



**FAKULTA
ŠROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav konstruování a částí strojů

**Rekonstrukce podélné převíjecí řezačky
materiálu**

Redesign of a Slitter Rewinder

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2018

Ondřej HANYŠ

Studijní program: N2301 STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ
Studijní obor: 2301T047 Dopravní letadlová a transportní technika
Vedoucí práce: Ing. Martin Dub, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hanyš** Jméno: **Ondřej** Osobní číslo: **408800**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav konstruování a částí strojů**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní, letadlová a transportní technika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Rekonstrukce podélné převíjecí řezačky materiálu

Název diplomové práce anglicky:

Redesign of a Slitter Rewinder

Pokyny pro vypracování:

V rámci diplomové práce proveďte rešerši problematiky řezání tenkých materiálů, zejména podélného řezání papíru a fólií. Navrhněte rekonstrukci a modernizaci podélné řezačky fólie. Řezačka je konstruována na podélné řezání fólie žiletkovými noži se dvěma navíjecími hřídelemi. Navrhněte doplňkové zařízení se sadou poháněných kruhových nožů pro zpracování papírových materiálů podélným řezáním. Proveďte úpravu pohonného systému z řetězového pohonu navíjecích hřídelů na pohon ozubenými řemeny.

Seznam doporučené literatury:

GOOD, J. K. a David R. ROISUM. Winding: machines, mechanics and measurements. Lancaster: DEStech, c2008. ISBN 978-1-932078-69-5.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Martin Dub, Ph.D., ústav konstruování a částí strojů FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **09.04.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **14.06.2018**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Martin Dub, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Vojtěch Dinybyl, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci s názvem: „Rekonstrukce podélné převíjecí řezačky materiálu“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Martina Duba, Ph.D., s použitím literatury uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne

.....

Ondřej Hanyš

Poděkování

Rád bych poděkoval panu Ing. Martinu Dubovi, Ph.D. za trpělivost při vedení mé diplomové práce a podporu při komplikacích s nedostatkem času.

Velké díky patří také panu Ing. Jiřímu Teclovi za velké množství praktických rad a předaných zkušeností jak při psaní této práce, tak mimo ni.

Chci poděkovat Veronice Kantůrkové za ochotnou revizi textu.

Největší dík patří mým nejbližším, bez jejichž podpory bych se ve svém studiu ani v životě nikdy nedostal tak daleko.

Anotační list

Jméno autora:	Bc. Ondřej Hanyš
Název DP:	Rekonstrukce podélné převíjecí řezačky materiálu
Anglický název:	Redesign of a Slitter Rewinder
Rok:	2018
Studijní program:	N2301 STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ
Obor studia:	2301T047 Dopravní, letadlová a transportní technika
Ústav:	Ústav konstruování a částí strojů
Vedoucí DP:	Ing. Martin Dub, Ph.D.
Bibliografické údaje:	počet stran 75 počet obrázků 63 počet tabulek 1 počet příloh 2
Klíčová slova:	převíjecí řezačka, podélné řezání papíru, archování, řezání kruhovými noži, řezání žiletkovými noži, navíjení, pneumatické upínací hřídele, frikční hřídele
Keywords:	slitter rewriter, paper slitting, transverse cutting (sheeting), shear slitting with rotary knives, razor slitting, winding, pneumatic expanding shafts, differential rewind shafts
Anotace:	Tato práce se zabývá podélným a příčným řezáním papíru a dalších tenkých materiálů, technologiemi řezání a převíjecími stroji. Součástí práce je návrh konstrukčních úprav podélné řezačky fólie s dvojitým navíjením pro firmu Stepa s.r.o. za účelem zvýšení využitelnosti tohoto stroje při podélném zpracování papíru kruhovými noži.
Abstract:	This thesis deals with longitudinal and transverse cutting of paper and other thin materials, slitting and cutting technologies and (re)winding machines. The practical part consists of a redesign of a duplex slitter rewriter for Stepa Inc. company in order to enhance its use in the firm at paper slitting with rotary knives.

Obsah

1	Úvod	1
2	Řezání tenkých materiálů	2
2.1	Podélné řezání	3
2.1.1	Log slitting	4
2.1.2	Podélné řezání na převíjecích řezačkách	5
2.2	Příčné řezání	15
2.2.1	Technologie příčného řezání	15
2.2.2	Řezací mechanismy archovaček	17
3	Převíjecí řezačky	21
3.1	Dílčí zařízení převíjecích řezaček.....	22
3.1.1	Odvíjení	22
3.1.2	Řezání	23
3.1.3	Navíjení	24
3.2	Další prvky převíjecích řezaček.....	29
3.2.1	Tažné válce	29
3.2.2	Vodicí válce	30
3.2.3	Rozpínací válce	30
3.2.4	Upínání rolí a kotoučů	31
3.2.5	Spojky a brzdy	35
3.3	Automatizace převíjecích řezaček.....	37
4	Řezačka „Čína“	39
4.1	Pohon	41
4.2	Odvíjení, navíjení	43
5	Úpravy odvíjení	45
5.1	Konstrukční úpravy odvíjení	46
5.2	Konstrukční výpočty	49
6	Řezání kruhovými noži	51
6.1	Kinematika pohonu horního nožového hřídele	53
7	Pohon	57
7.1	Úpravy pohonu	57
7.2	Tažný válec	58
7.2.1	Vedení materiálu	58
7.3	Pohon řezání	60
7.4	Pohon navíjení	63
7.5	Kontrolní výpočty	65
8	Rekonstrukce navíjení	67

