rozpustí část oxidu zinečnatého a vytvoří matrici. Ta se po vytvrzení stane dokonale nerozpustnou a odolnou proti vodě a agresivnímu prostředí. Polykarboxylátové cementy nedosahují mechanických odolností a vlastností fosforečnanových cementů, ale práce s nimi je mnohem jednodušší, rychlejší a méně dráždí zubní nervy. Jeho příprava musí být taktéž bezvodá aby nedocházelo k pozdější degradaci materiálu a ztrátě transparentnosti výsledné aplikace což by vedlo ke snížení estetičnosti. Tyto cementy se příliš nevyužívají, v malé míře jsou použitelné jako posilující a zpevňující materiál. [6]

2.1.5 Silikátové a skloionomerní cementy

Nejrozšířenější a v dnešní době ve stomatologii nejrozšířenější skupinou cementů představují silikátové a skloionomerní cementy. Sklo se skládá z oxidu křemičitého SiO_2 jež má velmi vysokou teplotu tání. Proto se do skelné směsi přidávají některé oxidy kovů (fluxy) které mají za úkol snížit teplotu tání směsi. Po roztavení této směsi vzniká tavenina s konzistencí hustého sirupu. Jako třetí složka směsi se přidává stabilizátor (uhličitan vápenatý-vápenec), který zaručí stabilitu a odolnost proti vodě a agresivnímu prostředí. Bez použití stabilizátoru se sklo ve vodě rozpouští a vzniká tzv. vodní sklo. Při použití olova coby stabilizátoru má sklo vynikající jasnost a odolnost. Jako dentální materiál však toto sklo nemůže být využito z důvodu zdravotní závadnosti olova. Zákaz použití tohoto skla vydal americký institut Food and Drug Administration (FDA) a řídí se jím nejen Amerika, ale i Asie a Evropa. Využití oxidu bóru jako stabilizátoru v minimálním obsahu 5 hm % dává borosilikátové sklo, které má výbornou odolnost proti teplotnímu šoku. Ve stomatologii se příliš nevyužívá kvůli jeho vysoké pořizovací a zpracovatelské ceně. Jako další stabilizátory se dají využít oxid hlinitý, oxidy alkalických kovů nebo stopové množství zirkonia a titanu. V dentální praxi jsou nejpoužívanější typy cementů vyrobeny ze skla s příměsí fluoridu sodného a stabilizované hliníkem. Vzniká fluor-hlinito-křemičitanové sklo, které je odolné proti vlhkosti i agresivnímu prostředí v ústech. Vlastnosti a barva se mohou částečně ovlivnit přidáním stopových množství jiných kovů.

Skloionomerní výztuže byly použity až po objevení kyseliny akrylové. Smísením kyseliny akrylové a fluoro-hlinito-křemičitanového skla se sklo rozpouští a vzniká pevná matrice, obdobně jako u silikátových cementů. Je to acido-bazická reakce, při které vzniká sůl kovu, ta začne krystalizovat a tvoří cement. Takto vzniklý materiál je téměř transparentní, snadno barvitelný do potřebného odstínu a působí esteticky. Materiál má nižší tvrdost než obdobně připravený cement ze silikátů. Proto je při použití k opravě zubů menší riziko popraskání zbylých hran opravovaného zubu a materiál se lépe přizpůsobuje. Tyto výplně se hojně využívají ve všech oblastech zachovné stomatologie. Další výhodou skloionomerního cementu je dobrá adheze k povrchu tvrdé zubní tkáně, která je zprostředkována iontovou výměnou na rozhraní cementu a zubní stěny. Ze skloviny a z dentinu se vytěsní fosfátové a vápenné ionty a ty jsou nahrazeny polyalkenovými řetězci z materiálu tak aby byla zachována elektrická rovnováha sil. Tento proces v malých rozměrech probíhá po celou dobu životnosti zubní výplně a proto se výrazně snižuje riziko odloupení a poškození cementu. Využívají se i jako fixační látka při lepení korunek. Jejich nevýhodou je krátká životnost a zvýšené nároky na provedení dané aplikace a také zvětšená náchylnost k lomům. [6]

2.2 Vláknové kompozity

Vláknové kompozity se ve stomatologii používají jako materiál pro přípravu celkových zubních náhrad (krátkovláknové kompozity), nebo jako výztuže můstkových aplikací, post-ortodonických dlah, retencí apod. (dlouhovláknové kompozity). V závislosti na typu výsledné aplikace je možné použít jednosměrné či vícesměnné výztuže.

Nejběžnějším způsobem výroby těchto materiálů pultruze. Pultruze představuje metodu pro výrobu kompozitních materiálů tažením za konečný výrobek. Jako výztuž se nejčastěji využívá skleněných vláken v podobě dlouhých jednosměrně orientovaných svazků, splétaných vláken, tkanin či netkaných rohoží. Funkci matrice obecně zajišťuje nejčastěji UP (Unsaturated polyester - nenasycené polyestery) nebo VE (vinyl ester) pryskyřice a v případě dentálních vláknových kompozitů se používá matrice na bázi bis-GMA. Pultruze je

kontinuální proces v principu tvořený několika základními fázemi výroby, které se v průběhu let příliš nezměnily. Jsou to odvíjení vláken, impregnace, tvarování, vytvrzování, odtah a stříhání. V případě dentálních vláknových kompozitů, které se vyrábějí ve formě nezpolymerovaných, předimpregnovaných pásků tzv. prepregů proces vytvrzování odpadá. [11]. Jednotlivé fáze výroby jsou detailněji popsány níže.

Svazky vláken jsou ve formě rovingu nebo vícesměrně orientované výztuže navinuty na cívkách a následně jsou s potřebným předpětím taženy do srovnávacího zařízení, které zajišťuje sdružení svazků před vstupem do impregnační lázně. Obvyklý počet cívek je mezi 10 až 100 cívkami.

V další fázi jsou svazky vláken taženy do lázně, kde se impregnují ve směsi pryskyřice. V lázni jsou zařazeny kladky nebo tyče, které zajišťují lepší smáčení vláken pryskyřicí, což vede ke zlepšení mechanických vlastností výsledného produktu. Impregnaci vláken v lázni je také možno zlepšit zavedením ultrazvuku UAP (Ultrasonically Activated Pultrusion), který způsobí lepší prosycení vláken pryskyřicí. V modernějších technologiích je možné toto smáčení provádět až v dalším kroku.

Z lázně se impregnovaná vlákna vtahují do tvarovací hlavy. Zde se odstraňuje přebytečná pryskyřice, která se následně vrací zpět do lázně k dalšímu použití a pásek získává svůj tvar. Jak již bylo výše zmíněno, u modernějších linek je možné impregnaci provádět teprve v této fázi metodou RIP (Resin Injection Pultrusion), tedy že se výše zmíněná impregnační směs vstříkne do svazku pod tlakem těsně před vstupem do tvarovací hlavy. Výztuž se lépe prosytí pryskyřicí a odstraní se problémy vznikající par, které jinak snižují kvalitu prosycení. Proces je naprosto uzavřený a to dovoluje udržet odpařování rozpouštědla na minimální úrovni.

Následujícím krokem je v případě vláknových prepregů pro dentální účely proces balení. Ten je nejčastěji založen na umístění taženého prepregu mezi jeden či více materiálů se silikonovaným povrchem. Ten zabraňuje přilepení povrchové vrstvy pryskyřice a zároveň umožní snadnější manipulaci stomatologovi při odstraňování obalu.

Odtahové zařízení musí být dostatečně silné, aby dokázalo překonat všechny odpory ve výrobním procesu. Je to hlavní tažná síla celé linky. Odtah může být zajištěn buď dvěma pásy, které mezi sebou odtahují výsledný profil, nebo recipročními tahači, jenž jsou poměrně náročné na synchronizaci.

Závěrečnou fází výroby je řezání profilu na požadované rozměry. Tento řez je většinou zajištěn řezným diamantovým kotoučem. Řezací zařízení se pohybuje stejnou rychlostí a stejným způsobem jako reciproční tahače, tedy přímočarým vratným pohybem. To je důležité z hlediska plynulosti celého procesu. [10]

Pultruzí je možné kromě prepregů vyrábět i celkově vytvrzené kompozity. Jedinou změnou oproti popsanému postupu výroby je zařazení vytvrzovací jednotky mezi fáze tvarování a odtah (uzel balení v tomto případě odpadá). Vytvrzování probíhá pomocí LED diod nebo zářivek o požadované vlnové délce a intenzitě záření, které iniciují chemickou vytvrzovací reakci a vedou k polymeraci pryskyřice.

Výhodou pultruzní metody je poměrně vysoká produktivita linky s možností kompletní automatizace, která se však odráží ve vysokých pořizovacích nákladech. [12]

2.3 Značení vláknových dentálních kompozitů od vybraného výrobce (ADM a.s.)

Dentální kompozity se značí pomocí zkratky obsahující 3 písmena.

1. Typ použití
2. Typ průřezu výztuže
3. Orientace vláken

Nejběžněji se vyskytující vláknové kompozity na dentálním trhu jsou na bázi dimetakrylátové či metakrylátové matrice vyztužené skleněnými vlákny. Ve své práci se zaměřuji na kompozity vyráběné firmou ADM, a.s. Ta vyrábí kompozity s následujícím označením: PFU₂, PFM, SFU, SFM, U₁FM, SRM a PRM.

- P – Kompozit využívaný pro tvorbu můstků
- S – Splint (Využití pro tvorbu dentální dlahy, nebo post-ortodonické retence)
- F – Flat (plochý průřez výztuže)
- R – Round (kruhový průřez výztuže)
- U₁F – Ultra flat (ultra tenký průřez výztuže)
- U₂ – Jednosměrně orientovaná vlákna výztuže
- M – splétané vlákna výztuže, tzv. „pletenec“

Průměrné mechanické vlastnosti vláknových dentálních kompozitů jsou znázorněny v následující tabulce (Tabulka 2)

Tabulka 2: Mechanické vlastnosti vybraných vláknových dentálních kompozitů[319]

Vlastnost	Typ produktu	
	SFU, UFM, SRM	PFU, PFM a PRM
modul pružnosti za sucha [GPa]*		
tah	15-20	17-30
tlak	17-20	17/30
ohyb	16-20	17-31
pevnost za sucha [MPa]*		
tah	340-780	450-1200
tlak	320-540	430-912
ohyb	330-680	430/1250
deformace při lomu [%]*		
tah	4,5-3,2	3,8-3,1
tlak	2,8-1,8	2,3-1,8
ohyb	4,3-3,2	3,6-3,3
modul pružnosti za vlhka [GPa]**		
tah	15-20	17-30
tlak	16-20	17-30
ohyb	16-20	18-31
pevnost za vlhka [MPa]**		
tah	310-780	450-1200
tlak	280-540	400-912

ohyb	350-680	420-1250
deformace při lomu [%]**		
tah	4,8-3,2	3,9-3,1
tlak	2,9-1,9	2,8-1,89
ohyb	4,5-3,3	3,6-3,3
difuzní koeficient vody [$10^{-9} \text{ cm.s}^{-1}$]		
	1,2	1,1
rozpustnost ve vodě [mg.cm^2]		
	0,03	0,02-0,06

*Hodnoty měřené za sucha po vytvrzení $t = 23^\circ\text{C}$ a relativní vlhkost (RV) = 75%

**Hodnoty měřené za vlhka je po 100 hodinách ve vodě při teplotě $t = 85^\circ\text{C}$ následované sušením po dobu 24 hodin při $t = 100^\circ\text{C}$, měřeno při $t = 23^\circ\text{C}$, Rv 75%

Dentální kompozity jsou vytvořeny tak, aby se jejich vlastnosti blížili vlastnostem přírodních zubních tkání.

2.4 Použití dentálních kompozitů

V této kapitole je uvedeno několik příkladů praktického použití a aplikace dentálních kompozitů.

Po použití rovnátek mají zuby tendenci se vracet zpět do původní, nesprávné polohy. Tomu se dá zabránit použitím post-ortodonické retence, která udrží zuby v požadované pozici. Příklad aplikace je na obrázku (Obr. 8). Post-ortodonická retence je tvořena vláknovým kompozitem jehož povrch je chráněn částicovým kompozitem. Aplikuje se na vnější nebo lépe vnitřní stranu chrupu. Nejříve se změří délka dlahy pomocí voskového pásku a pomocí rubberdamu a klínek do mezizubních prostor se zajistí suché pracovní pole. Aplikační oblast se vyčistí použitím etching gelu (36% roztok H_3PO_4) s následným opláchnutím vody a vysušením proudem vzduchu. Do oblasti, kde bude aplikovaná dlahy se nanese malé množství částicového kompozitu (flow kompozitu) s nízkou viskozitou. Vláknový kompozit, prepreg, o požadované délce se vyjme z ochranných obalů a naadaptuje se do tenké vrstvy flow kompozitu po celé délce aplikační oblasti, včetně mezizubních prostor. Takto připravený vláknový kompozit se vytvrdí pomocí modrého světla o požadované intenzitě a vlnové délce. Po vytvrzení se na povrch vláknového kompozitu nanese malá vrstva flow kompozitu a vytvrdí se pomocí modrého světla. Tato hladká vnější vrstva chrání vláknový kompozit před poškozením během udržování ústní hygieny. Povrch dlahy se finálně vyleští.



Obr. 8: Vestibulární dlahy vyztužená vícesměrným vláknovým kompozitem [5]

Produkt určený k postortodonickým retencím se má označení zkratkou SFU což je plochý kompozit z rovných vláken používaný na dlahy a je prozatímní zubní náhradou. Používá se při ztrátě zubu, kdy se do díry po chybějícím zubu vkládá tento kompozitní materiál, ne jako primární náhrada zubu, ale spíše jako opora proti posunutí okolních zubů a deformaci chrupu. To je v dentální praxi velmi důležitý krok z hlediska udržení správné kompozice chrupu. Aplikace je v mnoha ohledech podobná aplikaci dentálního kompozitu popsáno v předchozím odstavci. Příklad použití je znázorněn na obrázku (Obr. 9). Stěny zubů sousedící s překlenovanou dírou se důkladně očistí a vysuší. Naměří se délka potřebného kompozitního pásku tak, že se proužek hedvábí opře o vnitřní strany bočních zubů a lehce ohne do prostoru díry. Poté se části skloviny bočních zubů, na které bude kompozit přiložen naleptají a na takto připravenou plochu se nanese adhezivum. Pásek prepregu se vyjme z obalu, odstraní se z něj krytí a podle délky zkušebního pásku se ustříhne. Takto připravený kompozit se vloží po vzoru zkušebního pásku, ohne koncem vždy na naleptané místo a podle podmínek uvedených v předchozím odstavci se vytvrdí. V takto vzniklém přemostění zubů se však vyskytují hrany a mezery. Proto se takto vytvrzený vláknový kompozit ještě zatěsňuje a zpevní tenkou vrstvou kompozitu částicového, který vyrovná ostré přechody a mezery mezi zubem a přiloženým dentálním kompozitem a nanesený částicový kompozit se opětovně vytvrdí. Poslední fází je zabroušení a vyleštění této kompozitní zálohy, což má účel jak ve zvýšení odolnosti kompozitu, tak i kosmetický účel. Jak již bylo zmíněno, tento tip kompozitu nemůže v principu sám o sobě nahradit chybějící zub, slouží jen do doby, než dojde k implantování plnohodnotné zubní náhrady.



Obr. 9: Záloha za zubní náhradu [5]

Produkty nesoucí obecné označení PFM jsou ploché kompozity ze splétaných vláken používané na zubní můstky. Způsob ustavení kompozitního pásku je znázorněn na obrázku (Obr. 10). Tato aplikace tedy slouží k vytvoření úchyty na plnohodnotnou zubní náhradu. Proces může probíhat přímo v ústech nebo nepřímě mimo ústní dutinu. Přímá metoda může být provedena dvěma způsoby. První se používá v případě fraktury zubu, přičemž kořen a krček zůstaly zachovány. Výčnělek zubu se zbrousí do nízkého válce. Naměří se obvod takto vzniklého výčnělku, přičemž výsledná délka vláknového kompozitu musí být lehce delší. Tento výčnělek se zaktivuje a vysuší a na zaktivovaný povrch se nanese částicový kompozit. V průběhu zákroku je potřeba zabránit přístupu vytvrzovacího záření. Prepreg se ustříhne na požadovanou délku, obnaží se od krycího papíru a fólie a opatrně se pomocí

pinzety zasune ze strany sousedního zubu. Podle již výše popsaných pravidel pro vytvrzování modrým světlem se nejprve opatrně vytvrdí část která je přilnutá ke stěně sousedního zubu tak, aby nedošlo k ozáření zbytku pásku. Pomocí pinzety se pak tento kompozit omotá kolem výčnělku, vytvrdí a pomocí dentální brusky vybrousí. Na vzniklou konzolu se následně dodělá plnohodnotná zubní náhrada z polymethylmethakrylátu.

Druhá metoda se využívá pokud dojde k totální ztrátě zubu. V tomto případě je postup stejný jako u dříve zmíněné zálohy za zubní náhradu. V závěru zákroku se vybrousí zubní náhrada z PMMA rozměrově shodná s dírou a se zábrusem aby se přesně opřel o můstek vytvořený dentálním kompozitem. Zubní náhrada se zalepí adhezivem, vytvrdí a vyleští.

Příprava zubní náhrady mimo ústní dutinu se provádí metodou inlejového můstku v případě totální absence zubu. Postup má přesná pravidla a provádí se stejně jako keramické inleje. Sousedící zuby se preparují skříňkovou preparací s hladkými stěnami, avšak při preparaci či zabrušování nesmí být narušen dentit zubu, v němž je adheze mnohem slabší. Oblast díry a sousedních preparovaných zubů se otiskne do silikonové nebo polyetherové otiskovací hmoty, čímž se vytvoří negativní tvar problematické oblasti. Z negativního modelu se vytvoří „kamenný model“ oblasti zubů na kterou se bude v laboratoři připravovat zubní náhrada. Oblast díry se v modelu izoluje vrstvou gelu a do drážky vytvořené v sousedních zubech se odměří pásek dentálního kompozitu a pomocí pinzety se z něj odstraní ochranný papír a fólie. Obnažený prepreg se pomocí pinzety vloží do vybroušeného kanálku zubů sousedících s dírou na modelu. V požadované oblasti se usadí a uvede do žádaného tvaru. Někdy pro zlepšení mechanických vlastností se do oblasti díry vkládá silikonová výložka. Prepreg se částečně vytvrdí pinzetou se vyjme ze zubního modelu. Na místa kontaktu kompozitu a skutečné zubní tkáně se nanese tenká vrstva částicového kompozitu a připravený vláknový kompozit se zasadí do drážky s adhezivem a dentální špachtlí se uhladí. Takto vložený můstek se společně s částicovým kompozitem vytvrdí zářením. Do hotové kostry se do oblasti díry vymodeluje plastová zubní náhrada. Vymodelovaná zubní náhrada i kompozitní kostra se zabrousí v oblastech svých styčných ploch, vyčistí a na styčné plochy se zuby se nanese vrstva adheziva a gelu používaného před cementováním. Vybroušené kanálky se dolepí dentálním cementem, jehož přebytek se po zatvrdnutí odstraní špachtlí. Na závěr se celkový komplex zabrousí a vyleští.



Obr. 10: Kompozitní můstek [5]

Další dentální kompozit se označí jako PFU a je to plochý kompozit z rovných vláken používaný na opravy. Úkolem tohoto typu dentálního kompozitu je oprava poškozených celkových náhrad tzv. zubních protéz. Princip zpevňování zubní protézy je ilustrován na obrázku (Obr. 11). Výroba nové celkové náhrady by byla příliš drahá a proto se používají v případě jejich poškození prasklinou či jejich úplného rozlomení. Pro prasklou nebo poškozenou protézu se vyrobí kamenný podklad, do kterého se celková náhrada uchytí a ustaví se tak přesná poloha, jaké se má po odstranění praskliny dosáhnout. Podklad je třeba izolovat, aby při zákroku nedošlo k přilepení protézy k podkladu. Oblast praskliny se zbrousí a kolmo na prasklinu se vyříznou kanály pro uchycení kompozitu o délce 5 mm a šířce 0,2 mm. Kanály se vyplní částicovým kompozitem a zabrání se přístupu jakéhokoli záření. Podle zkušební pásky se odměří a nastříhá potřebný počet pásek FRC pásků z nichž se pomocí pinzety odstraní krycí papír a fólie. Obnažený prepreg se vloží do kanálů a lehce přitlačí, aby došlo k co nejlepší adhezi. Při úplné zlomenině celkové náhrady je potřeba vytvořit kanál a tento postup aplikovat po celé délce praskliny. Následně se preparovaná část kompletně zakryje základní pryskyřicí která zpolymeruje podle podmínek předepsaných samotným výrobcem dentálního prepregu. Výsledný povrch už není nutno dále upravovat broušením ani leštěním.



Obr. 11: Oprava zubní protézy [5]

V případech, kdy dojde k úplné ztrátě zubní korunky a zbývá pouze kořen zubu, který už se ovšem nedá zbrousit do výčnělku a ovinout dentálním kompozitem pro vytvoření nové zubní korunky, se používá kompozit s označením PFU, což je pro tento účel tenký, již vytvrzený kompozitní čep znázorněný na obrázku (Obr. 12). Tato metoda slouží jako polymerní alternativa doposud využívaného kovového kořenového čepu, který slouží jako náhradní spojnice mezi kořenem zubu a nově vytvořenou zubní korunkou. Kořen zubu se navrtá a pomocí zkušební tyčinky z materiálu Gutta-percha se zjistí hloubka kanálu. Vnitřek díry se zlehka naleptá a vysuší vzduchem. Kanál se naplní částicovým kompozitem, který smáčí povrch díry. Polymerní čep se vyjme pinzetou z plastového pouzdra, podle zkušební tyčinky se zkrátí na požadovanou délku. V tuto chvíli se kompozitní čep pokryje tenkou vrstvou dentálního cementu a zasune se do kanálu. Vláknový kompozit i dentální cement se vytvrdí a tím se připraví k aplikaci náhradní syntetické zubní korunky.



Obr. 12: Kompozitní čep [5]

V případech, kdy je poškození zubu již tak vážné, že je nezbytný rozsáhlý a složitý zákrok slouží dentální kompozit UFM což je zkratka pro extrémně plochý kompozit ze splétaných vláken zobrazený na obrázku (Obr. 13). S výhodou se využívají zejména na místech velkých poškození zubní korunky nebo špatně přístupných místech a je to opora pro tvorbu nové zubní korunky. Je to jedna z nejsložitějších metod použití dentálního prepregu. Zubní kořen se z vrchní části naleptá pro aktivaci povrchu a lepší adhezi zubní tkáně ke kompozitu, a následně vysuší vzduchem. Na aktivovanou oblast se nanese souvislá vrstva částicového kompozitu a vytvrdí. Nanášení částicového kompozitního adheziva a jeho následné vytvrzování se opakuje, dokud nevznikne malý čep. Obvod tohoto čepu se odměří zkušebním páskem. Čep se následně pokryje vrstvou nevytvrzeného částicového kompozitu a zabrání se dalšímu kontaktu s jakýmkoli zářením. Podle délky zkušebního pásku se připraví délka dentálního kompozitu, ten se pomocí pinzety se umístí se po obvodu čepu, vyvine se potřebný tlak pro co nejlepší adhezi s částicovým kompozitem na povrchu a takto připravený prepreg se vytvrdí. Postup ovíjení čepu kompozitním prepregem pokračuje do vzniku dostatečného objemu nové zubní korunky a na vrchní plochu se nanese větší množství částicového kompozitu, který po vytvarování a následném vytvrzení vytvoří náhradní sklovinu a žvýkací plošku zubu. Pokud se klade důraz na zvýšenou pevnost zubu, nebo se předpokládá silnější opotřebení, je možné nanést na obvod ještě jednu vrstvu dentálního prepregu a vytvrdit. Na takto vytvořenou korunku se nanese tenká vrstva kompozitu C&B podle pokynů výrobce a delší dobu vytvrdit speciální lampou. Na závěr se zubní náhrada obrousí a vyleští zubařskou bruskou. [9]



Obr. 13: Tenký dentální kompozit [5]

3 Zařízení pro odtah a stříh dentálního kompozitu

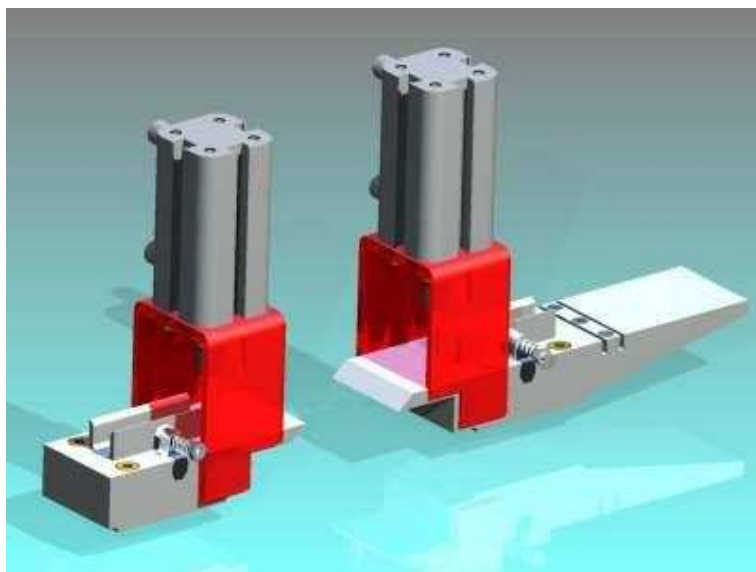
3.1 Vymezení cílů

Společnost ADM, a.s. sídlící na ulici U Vodárny 2 v Brně se zabývá výrobou dentálního kompozitního prepregu, nazývaného DentapregTM (dále pásku) pultruzní metodou. Pro tento účel vlastní menší výrobní linku, která je v neustálém vývoji. Mým úkolem bylo vymyslet a sestavit odtahové a stříhací zařízení pro výrobu dentálního prepregu, které by mělo nahradit dosavadní odtah, jež byl zprostředkován řetězovým převodem poháněným elektromotorem s ozubeným kolem. Stávající odtah má dvě nevýhody.

- Systém není kontinuální, protože při dojetí řetězu na konec své dráhy je potřeba vyjmout pásek z čelisti, přesunout tažnou čelist zpět do výchozí polohy, pásek opět upnut a celý proces neustále opakovat.
- Druhou nevýhodou je absence automatického stříhu. Stříh na požadovanou délku pásku je prováděn ručně nůžkami. Požadavkem byl návrh a realizace stříhu prepregu za kontinuálního odtahu.