9	Závěr	69
	Seznam použitých zdrojů	70
	Seznam obrázků.....	74
	Seznam tabulek.....	75
	Seznam příloh	75

1 Úvod

Papír, jak ho známe v dnešní podobě, pochází z počátku prvního tisíciletí našeho letopočtu a po dlouhou dobu se vyráběl výhradně ve formě ručního papíru, kdy se na sítu pomocí rámečku jednotlivým listům přímo udával konečný tvar a rozměry a takto vzniklý papír už obvykle nebyl dále ořezáván a formátován. Zásadní změna tohoto postupu přišla v roce 1799, kdy byl vynalezen a patentován papírenský stroj pro kontinuální výrobu nekonečného papírového pásu (autor Louis-Nicolas Robert). Z charakteru tohoto způsobu výroby přímo vyplývá potřeba tento papírový pás ze stroje navíjet na role (v dnešní době velmi objemné a hmotné – až desítky tun) a následně ho dále upravovat podélným i příčným řezáním. Za tím účelem se obvykle hned za papírenský stroj (nebo přímo jako jeho součást) řadí převíjecí řezačky, jelikož šířka vyráběného papírového pásu dosahuje velikostí i přes 10 m a produkce dnešních papírenských strojů může přesáhnout až 2 000 m/min. Řezací stroje však nacházejí hojně uplatnění i ve zpracovatelských a úpravárenských firmách, kde z rolí dodaných papírnou vznikají specifické produkty. [1][2]

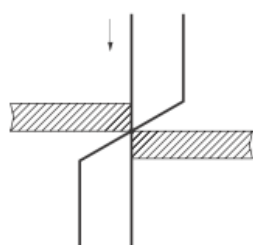
Papír spadá do kategorie tzv. „tenkých materiálů“ (s tloušťkou výrazně menší oproti šířce a délce), které lidé vyrábějí a dále zpracovávají už téměř pět tisíc let od dob používání papyru ve starověkém Egyptě. Dalšími takovými materiály jsou například fólie, lepenka, molitan, textilie a tkaniny a další. Na všechny tyto materiály je možné aplikovat principy řezání papíru a upravovat tak na řezačkách jejich rozměry. Vše je otázkou pouze nastavení optimálních technologických a výrobních parametrů a vhodných konstrukčních úprav řezacích strojů. [1][2]

Cílem této práce je navrhnout rekonstrukci stávající podélné řezačky folie, upravit ji pro zpracovávání papírových rolí a odstranit její konstrukční a výrobní nedostatky pro zlepšení její využitelnosti v podniku. Zadavatelem práce je firma **Stepa s.r.o., Lanškroun**, která se specializuje na podélné a příčné řezání a potisk papíru, umělých i kovových fólií, textilií a dalších materiálů dle specifických požadavků zákazníků. Vyrábí produkty z papíru se zaměřením na kancelářské, školní a výtvarné potřeby a pokladní a parkovací servis. Zpracovává vysoce kvalitní tissue papír pro výrobky průmyslové i každodenní hygieny, ale také například knihařská plátna, kartony, molitanová těsnění a další produkty pro český i evropský trh. [2]

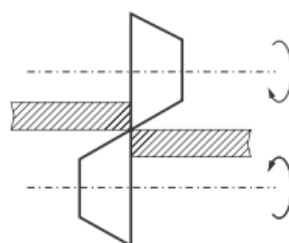
2 Řezání tenkých materiálů

Řezací stroj je možné definovat jako zařízení, které slouží k dělení materiálu. Samostatnou kategorií řezacích strojů pak tvoří ta zařízení, která se využívají ke zpracování tzv. tenkých materiálů (viz kapitola 1) podélným nebo příčným řezáním. Pro tyto stroje je základním vstupním prvkem (polotovarem) role navinutého pásu materiálu (pozn.: vzhledem k zaměření práce se bude primárně mluvit o papíru, ale princip je stejný i pro ostatní tenké materiály), ze které je tento pás na začátku pracovního procesu odvíjen a při průchodu strojem následně zpracováván specifickým dělicím způsobem. Výjimku představují stroje určené k řezání formátů (obvykle stolové řezačky), pro které jsou polotovarem archy vzniklé příčným řezáním a větší formáty.

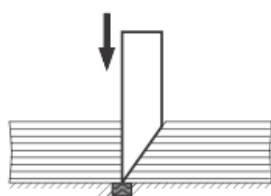
Řezání je v praxi běžně používaný termín pro dělení materiálu – odtud pochází i české označování strojů: řezačky. Z technologického hlediska však řezací mechanismy těchto strojů pracují buď na principu dělení materiálu **řezem** nebo **stříhem** kruhovými nebo plochými noži (Obr. 1), případně využívají různé **nekonvenční technologie**, jako je například laser nebo vodní paprsek.



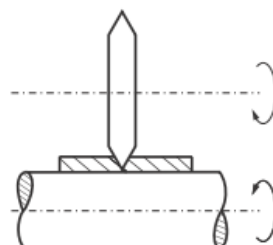
Střih plochými noži



Střih kruhovými noži



Řez plochým nožem



Řez kruhovým nožem

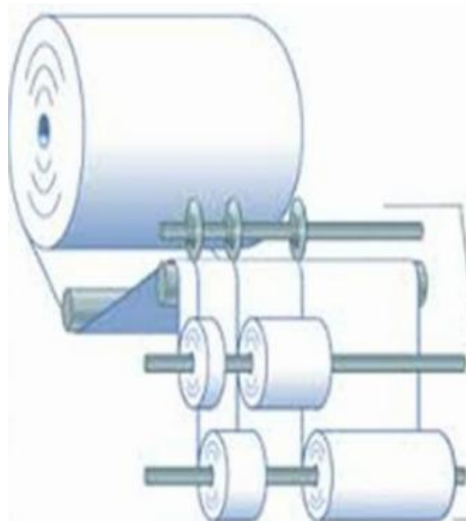
Obr. 1.: Řez a střih plochými nebo kruhovými noži [4]