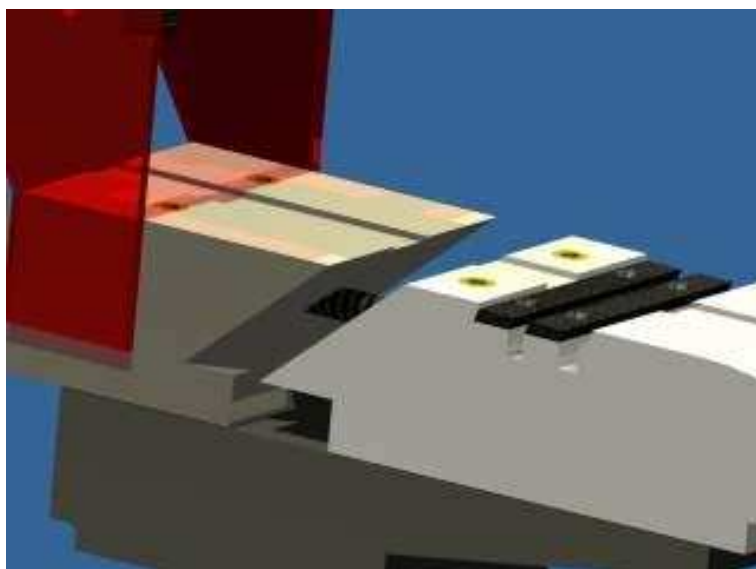
3.2 Vývoj zařízení

První idea nového řešení byla vytvoření odtahu pomocí recipročních odtahových jednotek. To obnáší výrobu dvou pneumatických upínačů, jež se přímočarým vratným pohybem pohybují proti sobě. V prvním kroku drží pásek první upínač. Před koncem jeho dráhy přichytává pásek i druhý upínač a po 5mm společného odtahu končí dráha prvního upínače, který pásek pouští a vrací se zpět. V momentě dosažení druhé polohy upínače (maximální vzdálenosti od sebe) chytá prepreg opět první upínač a po uražení 5 mm společné dráhy druhý upínač prepreg pouští a vrací se zpět. V této fázi tlačí první upínač pásek pod druhým upínačem vpřed. Cyklus se pak neustále opakuje. Posuv odtahu byl realizován dvěma kusy Lineárního vedení Kuroda SG3310A. Stříh měl být realizován přímo na pravém vozíku na němž se nachází druhý upínač. Břit měl být přímo součástí tohoto vozíku a samotný stříh měl být realizován řeznými kotouči, které měly být připevněny z boku vozíčku kolmo na směr pohybu pásku. Podle této myšlenky byl vytvořen první návrh dle obrázku (Obr. 14). Stranová fixace pásku byla realizována ploškami na vrchní straně vozíků, z nichž jedna byla pevná a druhá stavitelná pomocí šroubu a pružiny. Přejít mezi vozíky byl realizován pomocí šikmých ploch a toto řešení do dalších verzí přetrvalo. Tato koncepce nebyla reálná z důvodu velmi malých rozměrů a z toho plynoucí přílišné náročnosti výroby.



Obr. 14: První verze odtahu

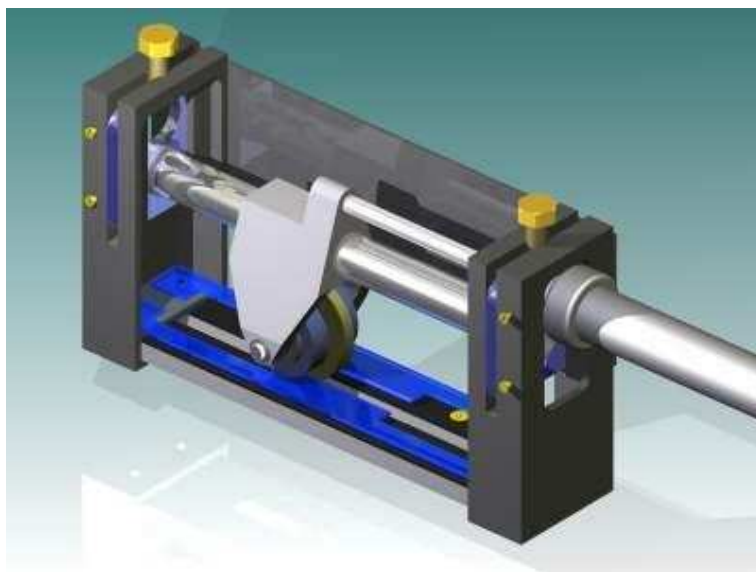
První úprava byla provedena na pravém vozíku, směřovala k možnosti ladit délku pásku a tedy možnosti posouvat vzdálenost mezi pneumatickou čelistí a stříhem. Vozík byl rozdělen nejprve na dvě a později z důvodu tvarové náročnosti výrobku na 3 části, První je spodní nosná část pod názvem *Spodek*, která má na své vrchní části rybinovou lyžinu. Přední vrchní část nazvaná *Vrch* drží pneumatický píst a má rybinovou drážku. Třetí, zadní vrchní část nazvaná *Rybina* má vyfrézované otvory pro upevnění dvou břitů za sebou orientovaných stejným směrem. Následně měl být na tuto část upevněn řezací mechanismus. I tato část má rybinovou drážku pomocí které se zasadí do lyžiny spodní nosné části a aretuje se šroubem který prochází z vrchu celou vrchní částí (*Rybinou*) a opře se o část spodní - *Spodek*. Části *Vrch* a *Rybina* jsou spolu spojeny pomocí šroubu M5 procházejícího oběma částmi, který umožňuje přesné ustavení vzdálenosti mezi pneumatickou čelistí a břity stříhu. Hlava šroubu je v části *Vrch* a je zajištěna pojistným kroužkem proti vysunutí. Toto rozdělení je znázorněno na obrázku (Obr. 15). V tomto řešení však není odstraněn problém s přílišnou náročností výroby a objevuje se problém podoby a uchycení stříhacího mechanismu.



Obr. 15: Druhá verze odtahu

Protože společnost ADM, a.s. vyrábí pásy o různých délkách ale konstantní šířce, bylo možno nahradit stranové fixační plošky na vrchní straně součásti pouze drážkou o šířce pásku, čímž se odstranil zbytečně složitý mechanismus dvou plošek s pružinovým přitlakem. Na hřídel pneumatického přitlaku byla přidána přitlačná část s vystouplou ploškou (součást *Kostka*), která měla šířku vyfrézovaného výstupku na povrchu tak, že výstupek přesně zapadal do drážky v *Rybině*. Další úpravou bylo vylepšení aretace obou vrchních částí vůči *Spodku* tak, že aretační šrouby byly přidány i do části *Vrch*. Stříh měl být realizován způsobem dvou kotoučů, které se za sebou otáčejí a posouvají po břitech. Odstříhnou tedy část pásku, která je omačkaná od čelistí a je nepoužitelná. Tyto kotouče a způsob řezu byl převzat z řezačky na papír DAHLE profesional 550, kdy se blok kotouče skládá z řezacího kotouče z tvrdokovu a z pryžového kolečka, jenž je menšího průměru než řezací kotouč. Pryžové kolečko se odvaluje po břitu. Asi 2 mm nad břitem leží plastový přitlak, který po stisknutí pryžovým kolečkem dolehne na břit a aretuje tak stříhaný předmět proti pohybu. Pružina tiskne řezací kotouč k hraně břitu, kotouč se tedy při pohybu po břitu otáčí spolu s kolečkem pryžovým a vyvíjí tak lepší řezný efekt než klasický nůžkový způsob. Toto zpracování stříhu však bylo shledáno příliš složité na to, aby bylo přímo zabudováno do součásti Rybina. Proto byla do části Rybina pouze vyfrézována příčná drážka do které měl být pomocí dvou šroubů uchycen celý stříhací mechanismus.

Stříhací mechanismus se skládá z *Vložky stříhu*, která má uprostřed drážku pro vedení řezacích kotoučů a po bocích prostor pro uchycení břitů pomocí šroubů. Jak plyne z obrázku (Obr. 16), v této verzi jsou již břity otočeny proti sobě a řezací kotouče se pohybují mezi nimi, čímž je dosaženo úspory prostoru a tím minimalizaci stříhaného odpadu. Po ustřížení vypadává odpad otvory na krajích drážky ve *Vložce*. Na bocích *Vložky* jsou připevněny dva *Boky*, které mají funkci nosné konzoly. Ty se na *Vložku* nasadí, dovnitř se vloží distanční podložka a na podložku se položí plastové přitlaky. To vše je spojeno pomocí šroubů vedoucích ze spodu. Břit má výšku 1,5 mm a distanční podložka 4 mm. Tím vznikne prostor pro prostrčení kompozitního pásu. Na vrchu je vodící tyč stříhu, která je na obou koncích zasazena do držáků, které jsou volně uloženy v zárezu *Boku*. Středová tyč je proti posunutí jistěna hřídelovými pojistnými kroužky. Protože je třeba na pryžová přitlačná kolečka vyvinout při stříhu určitý tlak, aby přitlačila plastové díly k pásu a tím ho zajistili proti nežádoucímu posuvu, jsou z horní části *Boku* vedeny šrouby, které potřebný tlak vyvinou. Tím je tlak regulovatelný a dá se nastavit podle potřeb. Aby nedocházelo k axiálnímu posuvu držáků vodící hřídele, je z boční části zárez zakryt vzpěrami, které jsou k *Boku* upevněny pomocí čtyř šroubů. Záručně zároveň vyztužují celou konstrukci, přitom avšak nevádí pohybu stříhacího mechanismu. Stříhací mechanismus je konzola držící proti sobě orientované dva bloky stříhacích kotoučů, mezi nimiž je silikonový kroužek zastupující funkci slabé pružiny. Klasická pružina v tomto případě nemohla být použita z důvodu nedostatku místa mezi kotoučovými bloky. Původně měl být mechanismus stříhu svařen z ocelových trubek ale z důvodu přílišné náročnosti výroby byl tvar pozměněn a tvar výrobku byl vyfrézován z duralu. V horní části Stříhacího mechanismu je vodorovný závit pro hřídel pneumatického pístu FESTO typu CD85N20-100-B o délce zdvihu 100 mm. Píst je našroubován v držáku vodící hřídele. Podle předpokladu měl mít pásek po ustřížení dostatečnou tuhost aby se při pohybu vpřed neohnul a přešel na druhou stranu *Vložky stříhu* a na druhý břit, což se ukázalo mylné. Pásek se ohýbal a zasekával se o hranu břitu.

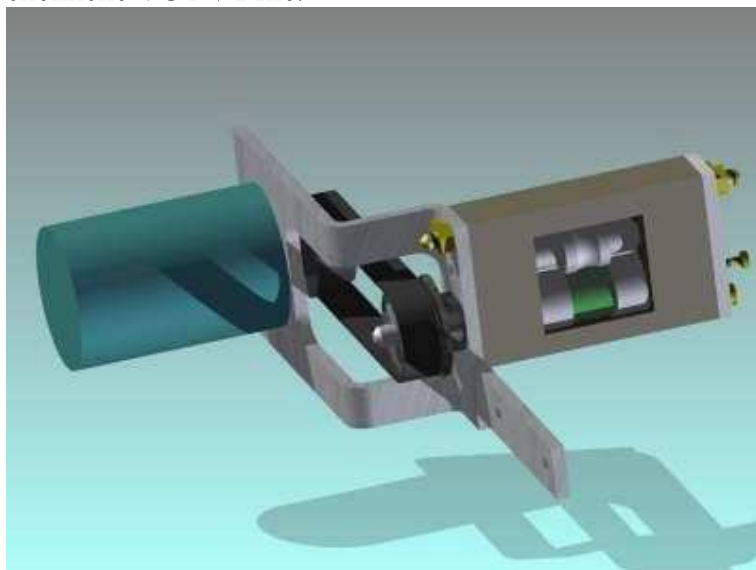


Obr. 16: Třetí verze odtahu

Problém s ohýbem pásu byl vyřešen pomocí naváděcího zařízení, které by se při stříhu odsunulo, uvolnilo prostor *Stříhacímu mechanismu* a po ustřížení pásu a návratu mechanismu do výchozí pozice se zasunulo do polohy průchodu pásu. Pomocí naváděcí zkosené díry byl pásek bezpečně naveden na druhou stranu do prostoru mezi břit a zdvihnutý plastový přítlak. Takovýto naváděcí mechanismus, *Céčko*, se pohybuje po stejné vodící tyči jako Stříhací mechanismus a je s mechanismem spřažen. Pohybují se současně a když se mechanismus vrátí do výchozí polohy a gumové přítlačné kolečko uvolní přítlak pásu, naváděcí díl se ustaví v poloze, kdy vyplní celý prostor drážky ve *Vložce stříhu* a přesně navede pásek do požadovaného prostoru mezi břit a plastový přítlak.