Další, co je nutné u řezacích strojů rozlišit, je operace, která na nich probíhá, z hlediska směru dělení pásu materiálu: **podélné řezání** („z role na roli“ [2]; úprava šířky papírového pásu), nebo **příčné řezání** – archování („z role na archy“ [2]; dělení pásu papíru na jednotlivé listy). Pro úplnost je možné uvést ještě **řezání formátů** („z velkých archů na menší formáty“ [2]) a **tvarové řezání** (vyřezávání komplikovanějších tvarů s využitím nekonvenčních či speciálních technologií). Každý z těchto postupů využívá některý z technologických principů uvedených dříve v závislosti na konstrukci stroje a řezaném materiálu.

Pozn.: Vzhledem k tomu, že v oblasti řezání tenkých materiálů mnohdy neexistuje jednotná česká terminologie, budou dále v textu používány i anglické termíny, které se často používají i v české praxi.

2.1 Podélné řezání

Podélné řezání představuje změnu šířky papírového pásu jeho dělením na menší pruhy materiálu (Obr. 2). Cílem podélného řezání je jednak upravit rozměry původní role materiálu (zmenšit šířku, jiný průměr návinu na jinou velikost dutinky) pro vytvoření produktu požadovaného zákazníkem (např. kotoučky do pokladen odpovídajících rozměrů), nebo dále upravovat produkty předchozích operací (např. ořez okrajů potištěného pásu papíru hned za potiskovacím strojem).



Obr. 2.: Podélné řezání [5]

Existují dva základní přístupy, kterými lze tohoto efektu dosáhnout: tzv. **log slitting**, kdy dochází k rozřezání původní role materiálu na jednotlivé kotouče, nebo běžnější způsob – podélné řezání na **převíjecích řezačkách**.

2.1.1 Log slitting



Obr. 3.: Log slitting [6]

Jedná se o přímé řezání navinuté role (Obr. 3) jako celku rotačním kotoučem (častěji hladkým, ale může být i ozubený). Tento způsob představuje výjimku od ostatních variant podélného a příčného řezání tenkých materiálů, jelikož během pracovního cyklu stroje nedochází k odvíjení materiálu z dutinky, ale řezací nástroj přímo odděluje jednotlivé kotoučky i s dutinkou z původní role. Je však třeba si uvědomit, že poměr dutinky a tloušťky návinu je značně limitován velikostí řezacího mechanismu (zejména pak průměrem řezacího kotouče), a vzhledem k charakteru práce stroje musí mít role vložená jakožto polotovar průměr a návin odpovídající požadovanému výslednému výrobku, proto je obvykle nutné samotný převíjecí proces zařadit jako součást přípravy polotovaru ještě před jeho vložením do řezacího stroje.

Pracovní cyklus stroje je následující: nejprve je do stroje na poháněný upínací trn nebo hřídel nasazena role materiálu. Následně dojde k roztočení kotouče a řezací těleso, které kotouč drží, se začne přibližovat k roli. Kotouč začne dělit materiál (stejným způsobem jako cirkulární pila při řezání dřeva nebo plastů včetně odpovídajících řezných podmínek) za současného otáčení trnu s upnutým polotovarem a přibližovací posuv trvá tak dlouho, než dojde k úplnému odříznutí návinu a dutinky pod ním, čímž je získán hotový kus. Pak se buď řezací těleso, nebo role na trnu posune o požadovanou šířku řezaného kotouče a celý proces se opakuje až do nařezání celé role (případně odříznutí požadovaného počtu kotoučků).

Nespornou výhodou tohoto způsobu řezání materiálu je možnost dosahovat velmi malé šířky výsledného odřezávaného kotouče či role (až 2 mm s přesností 0,1 mm [6][7]), navíc tento princip umožňuje vysokou míru

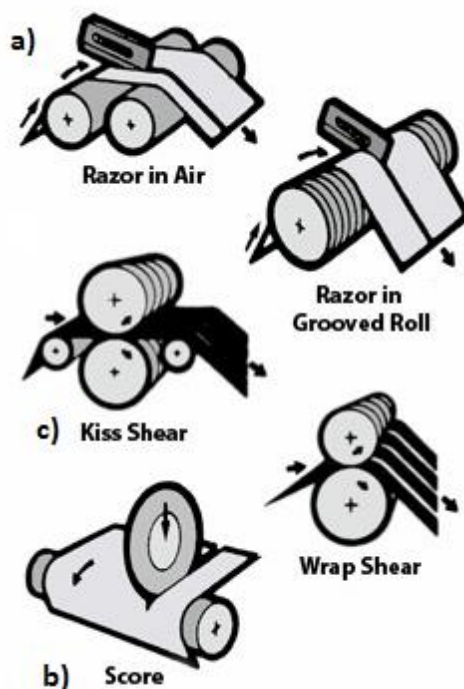
automatizace a elektronického řízení celého pracovního cyklu, s čímž souvisí i velká produktivita (zvláště při sériovém či paralelním spojení několika řezacích těles). To je vykoupeno omezením řezaných průměrů na příslušných velikostech dutinek a nezbytnou předchozí přípravou polotovaru.

2.1.2 Podélné řezání na převíjecích rezačkách

Řezání na převíjecích rezačkách představuje nejběžnější způsob podélného dělení tenkých materiálů. Těmto strojům bude dále věnována samostatná kapitola 3; jejich základní princip spočívá v tom, že materiál se odvíjí z původní role, přes různé napínací a vodící válce prochází strojem až k řezacímu ústrojí, kde je rozdělen (rozřezán) na jednotlivé pásy a ty jsou dále vedeny k navíjecím hřídelím a opět navinuty do kotoučů.

Rozdělujeme tři základní konvenční mechanické principy podélného řezání na převíjecích rezačkách (Obr. 4):

- a) řez žiletkovým nožem (*razor slitting*),
- b) řez kruhovým nožem (*score cut*),
- c) stříh kruhovými noži (*shear slitting*).



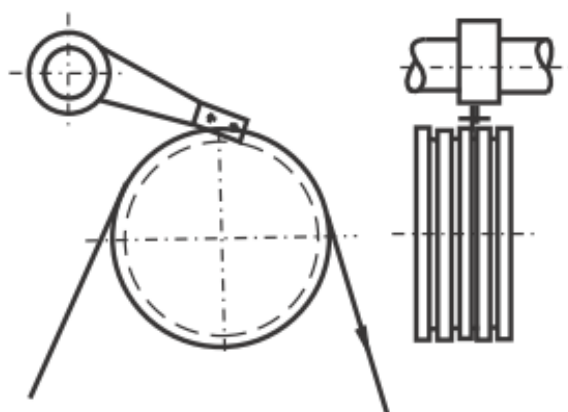
Obr. 4.: Konvenční způsoby podélného řezání [8]

Alternativou k těmto způsobům jsou pak nekonvenční technologie.

Řez žiletkovým nožem

(*razor slitting, burst slitting* – rotační nůž místo žiletky)

Tento způsob využívá k dělení materiálu pouze jeden nůž, jehož čepel může být buď volně umístěná ve vzduchu (Obr. 4 – Razor in Air), nebo zapuštěná v drážce válce opásaného materiálem (Obr. 4 – Razor in Grooved Roll, Obr. 5). Pás materiálu je tažen proti ostří čepelky, která ho rozřezává. Řezný odpor je překonáván tahem řezaného materiálu. [4]



Obr. 5.: Řez žiletkovým nožem [4]

Řezání s čepelí zapuštěnými v drážkách opásaného válce je výhodné jednak při dělení tužších materiálů na větší množství úzkých pásků, jelikož tento způsob zajišťuje stranové vedení nožů, a tudíž i jejich menší vychylování při řezání, a dále zejména při zpracovávání pružných fólií pomáhá opásání válce napínat materiál a zároveň tření na válci brání stranovému posuvu materiálu v okamžiku oddělení sousedních pásků. Tyto vlastnosti se příznivě promítají do kvality a přesnosti řezu, na druhou stranu vyžadují na stroji rozšíření řezacího mechanismu o další hřídel s příslušenstvím (rozpěrky, spodní nože apod.) a výrazně delší čas k seřízení polohy nožů a drážek.

Jako nože se používají průmyslové žiletky (často ještě kalené), ale také například čepel odlamovacích nožů nebo skalpely, případně pak rotační nože (metoda *burst slitting*) nebo jakékoliv jiné vhodné čepel, záleží pouze na jejich odpovídajících držácích.

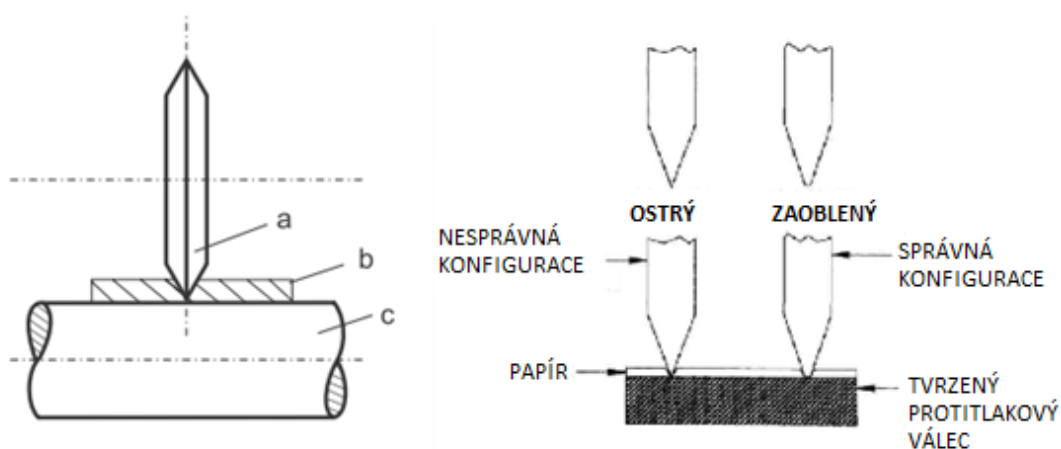
Tento způsob podélného řezání se využívá pro dělení tenkých a neabrazivních, případně velmi pružných materiálů, jako jsou umělé i hliníkové fólie a některé textilie, naopak není vhodný pro řez pevných, neohebných a abrazivních materiálů větší tloušťky, které by příliš rychle opotřebovaly břit

nože. Jedná se o ekonomicky nejlevnější variantu podélného řezání díky snadnému a rychlému seřízení a následným výměnám opotřeбенých nožů, má však i řadu nevýhod: jednak je obtížnější dosáhnout požadovaných tolerancí přesnosti řezu, a dále při větších řezných rychlostech může docházet k leštění a tepelnému ovlivňování hran řezaného materiálu, a pokud je množství vzniklého tepla dostatečně velké, může dojít až k natavování okrajů materiálového pásu a vytvoření zpevněného lemu, což má za následek výrazné snížení kvality řezu. [8][9]

Řez vtláčovacím kruhovým nožem proti rotujícímu válci

(crush cutting, score cut)

Jedná se o nejstarší používanou metodu podélného řezání. Tento způsob využívá kruhový nůž se zaoblenou (otupenou) čepelí, který stlačuje materiál proti spodnímu protitlakovému válci s tvrzeným povrchem, což způsobuje rozrušování materiálu až do odtržení dvou jeho vedlejších pásů (Obr. 4 – Score, Obr. 6).