Při stříhu vzniká u každého prepregu problém, že se v důsledku deformace impregnovaného pásu vytlačí část pryskyřice. V tuto chvíli měl tento fakt dva praktické důsledky. První důsledek spočíval ve špatném odvodu ustříženého odpadu v důsledku lepení na okolní stěny a druhý důsledek byl, že se vymačkaná pryskyřice přilepila k hraně břitu a tím pádem se pásek nedokázal vlivem tlaku posouvání samovolně odlepit a pokračovat. První problém byl vyřešen přidáním tvrdého malířského štětce těsně za řezací kotouče, který okamžitě po stříhu odstraní ustřížený odpad do otvoru ve *Vložce* a následně pomačkaný, odstřížený kousek padal do zásobníku. Po určité době je možné zásobník pohodlně vyjmout a vyprázdnit. Řešení druhého důsledku bylo mnohem složitější a vyžádalo si výrobu pomocného tažného zařízení. Tento pomocný odtah má podobu dvou proti sobě se otáčejících, tvarovaných, ocelových válců, přičemž spodní válec má silikonovou bužírku kvůli zlepšení adheze vůči pásu a tím možné zmenšení síly nutné k odtahu pásu, což je žádoucí kvůli deformaci pásu. Spodní válec je pomocí řemenového převodu poháněn elektrickým micromotorem typu L149.4.392. Válce jsou zasazeny v kleci na kluzných ložiskách a pomocí šroubů v boku klece jsou přes ocelovou kuličku stranově stavitelné, aby bylo možno dosáhnout polohy válců s co nejmenším nežádoucím třením bočních stěn. Celá klec je dvoudílná a stažena k sobě pouze jedním šroubem vedoucím skrz celou délku klece. Konstrukce tohoto pomocného odtahu je znázorněna na obrázku (Obr. 17). Pro tento přídatný odtah bylo nutné vybrousit drážku v obou vrchních nosných částech, tedy *Vrchu* i *Rybině*. Do této drážky se klec s válci uzavře a přesně vystředí. Upevnění této klece k nosné konstrukci hlavního odtahu je realizováno pomocí dvou šroubů uchycených na *Rybinu* přímo pod *Vložku*

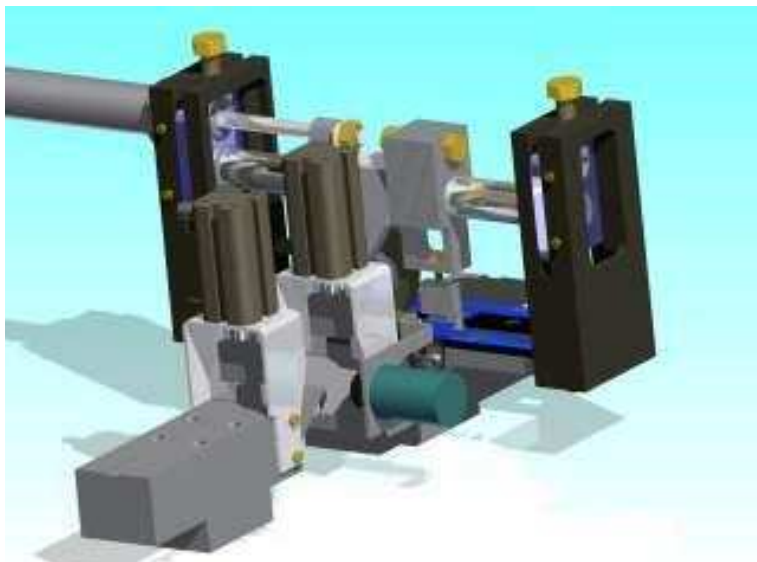
stříhu. Výroba tohoto pomocného odtahového zařízení nebyla možná ve firmách s běžným vybavením z důvodu velmi malých rozměrů a vysoké požadované přesnosti. Komponenty tohoto zařízení byly nakonec zhotoveny ve firmě Vakuum Praha a sestaveny na Fakultě chemické VUT v Brně.



Obr. 17: *Pomocný odtah*

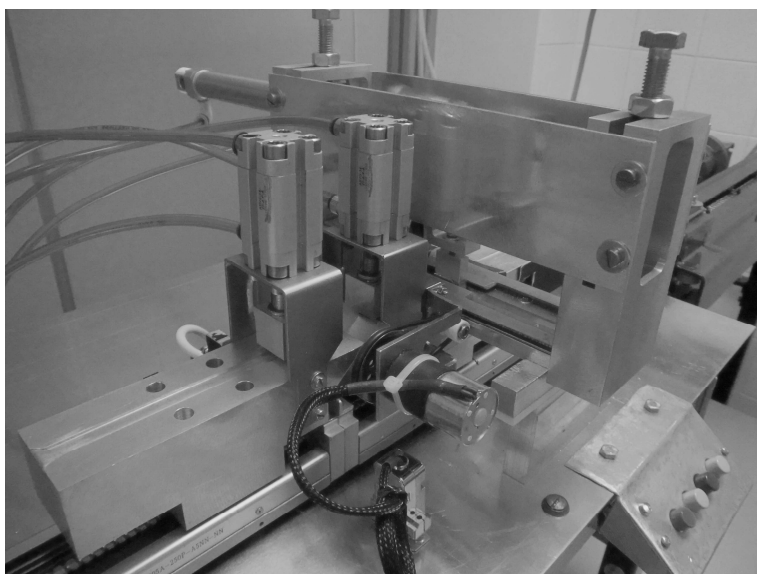
Všechny výše popsané se týkají druhé části odtahu tj. druhé posuvné čelisti se stříhem. Na levé straně již totiž není potřeba stříhu ani pomocného odtahu, proto je *Levá část* odtahu realizována pouze nosnou částí, která se skládá z jediného nosného kusu a pneumatického pístu s držákem, jenž jsou shodné jako u *Pravé části*.

Podle předpokladu měl tažený kompozit, seříznutý na potřebnou délku, vytlačit předešlý pásek aby spadnul přes okraj *Rybiny dolů*. Tento předpoklad se ukázal mylný, protože následující přicházející pásek se nasunul navrch předešlého pásku místo aby ho vytlačil. Proto byl do sestavy zařazen automatický podavač realizován spínacím relé s ramenem na konci opatřen silikonovým dílem. Po sepnutí přitlačí relé ramenem a ležící ustrížený pásek. Spínací relé je pomocí ocelové tyče spojeno s *Levou částí*. Relé spíná v okamžiku, kdy se *Pravá* a *Levá část* začínají pohybovat směrem k sobě až dojedou do krajní polohy. Proto při sepnutí a přitlačení pásku stahuje rameno pásek dolů do připraveného zásobníku. Ten se nasazuje dozadu na *Rybinu* a při jeho naplnění se stejně jako zásobník na odpad dá rychle vyjmout a vyprázdnit. Po zařazení do zkušebního provozu bylo zjištěno, že při stříhu narázející, stříhací mechanismus do dorazů na stěnách boků stříhu a vyvolává rázy a vibrace, které příliš vychylují celý mechanismus z osy. To by mohlo při trvalém provozu poškodit citlivější části. Problém rázů byl částečně vyřešen přidáním gumové koncovky na držák céčka, čímž byly rázy ztlumeny. Vznikající vibrace byly odstraněny přidáním podpůrných postranních obdélníkových hliníkových bloků s teflonovými kluznými plochami. Ty jsou složeny ze dvou částí, z nichž jedna je připevněna k podložce a druhá je připevněna ze spodní strany *Vložky stříhu*. Obě části se při pohybu vozíku s *Pravou částí* po sobě smýkají a při stříhu absorbují většinu nežádoucí energie. Současnou podobu celého stroje vystihuje obrázek (Obr. 18), na němž jsou pro větší názornost skryté výztuhy na bocích stříhu, avšak jsou vidět šrouby, na nichž tyto části drží.



Obr. 18: Finalní sestava

Na obrázku (Obr. 19) je fotografie vyrobeného zařízení pořízená při testovacím provozu v podniku. Protože součástí linky je již pásek prepregu, který nesmí přijít do styku s vytvrzovacím zářením (modrým světlem) nemohla být fotografie pořízena v barvě.

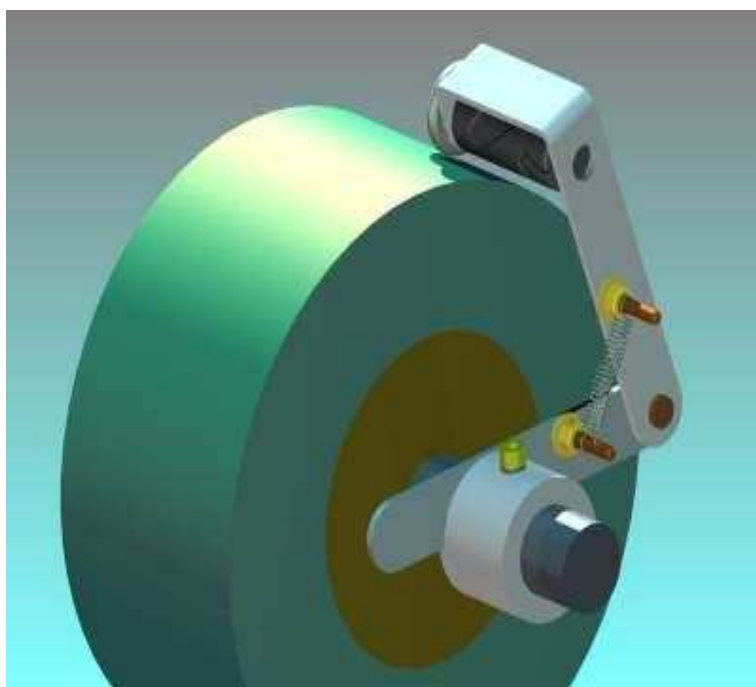


Obr. 19: Fotografie zařízení

Po zařazení do provozu jsou předpokládány ještě určité drobné úpravy, které by již neměly mít zásadní vliv na celkový vzhled nebo funkci zařízení. Pro vývoj celého zařízení jsem používal programy Autodesk AutoCAD 2008 a modelovací program Autodesk Inventor 2008. Téměř celá sestava odtahu je vyrobena z duralu a hliníku, některé části, u nichž je vysoký požadavek na mechanickou odolnost jsou vyrobeny z oceli.

Druhým problémem při výrobě byl fakt, že při kontinuálním odtahu krycí fólie vzniká v tomto pásku určité napětí. Krycí fólie se však při tomto napětí protáhne více, než krycí spodní papírový pásek, což vede k pokroucení pásku, v ojedinělých případech až oddělení fólie od kompozitního pásku. Délková změna papírového pásku je ve srovnání s délkovou změnou fólie zanedbatelná a proto ji není nutno primárně řešit. Pro řešení problému s krycí

fólií bylo vytvořeno zařízení, které bude odvíjet tuto folii ze zásobní cívky při jeho minimálním předpětí. Toto zařízení je zobrazeno na obrázku (Obr. 20). Odvíjení je realizováno elektromotorem SGSTCL 6,0V. Ten otáčí pryžovým kolečkem, jenž se odvaluje po obvodu cívky s folií a tím zaručuje požadovanou odvíjecí rychlost i při zmenšování obvodu zásobní cívky. Motor musí být stále přitlačován k povrchu cívky. Aby tento tlak byl zajištěn v kterékoli šířce cívky je motor umístěn na dvou ramenech, jenž jsou k sobě přitahována tažnou pružinou. Ramena jsou spojena volným kloubem, aby se mohly volně otáčet. V horní části ramena držícího motor (rameno s názvem *Vertikálka*) je otvor pro protažení kabelů vedoucích k motoru. Spodní rameno *Příčna* je spojeno s trubkou o stejném vnitřním průměru jako je průměr tyče na níž je nasunuta cívka. Tato trubka také udržuje polohu zařízení na tyči a pomocí šroubu tuto polohu zajišťuje proti pootočení. V obou ramenech, jak ve *Vertikálce* tak v *Příčně* je otvor pro kolík držící tažnou pružinu. K tomuto zařízení bylo třeba sestavit regulační zařízení, které na základě aktuálního napětí v kompozitu regulovalo optimální otáčky elektromotoru. Odvíjecí zařízení musí správně regulovat jak při zastavení výroby a tím zastavení odtahu kompozitního pásu, tak při potřebě odtahování kompozitu vyšší rychlostí než je dána elektromotorem.



Obr. 20: Pohon fólie

Zařízení regulující otáčky elektromotoru bylo původně navrženo na principu „houpačky“. Dvě stojiny připevněné pomocí šroubů k podložce jsou naproti sobě a každá má navrchu čep, na kterém je zavěšené kyvné rameno. Kyvná ramena jsou na spodní straně spojena hřídelí na které je kolečko vodící pásek fólie. Tím vznikla určitá uzavřená, zpevněná konstrukce. Kyvné rameno bylo na čepu nasazeno v 6 mm kuličkovém ložisku a stejně tak vodící kolečko bylo nasazeno na hřídeli v ložiscích, aby byl zajištěn kyvný a otočný pohyb vodícího kolečka s minimálním třením. Pásek fólie měl procházet přes kolečko a vlivem zvyšujícího se nebo snižujícího se mechanického napětí měl zdvihát „houpačku“, neboli kolečko na kyvném rameni. Z tohoto důvodu také nemohly být stojiny v horní části zcela spojeny, protože by nemohl přes tuto spojnicí přecházet pásek fólie a zařízení by bylo nefunkční. Protože jsou

povolená napětí fólie velice malá, bylo při navrhování konstrukce dbáno na co nejnižší hmotnost celé konstrukce, aby byl pohyb houpačky co možná největší. Samotná regulace měla být realizována pomocí posuvného potenciometru, jenž by byl připevněn ke stojně a posuvný jezdec ke kyvnému rameni. Jak by se houpačka zdvihala nebo klesala, pohyboval by se jezdec v potenciometru a vlivem změny odporu potenciometru by byly regulovány otáčky elektromotoru. Při zvednutí houpačky by bylo potřeba otáčky motoru zvýšit aby mechanické napětí fólie kleslo, při klesání houpačky naopak. Tato první koncepce zařízení však byla nepoužitelná ze dvou důvodů. Prvním důvodem bylo uzavření konstrukce na obou stranách stojinami, čímž nebylo možné dostat pásek fólie ven z konstrukce. Druhým důvodem bylo příliš velké tření posuvu potenciometru, nehledě k jeho problematickému upevnění k jednotlivým částem soustavy.