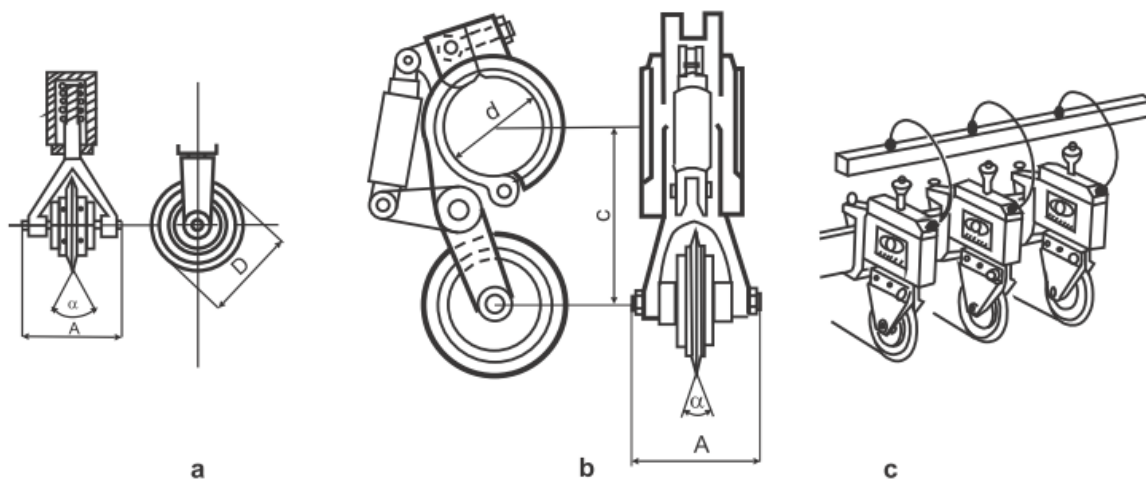


Obr. 6.: Řez kruhovým nožem [4][9]

a – kruhový nůž, b – řezaný materiál, c – spodní válec (poháněný)

Spodní válec je poháněný a zajišťuje posun materiálu pod čepel nože, který se otáčí rychlostí odpovídající pohybu materiálu díky tření mezi ním a pohybujícím se materiálem. Zajištění pružného přitlaku nože proti spodnímu válci závisí na konstrukci nožového držáku, přitlačnou sílu lze vyvodit buď pružinou, nebo pneumaticky (Obr. 7). Správné otupení (zaoblení ostří) kruhového nože má zcela zásadní vliv na kvalitu řezu, protože velmi ostrý nůž sice zajišťuje nejlepší řezné

vlastnosti, na druhou stranu při přílišné ostrosti čepule by docházelo k jejímu velmi rychlému nepravidelnému opotřebení vlivem kontaktu s protitlakovým válcem (který by byl ostrým nožem zároveň poškozován), což by mělo za následek nepravidelnost při řezání a stav řezaných hran by se úměrně tomu zhoršoval.



Obr. 7.: Držáky kruhových nožů [4]

a – pružinový přítlak, b – pneumatický přítlak, c – sestava nožů v držácích s pneumatickým přítlakem

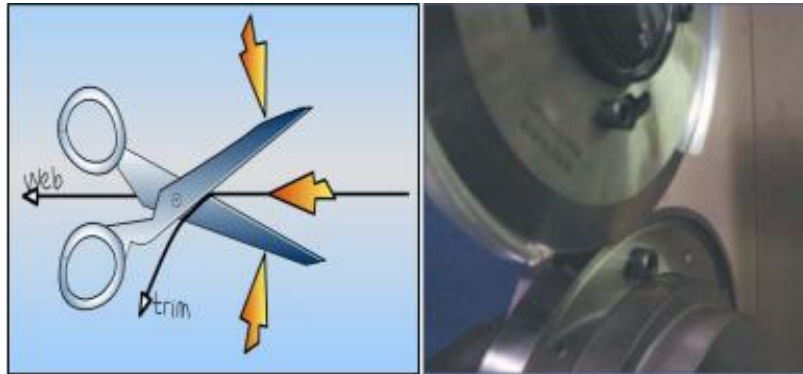
Tato metoda podélného řezání je vhodná pro dělení lepivých, přilnavých materiálů citlivých na tlak, protože řez vytváří „suché“, nepřilnavé hrany. Výhodou řezu kruhovým nožem proti rotujícímu válci je stejně jako u řezání žiletkovými noži snadné a rychlé seřízení řezacího mechanismu. Mezi nevýhody patří nižší kvalita řezu, při řezání papíru tato metoda vytváří prach, který zanáší zařízení, a pokud se v řezaném materiálu (zejména u tenkých plastových fólií) objeví vada, tento způsob dělení může způsobovat jeho protahování a deformace, což může mít za následek produkci zmetkových výrobků. [8][9]

Princip řezání vlačovacím nožem však nachází uplatnění ještě v dalších způsobech podélného zpracování tenkých materiálů, kde by se velmi obtížně nahrazoval nějakou jinou technologií, a sice při operacích perforování, bigování a rádlování. Při perforaci se používají ostřejší kruhové nože s pravidelně rozmístěnými zářezy po obvodu, které částečně nařezávají materiál pro jeho snadné budoucí odtržení. Bigování slouží k přípravě papíru pro následné ohýbání; využívá naopak velmi tupý nůž, který pouze vytlačí v materiálu drážku. K rádlování pak slouží rádlovací kola s odpovídající strukturou povrchu.

Střih kruhovými noži

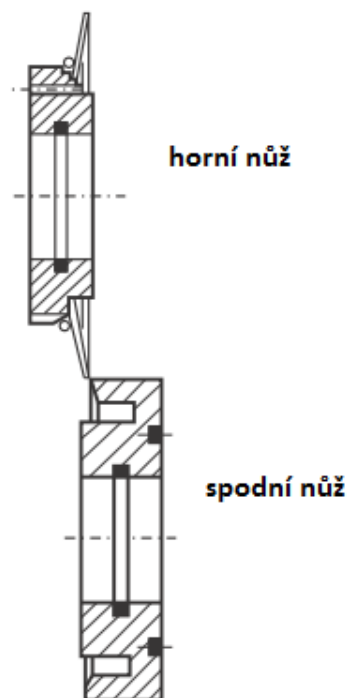
(*shear slitting*)

Střih kruhovými noži (Obr. 4 – Kiss Shear, Wrap Shear) využívá stejného dělicího efektu, který se projevuje při stříhání papíru klasickými ručními nůžkami, tedy dvěma šikmo skloněnými plochými noži (Obr. 8). [10]



Obr. 8.: Efekt stříhu kruhovými noži [5]

Jako řezací nástroj však v tomto případě slouží kombinace dvou kruhových nožů (Obr. 9) – horního (*top knife, male knife*) a spodního (*bottom knife, female knife*), které jsou ve vzájemném překryvu a papír je veden mezi nimi. Nastavení optimální polohy obou nožů vůči sobě a zároveň vůči směru vedení řezaného materiálu představuje kritický faktor, od kterého se odvíjí kvalita celého řezného procesu. [11]



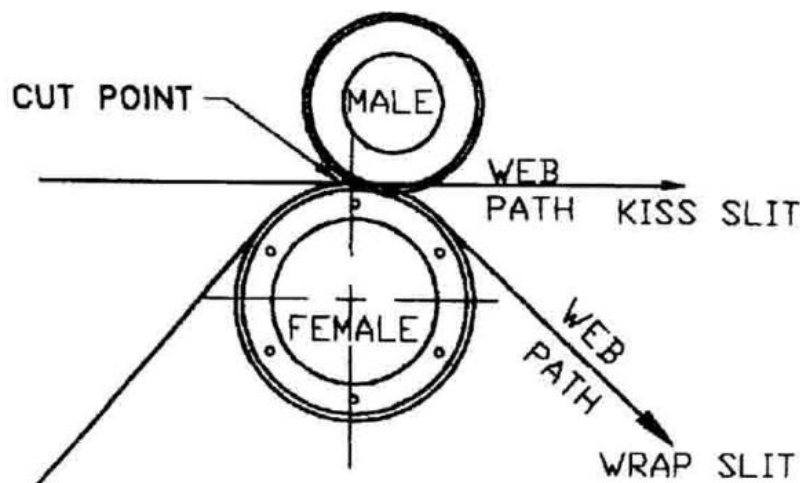
Obr. 9.: Soustava kruhových nožů [4]

Poměr rotační (obvodové) rychlosti nožů vůči rychlosti pohybu papíru naopak čistě z hlediska samotného stříhu nehraje zásadní roli, což se dá velmi dobře ukázat právě pomocí příkladu s ručními nůžkami: když je rychlost kruhových nožů větší než rychlost papíru, dochází ke stejnému efektu jako při plynulém svírání nůžek, když jsou naopak nože pomalejší, nastává případ, kdy nůžky jsou rozevřené v určitém úhlu a papír je jimi protahován. V obou případech dojde k rozstřížení papíru a kvalita stříhu je dána pouze nastavením vzájemné polohy nožů. [10][11] Je však nutné si uvědomit, že při podélném dělení papíru touto metodou dochází k určitému opásání spodních nožů stříhaným pásem materiálu, tudíž minimálně obvodová rychlost spodního nože musí odpovídat rychlosti papíru, jinak by docházelo k hnutí řezaného materiálu. Jelikož pohyb papíru zajišťuje určitý hnaný tažný element (např. poháněný válec, navíjecí hřídel apod.) a spodní nožový válec (tj. hřídel se spodními noži a rozpěrkami) je běžně také poháněný, je nutné pohony těchto dvou prvků vzájemně synchronizovat ať už mechanickým převodem nebo elektronickým řízením, aby byly jejich obvodové rychlosti a tudíž i rychlosti papíru a spodního nože vyrovnané. Malé rozdíly mezi rychlostí pásu materiálu a spodního nože pokryje prokluz papíru po ocelovém spodním noži, je však žádoucí tyto odchylky mezi rychlostmi v maximální možné míře eliminovat.