Druhý návrh koncepce řešení již nepočítal s uzavřeným nosníkem. Obě stojiny byly přesunuty obě najednou stranu a stejně tak jako dvě části kyvného ramena. To bylo možné díky velmi nízké hmotnosti soustavy a malým předpokládaným působícím silám. Snímání polohy potenciometrem bylo nahrazeno snímáním sil v ohybu ramene pomocí tenzometru. Kyvné rameno bylo rozděleno na dva díly, mezi něž byl připevněn tenzometr typu NP 40/10N, který snímá síly působící ve své ose x. V klidové poloze dole je síla v ose x rovna 0, v maximální poloze, tedy ve vodorovné poloze ramena je síla maximální protože síla působí kolmo na rameno. Tato koncepce sice byla vyrobena, avšak při testování se ukázala nepoužitelnou, protože i přes velmi nízkou hmotnost komponent byla výsledná síla nutná ke zdvihnutí kyvného ramena příliš vysoká. Tím se rameno nezdvihlo do dostatečné výšky, aby mohl tenzometr zareagovat dostatečně velkou odezvou.

Problém příliš malé odezvy tenzometru je nakonec vyřešen změnou konstrukce tak, že se rovnovážná poloha přesunula ze svislé do vodorovné polohy. Tato koncepce je znázorněna na obrázku (Obr. 21) a je prozatím koncepcí konečnou. Změna byla provedena v kyvném rameni, které bylo opět spojeno v jeden kus a tenzometr byl přesunut na druhou stranu páky. Pro spojení s čepem vycházejícím ze stojiny bylo vytvořeno pouzdro pro uložení ložisek. Toto pouzdro je velice důležité z důvodu vyosení kyvného ramene vůči čepu stojiny. To je velmi výhodné z hlediska rozložení sil. Protože je rameno umístěno pod osou čepu, vrací se v rovnovážném stavu vždy do vodorovné polohy. Pokud by rameno zůstalo v ose čepu, nastala by rovnováha v kterékoli poloze a rameno by se do vodorovné pozice nevracelo. Navíc při postupném zvedání kyvného ramene z rovnovážné vodorovné polohy do krajní vertikální polohy působí proti pohybu síla, která je dána velikostí vyosení ramene vůči čepu a hmotností ramene. Hmotnost ramene je dána přidanými kousky oceli, které slouží jako závaží. Pohybem těchto závaží po rameni je možné precizně vyladit rovnovážný stav v klidové poloze. Tenzometr má v této koncepci obrácenou charakteristiku. V klidové poloze ramene totiž na něj totiž působí největší síla a tím pádem dává nejvyšší možnou odezvu. Regulátor signál vyhodnotí a motor pohánějící zásobní cívku s folií zcela zastaví. Příkladem může být zastavení výroby, kdy klesne mechanické napětí fólie. Pokud je rameno v optimální poloze, tedy přibližně pod úhlem 45° , dává regulátor motoru napětí 2,5V a motor se otáčí rychlostí $0,066 \text{ ot.s}^{-1}$. V momentě dosažení mezní polohy kyvného ramene, tedy polohy svislé, dává tenzometr nulovou odezvu a regulátor pouští napětí 6,0V což je maximum motoru. Motor se otáčí rychlostí $0,16 \text{ ot.s}^{-1}$.



Obr. 21: Kladka

Řízení polohy a iniciace vozíků na začátku cyklu je detekována pomocí dvou optických závor na rozhraní posuvů. Řídící elektronika je připevněna na DIN liště ze spodní strany podložky. Ovládací panel je umístěn na přístupném místě z boku podložky. Obsahuje čtyři tlačítka: *Iniciace* jenž nastaví Pravou a Levou část odtahu do výchozí pozice k sobě. Tato poloha je snímána a kontrolována pomocí optických závor, *Start*, *Stop* a *Rychloposuv*, který spustí motorek pomocného odtahu. Ovládací panel je v této verzi vyroben z ohýbaného hliníkového plechu, v případě výroby ostré verze by byl nahrazen sofistikovanějším řešením. Veškerou elektroniku a programování automatizace provedl vedoucí této bakalářské práce. Schéma blokového zapojení řídicí elektroniky je znázorněno v Příloze 1. V příloze je rovněž uvedeno několik příkladů výkresové dokumentace.

3.3 Týdenní testovací provoz

Ve dnech 19 až 23 dubna 2010 bylo zařízení převezeno na testovací provoz do firmy ADM a.s., kde bylo použito na výrobu cca 500 metrů dentálního kompozitu. Testovací provoz byl rozvržen do 5 pracovních dnů. Během této doby bylo mým úkolem sledovat chod zařízení, najít případné chyby a vytvořit časový plán pro čištění stroje a vyprazdňování zachytňné krabičky na hotové prepregy. O chodu stroje byl každý den vytvořen záznam:

Záznam o chodu zařízení z pondělí 19.dubna.

V dopoledních hodinách bylo zařízení plně zprovozněno. Kyvné rameno regulace předpětí krycí fólie bylo jednou stojnou připevněno k podložní desce odtahového zařízení a druhou stojnou z důvodu nedostatku místa provizorně připevněno k jedné z kladkových tyčí. Odvíjecí zařízení krycí fólie bylo, podle plánu, nasunuto na tyč s odvíjenou cívkou krycí fólie a připojeno k regulátoru předpětí. Následně byl provoz spuštěn a zakončen v 17 hodin. Během této doby byl provoz asi dvakrát přerušen z důvodu zanesení stroje. Stříhem se totiž z prepregu vytlačuje malé množství pryskyřice, která ulpívá na břitech stříhu a má za následek, že se protahovaný pásek k břitů přilepuje. Protože však pneumatické čelisti stále pásek odtahovaly, docházelo v místě mezi válečkem pomocného odtahu a prvním břitem ke zvlnění pásku a vysunutí z požadovaného směru. Tomuto problému se dá zabránit přesným vytyčením časových úseků, po nichž musí být stroj vyčištěn.

Záznam o chodu zařízení z úterý 20. dubna.

Provoz byl zahájen v 11:30 vyskytl se problém s uchycením *céčka*. To je s *držákem* céčka spojeno pomocí šroubu, který je proti pootočení jištěn kontramatkou. Toto jištění se však ukázalo nedostatečné, protože vlivem rázů způsobených stříhem byla jistící matice uvolněna, šroub se povolil a *céčko* asi o 2 mm kleslo. To působilo ze začátku určité rázy, kdy *céčko* při návratu do výchozí pozice zachytávalo o hranu *vložky stříhu*. Později ještě kleslo a začalo *mechanismus* stříhu zcela zasekávat, takže se nemohl dostat do výchozí pozice a vznikaly kolize. Tento problém byl vyřešen přidáním vějířové podložky pod matici šroubu, čímž se již šroub neuvolnil a zabránil se pootáčení. Po odstranění tohoto problému probíhal chod, až na několik zastavení kvůli čištění, bezchybně.

Záznam o chodu zařízení ze středy 21. dubna.

8:55 Stroj byl vyčištěn, kompozitní pásek byl zaveden pod odtahové čelisti a výroba byla zahájena

10:02 Zastavení, čištění stroje acetonem od pryskyřice, 10:10 opět spuštěna výroba

10:40 Stříhací *mechanismus* se zasekl na vodící tyči a způsobil komplikace. Tím bylo zjištěno, že při údržbě stroje je nutné zajistit dostatečné mazání vodící tyče, aby se po ní mohl *držák céčka* i *mechanismus* stříhu volně pohybovat. V 11:10 byla obnovena výroba.

12:10 Zastavení, čištění stroje 12:23 byla opět spuštěna výroba

13:30 Zastavení, čištění stroje 14:33 spuštěna výroba

15:20 Zastavení, čištění stroje, ukončení výroby.

Zařízení bylo vždy po hodině chodu čištěno. S dodržením těchto intervalů nepůsobil stroj žádné podstatné provozní problémy.

Záznam o chodu zařízení ze čtvrtka 22. dubna.

8:45 Vyčištění stroje, zavedení pásku a zahájení výroby.

9:35 Zastavení z důvodu zaseknutého pásku, čištění stroje 9:55 spuštěna výroba

13:00 Zastavení, čištění stroje. 13:40 spuštěna výroba

15:30 Zastavení, čištění stroje. 15:43 spuštěna výroba

17:00 Zastavení, čištění stroje, zakončení výroby.

Zkušební provoz dokázal, že zařízení je schopné dlouhodobé práce. Testovala se maximální možná doba provozu bez čištění. Zařízení bylo v provozu 7 a čtvrt hodiny čistého času a ze záznamu je patrné, že bez čištění dokáže vyrábět až 2 hodiny. Místy se však projevil drobné chyby v elektronice stroje.

Záznam o chodu stroje z pátku 23. dubna

8:45 Zahájení výroby

9:25 Zastavení z důvodu drobné poruchy a čištění stroje. 10:00 spuštěna výroba.

11:36 Zastavení, čištění stroje, 12:45 spuštěna výroba

12:05 Z důvodu závady v elektronice muselo být zařízení odstaveno a zbylý kompozit musel být odtahován na starém zařízení a nastříhán ručně. Porouchaná součást byla následně v laboratoři na FCH vyměněna za odolnější.

Zařízení na odtah a stříh dentálního kompozitního prepregu se ukázalo jako schopné dlouhodobého provozu. Z testovacího týdenního provozu byly analyzovány možné problémy,

jejich řešení a prevence vzniku chyb. Na základě těchto zkušeností byl sestaven manuál k obsluze zařízení.

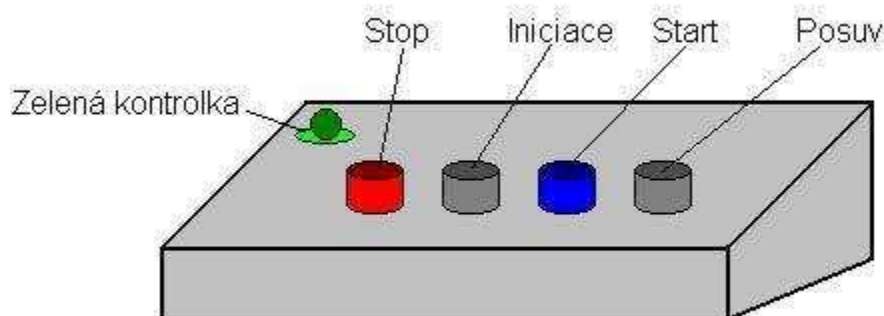
3.4 Manuál k obsluze a údržbě stroje

3.4.1 Zavádění pásku

Pásek kompozitního prepregu krytého z jedné strany silikonovým papírem a z druhé krycí polyethylenovou fólií se zavádí z *Levé* části odtahu provlečením pod přítlačnou kostkou pneumatické čelisti. Dále se protahuje až k *Pravé* části odtahu a pod druhou pneumatickou čelistí až k válečkům pomocného odtahu. Stroj se připojí k elektrické síti a zapne se hlavní vypínač stroje umístěný nad přívodním napájecím kabelem. Na ovládacím panelu se rozsvítí zelená kontrolka. Pravým, šedým tlačítkem na ovládacím panelu se manuálně spouští otáčky pomocného odtahu. Při protažení pásku mezi válečky pomocného odtahu je třeba mačkat toto tlačítko, tím se pásek vtáhne mezi válečky a odtah již nasměruje pásek potřebným směrem. Pásek je třeba protlačit mezerou mezi prvním břitem a plastovým přítlakem, pak dále pak do céčka a následně mezerou mezi druhým břitem a plastovým přítlakem. Na konci by měl pásek vyčnívat asi 3 cm za konec přítlaku z důvodu dobrého uchycení odtahovým relé. Pokud je pásek dobře protažen, musí ležet ve vyfrézované drážce ve vrchní části *Rybiny*.

3.4.2 Spuštění stroje

Zařízení se připojí pomocí přívodního kabelu k elektrické síti, a pomocí nylonové hadice se zpětnou klápkou k přívodu tlakového vzduchu. Připojení k elektrické energii i vstup pro tlakový vzduch se nacházejí v na pravé části troje pod vrchní deskou. Zapne se hlavní vypínač stroje umístěný nad vstupem tlakového vzduchu. Na přední části zařízení je připevněn ovládací panel se čtyřmi tlačítky a zelenou kontrolkou detekující sepnutý hlavní spínač. Ovládací panel je znázorněn na obrázku (Obr. 22). Nejprve se stiskne druhé tlačítko zleva, šedé-INICIACE. Obě posuvné části se začnou pomalu pohybovat proti sobě až se automaticky zastaví ve výchozí pozici. Tato pozice je snímána pomocí optické závory. Nyní se zavede pásek dentálního kompozitu dle výše popsaného postupu. V této poloze je stroj připraven a uvede se do pracovního cyklu stisknutím druhého tlačítka zprava, modrého-START. Zahájí se automatizovaný cyklus, který se dá v případě potřeby kdykoli zastavit stisknutím prvního tlačítka zleva, červeného-STOP. Stroj se zastaví a pro opětovné spuštění je nutno znovu stisknout tlačítko INICIACE a po znovu nastavení výchozích pozic stisknout START.



Obr. 22: Ovládací panel

3.4.3 Čištění a údržba stroje

Čištění se provádí pouze za klidu zařízení, nikdy ne za chodu. Pro čištění stroje je třeba odpojit přívod tlakového vzduchu vytažením přívodní hadice. Zpětná klapka sepne a vzduch již z hadice neuniká. Odpojit od elektrické energie není potřeba, stačí pouze vypnout hlavní vypínač stroje. Pásek dentálního kompozitu se odstraní úplným vytažením z upínačů. Zařízení se čistí pomocí acetonu a kousku vaty namotané na špejli. Z drážky ve *Vložce stříhu* a z prostoru mezi břitem a plastovým přitlakem se odstraní zbylé prostříhy a případné nečistoty. Vata se navlhčí acetonem a důkladně se vyčistí prostory mezi přitlakem a břitem. Dále je třeba vyčistit styčné plochy břitů a řezacích kotoučů. Po odstranění přívodu tlakového vzduchu je možno pohybovat řezacím mechanismem, čímž se dají vyčistit i špatně přístupná místa v této oblasti. Protože se někdy část odpadu dostane až na vrch plastového přitlaku, je třeba zkontrolovat i pryžový přitlačný kotouč a v případě potřeby jej očistit od pryskyřice, či přilepených kusů vláken. Stejně tak je doporučeno kontrolovat i válečky pomocného odtahu a přitlačné části pneumatických čelistí a v případě potřeby je očistit acetonem. Po ukončení čištění se zkontroluje, zda se při údržbě nezachytily na některých místech kousky vaty. Vodící tyč mechanismu stříhu se namaže malým množstvím lubrigantu a při spuštění stroje se postupuje dle výše uvedeného postupu.

Čištění a údržba stroje by se měla provádět vždy na začátku směny před započetím výroby a po ukončení výroby na konci směny. V průběhu výroby by se měl stroj čistit vždy po hodině souvislého provozu. Při zaseknutí pásku ve stroji a případné poruše se pásek vytáhne ze stroje, odstříhne se zdeformovaná část a znovu se pásek do stroje zavede podle výše uvedené kapitoly „Zavádění pásku“. Po každém zaseknutí pásku či chybě je vhodné provést údržbu stroje. Na konci pracovní směny je doporučeno provést důkladné čištění a údržbu, na začátku a v průběhu pracovní činnosti stačí čištění rychlejší.

4 Závěr

Pultruze je v dnešní době jedna z běžně používaných metod výroby dlouhoválnových kompozitních materiálů. Při této výrobní metodě je velmi často odtah vytvrzeného kompozitního materiálu realizován pomocí recipročních odtahových čelistí a pro dělení materiálu se využívá zpravidla pilového nebo brusného kotouče. Kompozitní prepreg dentálního kompozitu ve formě pásu je z hlediska výroby velmi specifický materiál. Nezachovává si lineární formu, prohýbá se a kroutí v závislosti na poměru délkové kontrakce mezi samotným impregnovaným páskem, krycím papírem a krycí fólií. Pásek prepregu je velmi měkký, což klade zvýšené nároky na přesnost a vhodné umístění komponent naváděcího zařízení. Specifikem při výrobě prepregu je, oproti běžným vytvrzeným kompozitům, vlastní dělení prepregu. Při něm je zpravidla vytlačena část nevytvrzené a tedy stále lepkavé pryskyřice, což komplikuje jakékoli další strojové zpracování. Při konstrukci zařízení byla tato specifika uvažována a na základě dosavadních zkušeností technologů bylo navrženo stříhací a odtahové zařízení, které je schopné tyto problémy eliminovat. Celý systém byl průběžně optimalizován a nakonec testován při týdenní výrobě, kde vyhověl jak z hlediska parametrů výstupního materiálu tak z hlediska požadavků na údržbu a obsluhu.

Navržené a sestavené zařízení v rámci této bakalářské práce je unikátní z hlediska spřažení odtahu a stříhu do jednoho kompaktního systému a řešení způsobu dělení prepregu. Je vyrobeno převážně z duralu a hliníku a slouží jako funkční vzorek či prototyp. Na základě přiložené výkresové dokumentace je plánovaná výroba komponent z vysoce legované, korozivzdorné oceli. Protože požadavky na výrobní proces se postupem času optimalizují, je pravděpodobné, že budou v budoucnu na zařízení prováděny dodatečné úpravy, nebo bude zařízení rozšířeno o další doplňkové komponenty.

5 Použitá literatura a internetové zdroje

1. BAREŠ, Richard. *Kompozitní materiály*. 1 vyd. Praha: SNTL – SNTL - Nakladatelství technické literatury, N.P., 1988. 328 s. ISBN L17-B3-IV-31/72231
2. LANGOVÁ, Radka. *Sledování produkce a vlastností protilátek pomocí biosenzorů*. Brno, 2006. 85 s. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta.
3. FREILICH, Martin, et al. *Fiber-reinforced composites in clinicall dentistry*. Carol Stream, Illinois : Quintessence Publishing Co, Inc, c2000. 106s. ISBN 0-86715-373-3.
4. BÜCKING, Wolfram. *Dentální tipy a triky*. Praha : Quintessenz, s.r.o., 2007. 284 s. ISBN 80-86979-01-6.
5. Dentapreg - vývoj pokračuje. In Redakce časopisu StomaTeam. *Stomatemala*. Praha 2 : Stomateam, 1/2008 [cit. 2010-05-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.stomateam.cz/?clanek=258>>. ISSN 1214-1478.
6. SPILLER, Matrin. *Doctor Spiller* [online]. c2000 [cit. 2010-05-11]. Composite materials. Dostupné z WWW: <http://www.doctorspiller.com/Composites/dental_materials.htm>.
7. TRAUTMANN, Radoslav. *Effect of cure initiation on the morphogenesis of light and heat cured dimethacrylate networks*. Brno University of Technology, Faculty of Chemistry, Purkyňova 118, 6112 00 Brno, c2008. 1 s. Poster. FCh VUT Brno.
8. PAVELKA, Vladimír. *Toughening brittle polymers with short deformable fibers*. Brno, 2007. 71 s. Dizertační práce. Brno University of Technology.
9. *Dentapreg refill (Economy Pack)* [online]. Brno : Pagio.cz, 2005 [cit. 2010-05-11]. Dentapreg. Dostupné z WWW: <<http://www.dentapreg.com/en/products/dentapreg-products-line/dentapreg-refill-economy-pack/>>.
10. *Prefa Brno* [online]. Brno : c2009, 2006 [cit. 2010-05-11]. Prefa kompozity. Dostupné z WWW: <<http://www.prefa-kompozity.cz>>.
11. JANČÁŘ, Josef. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. Bořivoj Hlaváček. 1. vyd. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2003. 194 s. ISBN 80-214-2443-5.
12. *Koral Tišnov s.r.o* [online]. 2004-2005 [cit. 2009-11-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.koral.biz/>>.
13. SÖDERHOLM, Karl. *University of Florida : The Open Systems Group* [online]. Florida : Computing & networking services, 1999 [cit. 2010-03-26]. DEN627. Dostupné z WWW: <<http://nersp.nerdc.ufl.edu/~soderho/E01.htm>>.

6 Seznam použitých zkratek

FRC – Fiber reinforced composite – kompozitní materiály s vláknovou výztuží

PFM – Plochý kompozitní materiál s výztuží ze splétaných vláken sloužící k výrobě můstků

PFU – Plochý kompozitní materiál s výztuží z rovinných vláken sloužící k výrobě můstků

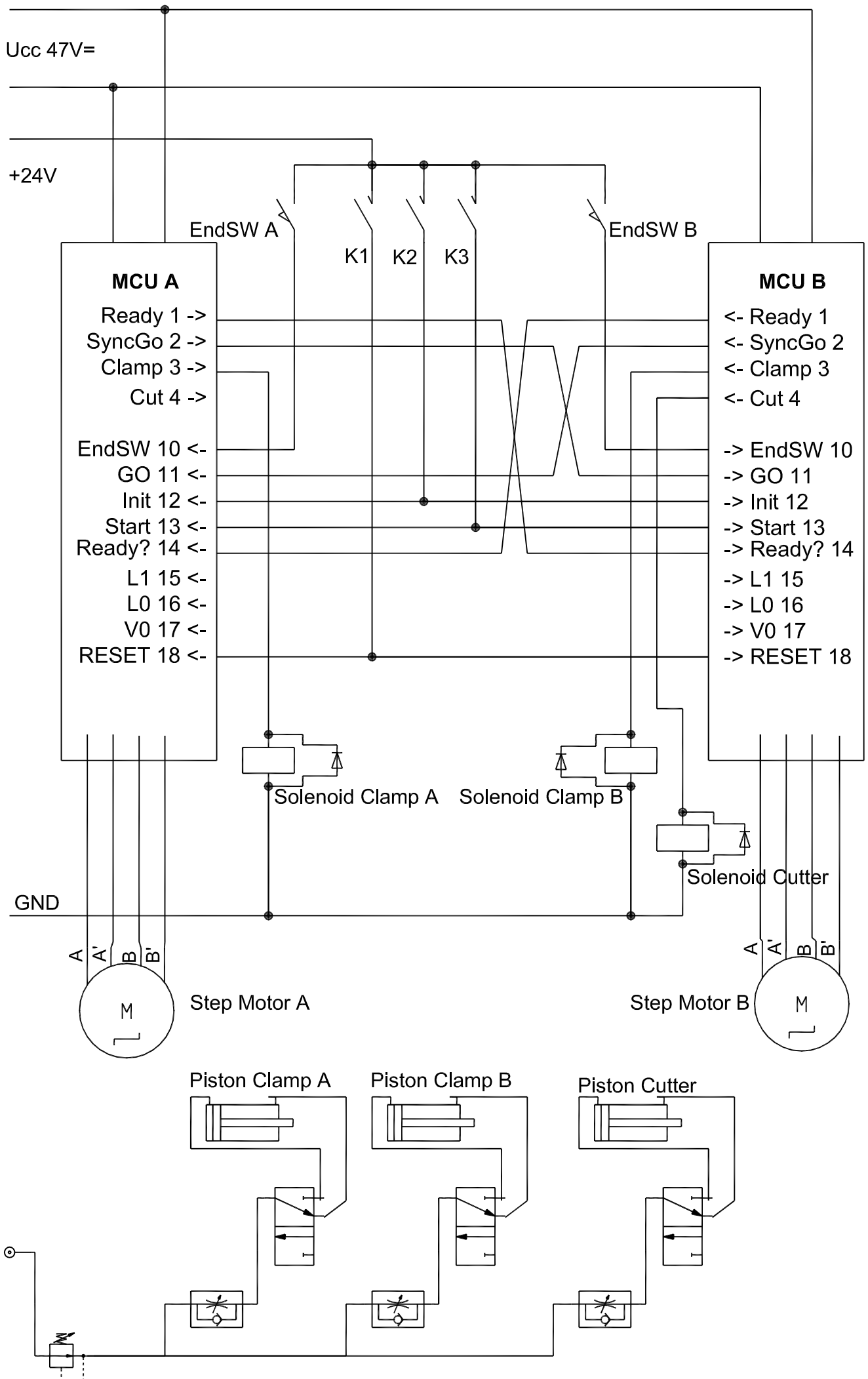
UFM – Zvláště plochý kompozitní materiál s výztuží ze splétaných vláken

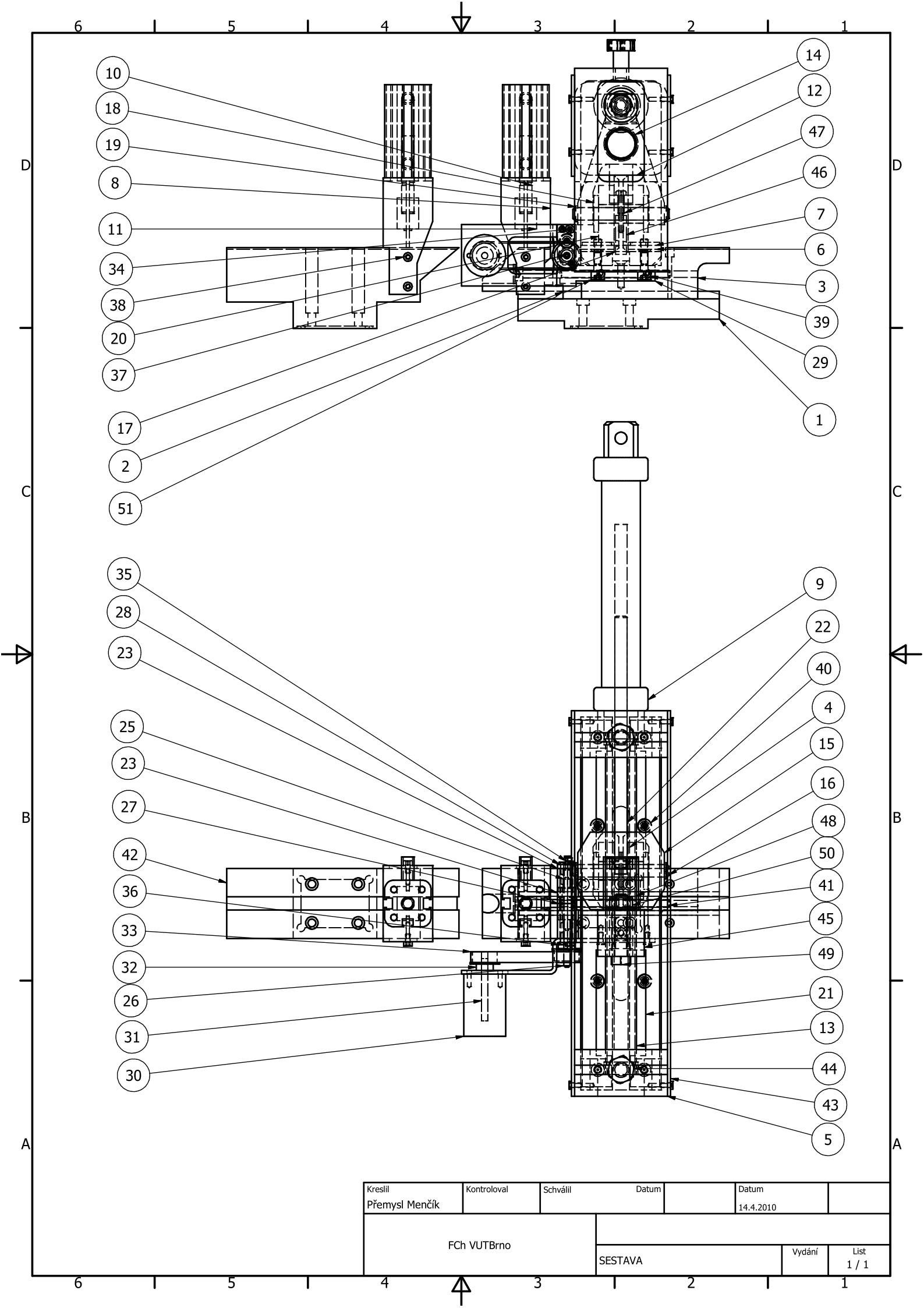
SFU – Plochý kompozitní materiál s výztuží z rovinných vláken sloužící k výrobě dlah