Jak už bylo řečeno, spodní nože jsou obvykle nějakým způsobem poháněné, aby se minimalizovalo skluzové tření mezi nimi a papírem a usnadnil se náběh materiálu do stříhu. U horních nožů není vnější pohon nezbytný, neboť jsou roztáčeny jednak pohybujícím se řezaným materiálem a dále třením mezi nimi a spodním nožem, jelikož mezi oběma noži dochází ke kontaktu v místě jejich překryvu, přičemž potřebný stranový přítlak nutný pro dodržení těsného dotyku nožů zajišťuje určitý pružný nebo pneumatický element (např. vinutá pružina po obvodu držáku horního nože – Obr. 9). Tento element má zároveň i další funkci: jednak pomáhá tlumit vibrace vznikající při stříhu a dále slouží i jako pojistný prvek, jelikož umožňuje částečný odklon horního nože od spodního v případě, že by se v řezaném materiálu vyskytl nějaký příliš tvrdý objekt, který by při pevném upnutí nože mohl způsobit vylomení ostří. [4] Někdy je však výhodné horní nože také pohánět, zejména při použití spodních nožů menších průměrů (60–80 mm a méně) a většího počtu nožů při řezání úzkých pásů pružných materiálů, protože v takovém případě by horní nože měly tendenci hrnout materiál. Při řešení pohonu

horních nožů se pak doporučuje dbát na to, aby jejich obvodová rychlost byla alespoň o 5 % větší než rychlost papíru, což vylepší podmínky při stříhu (zmenšení střížných sil – za jednu otáčku nože je děleno menší množství materiálu [11]).

Řezací mechanismus využívající stříh kruhovými noži může mít dvě různá uspořádání (Obr. 10):



Obr. 10.: *Wrap slitting X Tangent slitting* [9]

Wrap slitting (Obr. 4 – Wrap Shear, Obr. 23) – řezání s opásáním spodního nože představuje variantu, při které je materiál veden po určité výseči obvodu spodního nožového válce dané úhlem opásání. Toto uspořádání zajišťuje při správné poloze nožů vůči sobě i vůči papíru nepřetržité napínání a vedení materiálu během celého dělicího procesu, díky čemuž lze dosáhnout maximální přesnosti a kvality řezu a minimalizace zvrásnění, zvlnění či průvěsů děleného materiálu. Tato technologie je ideální pro řezání papíru, není však zcela vhodná pro materiály, jako je například hedvábný tissue papír, který má tendenci se odtrhávat, nebo pro vrstvené či tuhé materiály, které se obtížně ohýbají. Nevýhodou této konfigurace stříhu kruhovými noži je hlavně její časově náročné seřizování při změně požadované šířky řezání, neboť spodní nožový válec kvůli opásání materiálem sestává ze spodních nožů a rozpěrek stejného průměru a je nutné ho při změně šířky řezání pokaždé vyjmout nebo vyklonit ze stroje a nože s rozpěrkami sundat a znovu nasadit v odpovídajícím uspořádání pro podmínky nové zakázky. [9][11]

Tangent (kiss) slitting (Obr. 4 – Kiss Shear, Obr. 24) – tangenciální řezání minimalizuje kontakt materiálu s noži, dochází k němu pouze v místě stříhu a jeho

nejbližším okolí. Tato varianta vyžaduje velmi přesné seřízení polohy nožů vůči sobě a vůči náběhu papíru, neboť ke kontaktu materiálu s horním nožem musí dojít až po jeho doteku se spodním nožem a zároveň předtím, než se kontakt materiálu se spodním nožem přeruší, jinak by nedošlo k požadovanému stříhu, ale naopak k velmi nepříznivému trhání děleného materiálu. Nevýhody v podobě méně přesného řezu (jelikož oproti uspořádání wrap slitting není při tangenciálním řezání materiál dostatečně napínán během stříhu) a požadavku na přesné seřízení vzájemné polohy nožů kompenzuje tato varianta hlavně velmi rychlým nastavením polohy nožů při změně šířky řezání, neboť sestava spodních nožů na hřídeli už nemusí nutně obsahovat rozpěrky, a tudíž není nutné pokaždé vyjmát hřídel ze stroje a nože s rozpěrkami opětovně nasazovat, ale stačí pouze změnit polohu držáků nožů a řezání může pokračovat. [10][11]

Střih kruhovými noži představuje nejpřesnější konvenční způsob dělení tenkých materiálů, umožňuje řezat největšími rychlostmi při minimálním opotřebením a dlouhé životnosti nožů a vysoké kvalitě řezu. Využívá se pro zpracování papíru, kovových a silnějších umělých fólií a laminátů. Naopak není vhodný pro řezání tenkých a pružných fólií, jelikož tyto materiály mají tendenci se při stříhu zkrucovat a natahovat a k oddělení dvou vedlejších pásů dochází až odtržením vlivem tahu materiálu, což výrazně snižuje kvalitu řezu. Nevýhodou stříhu kruhovými noži je zejména požadavek na velkou přesnost při návrhu i seřizování řezacího mechanismu, větší časová náročnost úpravy zařízení při změně řezaných šířek a samozřejmě také nutnost mít pro každý řez nikoliv jeden, ale dvojici přesně nabroušených nožů. [8][9]

Nekonvenční technologie

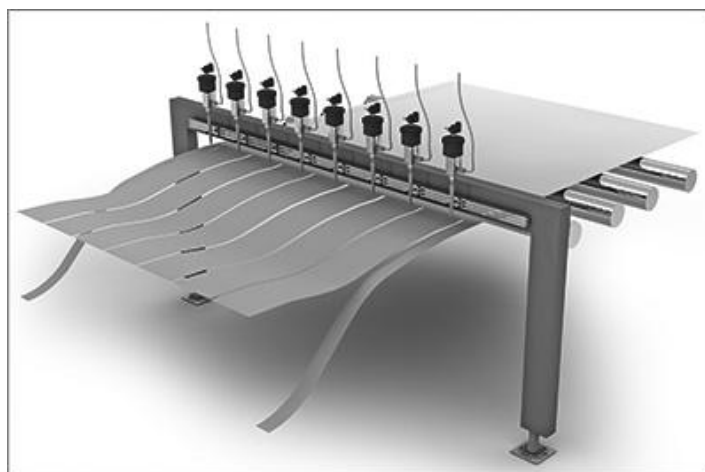
Nekonvenční technologie představují velmi dobrou alternativu při podélném i příčném řezání tenkých materiálů, neboť dosahují stejných, nebo dokonce lepších kvalitativních vlastností řezu, jejich využití je však v oblasti podélného a příčného řezání stále spíše ojedinělé, výrazně se však uplatňují při tvarovém řezání, kdy by použití klasických technologií nebylo technicky možné nebo bylo příliš nákladné, a kde naopak souřadnicově řízená řezací hlava nekonvenčního nástroje umožňuje vyřezávání i nejsložitějších a nejjemnějších tvarů. Využívá se jednak paprsková řezací technologie, konkrétně dvě její varianty: řezání laserem