SFM – Plochý kompozitní materiál s výztuží ze splétaných vláken sloužící k výrobě můstků

7 Seznam příloh

- Příloha 1 – Blokové schéma zapojení řídicí elektroniky
- Příloha 2 – Sestava odtahového zařízení
- Příloha 3 – Kusovník odtahového zařízení
- Příloha 4 – Sestava regulační kladky
- Příloha 5 – Kusovník regulační kladky
- Příloha 6 – Sestava pohonu fólie
- Příloha 7 – Kusovník pohonu fólie
- Příloha 8 – Výrobní výkres: Upínka k tyči
- Příloha 9 – Výrobní výkres: Příčna
- Příloha 10 – Výrobní výkres: Vertikálka
- Příloha 11 – Výrobní výkres: Čep

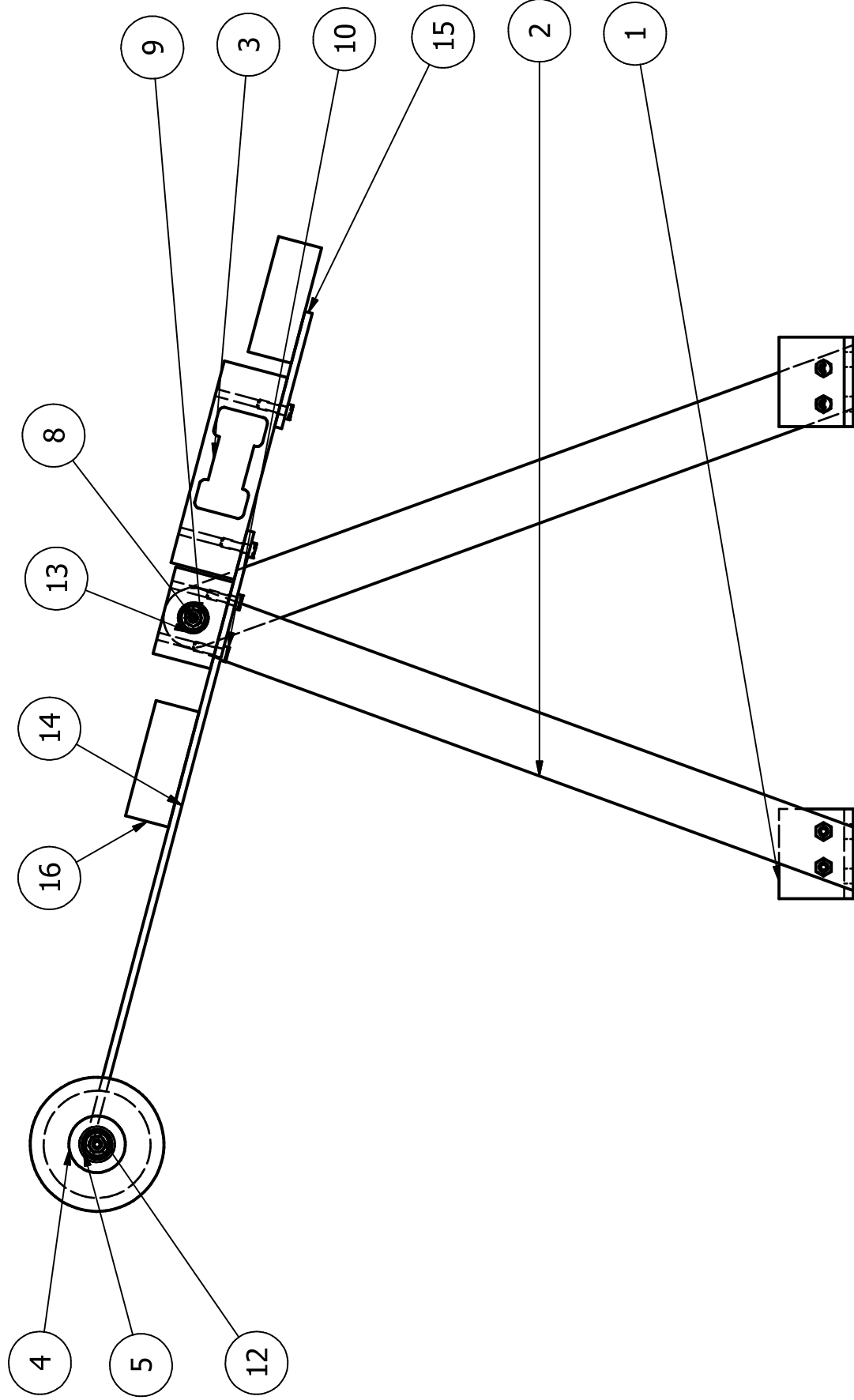




Kreslil Přemysl Menčík	Kontroloval	Schválil	Datum	Datum 14.4.2010	
FCh VUTBrno					
SESTAVA				Vydání	List 1 / 1

Kusovník odtahového zařízení

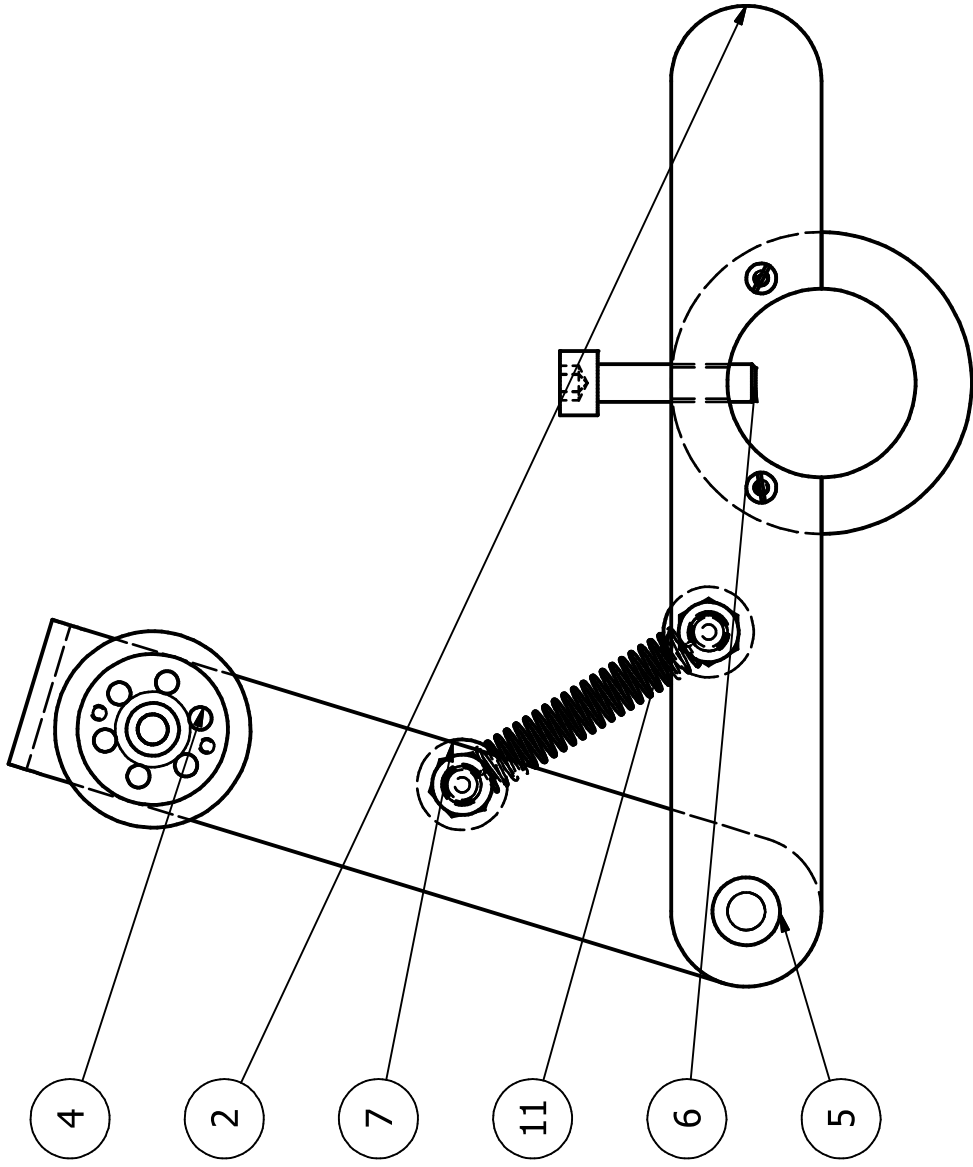
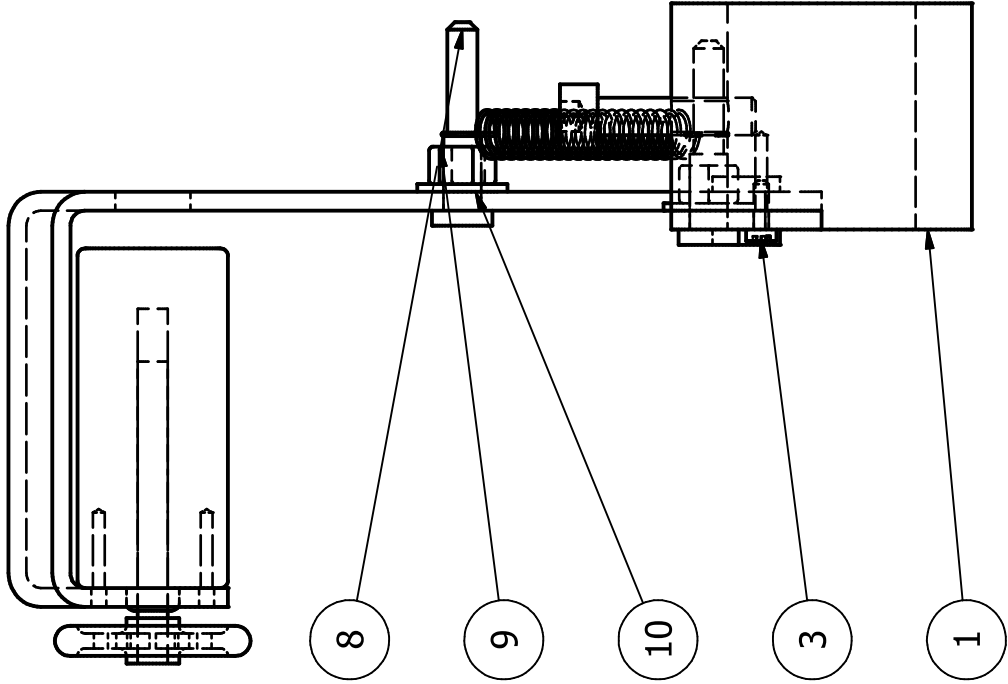
Pozice	Kusy	Název	Materiál
1	1	Spodek	Dural
2	1	Vrch	Dural
3	1	Rybina	Dural
4	1	Vložka stříhu	Dural
5	2	Bok	Dural
6	2	Břit	Ocel
7	2	Vložka do boku	Dural
8	2	Držák pístu	Ocel
9	3	Tělo pístu	
10	2	Píst tyč	
11	2	Hlavice pístu	Dural
12	2	Držák vodící tyče	Dural
13	1	Středová tyč	Ocel
14	2	Pojistný kroužek středové tyče	
15	1	Mechanismus stříhu	Dural
16	1	Hřídelka řezací	Ocel
17	2	Řezací kolečko	Tvrdokov
18	2	Plastový držák kolečka	
19	2	Pojistný kroužek řezací hřídelky	
20	2	Přítlačné kolečko	Přyz
21	2	Plastový přítlak	MMA
22	1	Tyč velkého pístu	
23	1	Rámeček_levý	Ocel
24	1	Rámeček_pravý	Ocel
25	1	Hřídelka_vrchní	Ocel
26	1	Hřídelka_spodní	Ocel
27	1	Silikon	Silikon
28	1	Destička	Ocel
29	1	Bočnice pomocného odtahu	Hliník
30	1	Válec-motoru	
31	1	Hřídelka-motoru	
32	2	Hnací kolečko	Ocel
33	1	Pásek	Přyz
34	1	Šroub M3x122	
35	2	Matice M3	
36	3	Šroub M2x5 plochy	
37	1	Šroub M1,5x5 plochy	
38	8	Šroub M3x5a	
39	10	Šroub M3x5 plochy	
40	4	Šroub M4x10 zapusteny	
41	1	Šroub M5x100	
42	1	Levý	Dural
43	2	Výstuha konstrukce	Dural
44	2	Šroub M10x20	
45	1	Držák céčka	Dural
46	1	Céčko	Dural
47	1	Šroub M4x12	
48	1	Spojnice	Hliník
49	1	Šroub M8x40	
50	2	Matice M8	
51	4	Šroub M5 spec R	



Kreslil	Kontroloval	Schválil	Datum	Datum
Přemysl Menčík				14.5.2010
FCh VUT Brno			SESTAVA-KLADKA	
			Vydání	List
				1 / 1

Kusovník - Kladka

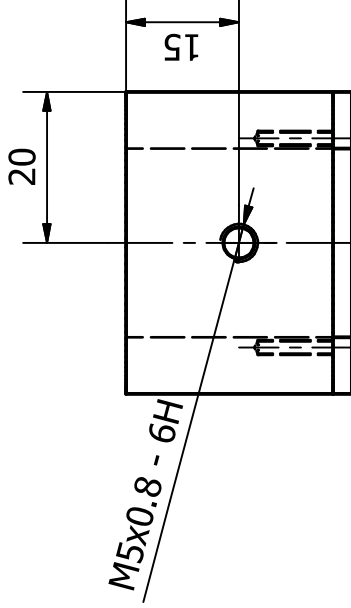
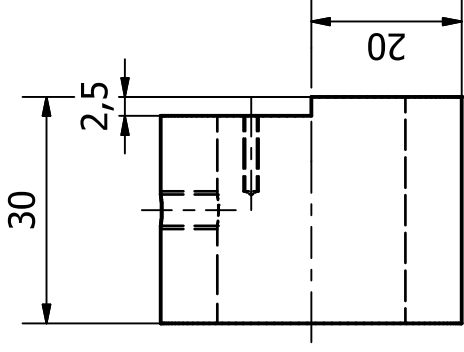
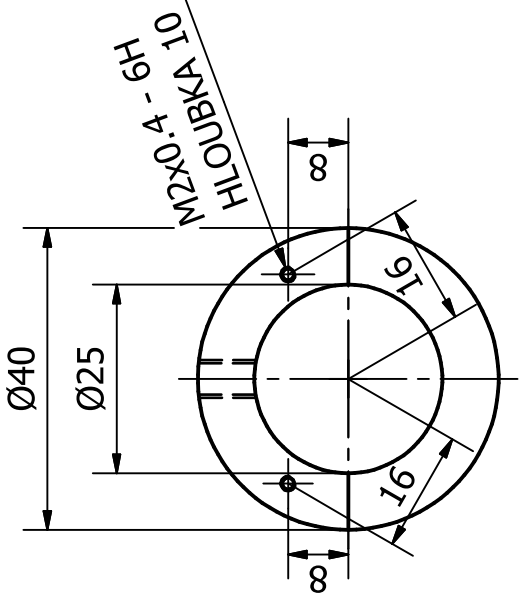
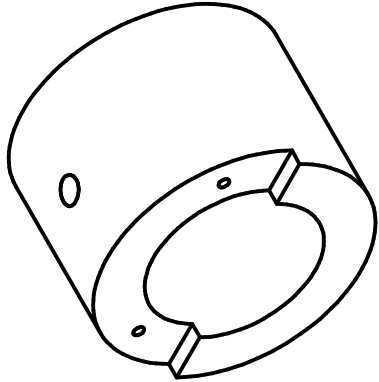
Pozice	Kusy	Název	Materiál
1	2	Stojný jeřl	Dural
2	2	Stojna	Dural
3	1	Tenzometr	
4	1	Kolečko kladky	Plast
5	4	Ložisko	
6	1	Rozporka kolečka TR 10x2x8	Ocel
7	1	Rozporka TR 10x2x7	Ocel
8	1	Tyč M3	Ocel
9	8	Matice M3	
10	12	Šroub M3 s plochou hlavou	
11	2	Rozporka TR 5x1x15	Měď
12	2	Rozporka TR 5x1x1	Měď
13	1	Domeček	Dural
14	1	Spodek pohybu	Dural
15	1	Vrch pohybu	Dural
16	2	Závaží	Ocel



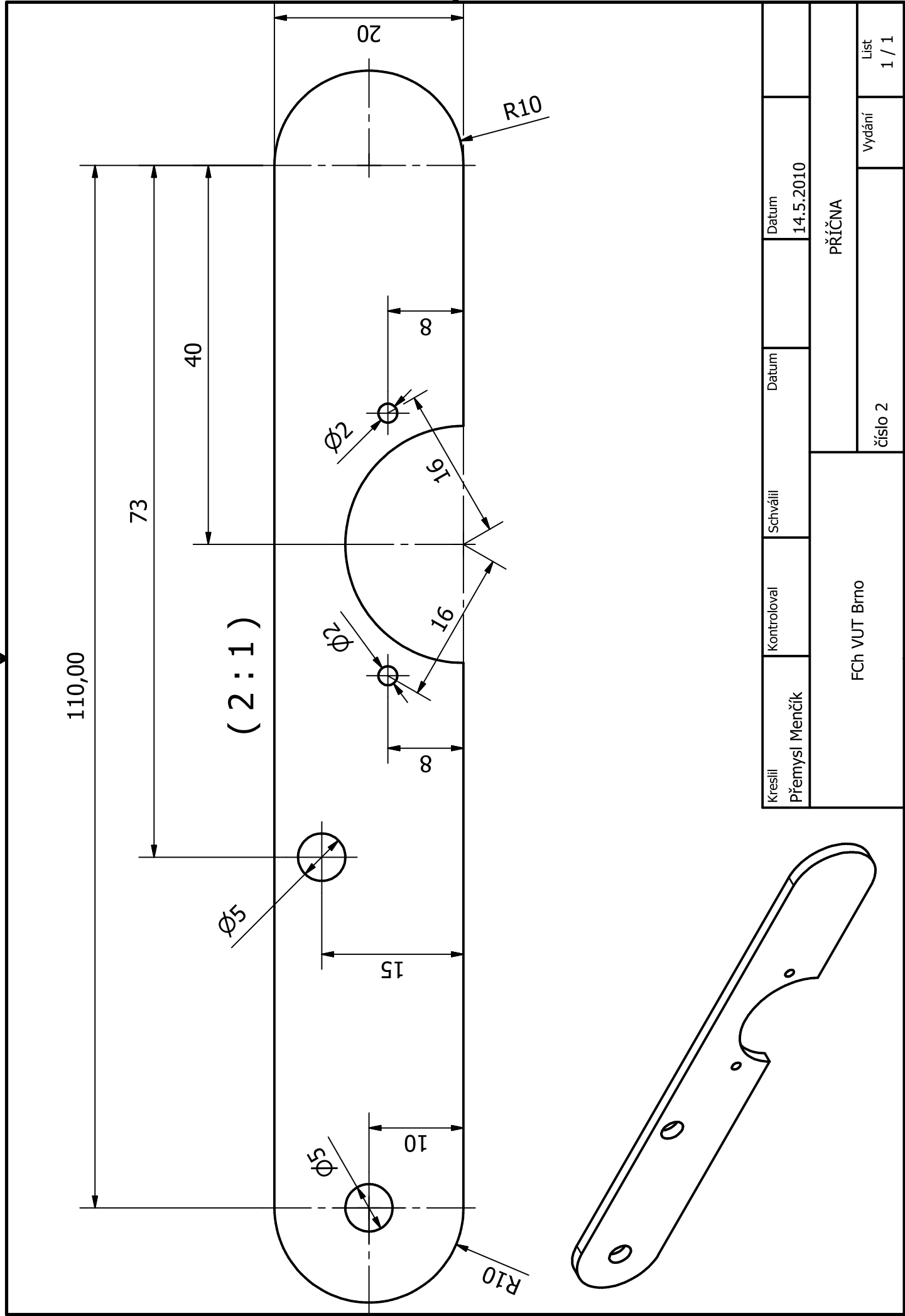
Kreslil	Kontroloval	Schválil	Datum	Datum	POHON FOLIE-SESTAVA	
Přemysl Menčík				14.5.2010	Pohon folie-3-sestava	
FCh VUT Brno					Vydání	List
					1 / 1	1 / 1

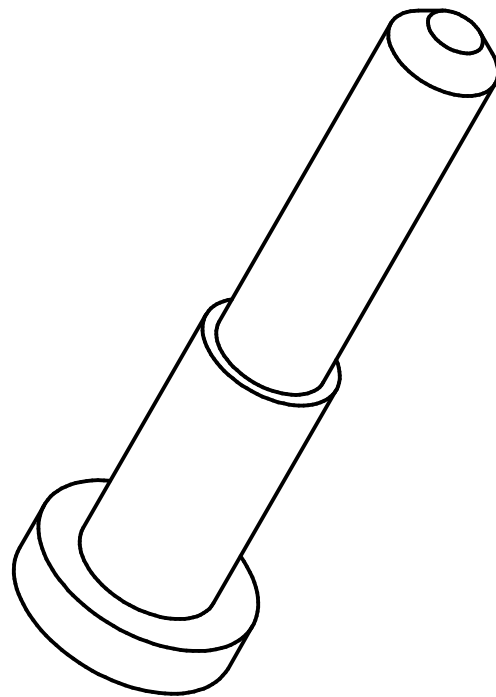
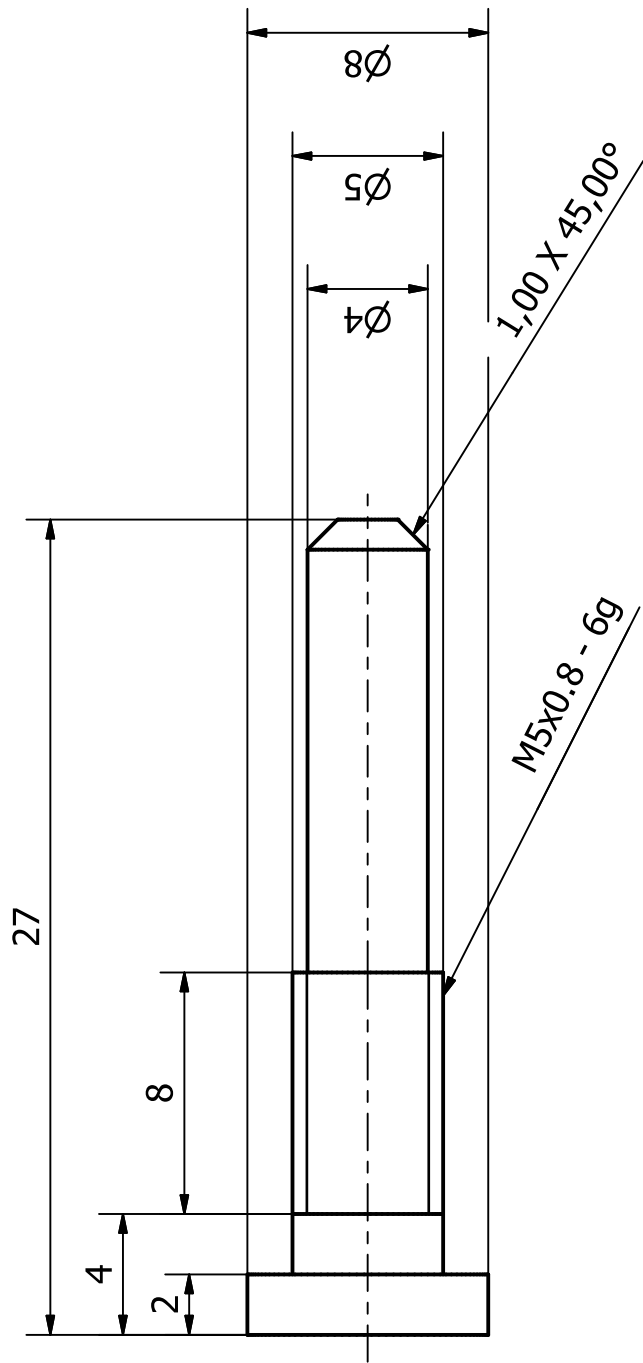
Kusovník – pohon fólie

Pozice	Kusy	Název	Materiál
1	1	Upínka k tyči	Dural
2	1	Příčna	Dural
3	2	Šroub M2x5 plochý	
4	1	Monotek	
5	1	Šroubový spoj	
6	1	Šroub M5	
7	1	Vertikálka	Dural
8	2	Čep	Ocel
9	2	Matice M5	
10	2	Podložka 5	
11	1	Pružina	



Kreslil Přemysl Menčík	Kontroloval	Schválil	Datum 14.5.2010	Datum 14.5.2010	Vydání číslo 1	UPÍNKA K TYČI	List 1 / 1
FCh VUT Brno							





Kreslil	Kontroloval	Schválil	Datum	Datum	Číslo 8		ČEP		Vydání	List
Přemysl Menčík				14.5.2010			FCh VUT Brno			1 / 1