nebo vodním paprskem, a dále řezání ultrazvukem nebo rozžhaveným drátem. Velkou výhodou paprskových technologií je, že nedochází ke kontaktu nástroje s řezaným materiálem, a tudíž ani k jeho opotřebení, díky čemuž není kvalita řezu závislá na stavu ostří řezacích nožů a výrazně se prodlužuje interval výměny nástroje, a tedy i provozní cyklus stroje bez nutnosti častého přerušování výrobního procesu. Mezi další výhody nekonvenčních technologií patří právě jednoduché a rychlé polohování (při podélném řezání změna šířky řezu) a vysoké řezné rychlosti.

Řezání laserem využívá tepelného účinku laserového paprsku na řezaný materiál. Standardně se používají CO₂ lasery a dva základní principy řezání: sublimační a tavné. Při zpracování papíru se využívá spíše sublimační řezání, kdy dochází k prudkému odpaření materiálu pod laserovým paprskem a tato pára, kterou na čele řezu odstraňuje pomocný plyn laseru, zároveň odvádí z místa řezání vzniklé teplo, což výrazně zmenšuje tepelné zatížení a ovlivnění papíru. V případě tavného řezání, které se využívá například při zpracování textilních nebo kovových, ale i papírových materiálů, je řezaný materiál lokálně natavován laserovým svazkem a odstraňován z místa řezu proudem asistenčního plynu. Výhodou laserového řezání je kromě obecných předností nekonvenčních technologií hlavně vysoká kvalita řezu bez deformování řezných hran (což je problém např. vysekávání) a možnost řezat extrémně drobné kontury prakticky bez vnitřních rádiusů. Pro zpracování papíru navíc postačují lasery s malým výkonem a samotné řezání je nákladově vysoce efektivní v malých i středně velkých objemech produkce. Kromě samotného řezání a perforování nachází laser uplatnění také při gravírování textu, log nebo obrázků. [12][13][14]

Řezání vodním paprskem (Obr. 11) využívá kinetickou energii vysokotlakého a vysokorychlostního vodního paprsku. Vychází z technologie řezání tvrdých materiálů abrazivním vodním paprskem, u kterého jsou do kapaliny přimíchány abrazivní částice pro zrychlení a zefektivnění řezného procesu, při zpracování papíru se však používá pouze čistý vodní paprsek, který svým tlakem proniká do materiálu a postupně ho obrušuje a rozrušuje. Jedná se o ekologickou a zároveň vysoce efektivní technologii: podélné řezání vodním paprskem je nejrychlejší metodou řezání papíru (rychlost řezu 600–1500 m/min [4]) s energetickou účinností kolem 80 % [12]**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..** Řez přitom zůstává vysoce přesný a kvalitní s minimální řeznou spárou; vodní paprsek

nedeformuje řezaný materiál na hranách řezu a netřepí je, také neporušuje např. profily vln při řezání vlnité lepenky; velmi důležitým aspektem je vytváření tzv. studeného řezu, jelikož nedochází k žádnému tepelnému (ani fyzikálnímu, chemickému či mechanickému) ovlivnění řezaného materiálu; velkou výhodou vodního paprsku je i řezání bez tvorby prachu či zplodin. Tato technologie je vhodná pro řezání většiny druhů papíru, různých umělých fólií, díky bezprašnému řezu se uplatní i při zpracování tkanin a textilií (mj. i při řezání materiálu jednorázových plen, který při řezání konvenčními způsoby vytváří velké množství prachu, což přináší značné komplikace jak pro samotné řezací zařízení, které je tímto prachem zanášeno, tak pro obsluhu stroje). [4][12][15][16]

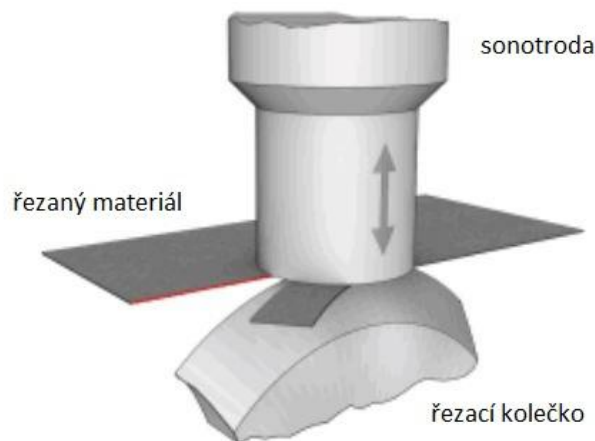


Obr. 11.: Podélné řezání vodním paprskem [15]

Řezání ultrazvukem (Obr. 12) spočívá v použití speciální sonotrody s nožovým zakončením, případně v použití řezacího kolečka jako protikusu ploché sonotrody, pomocí jejíhož kmitavého pohybu dojde k aplikování velmi vysoké ultrazvukové energie v místě kontaktu bříty nožové sonotrody (nebo řezacího kolečka) s řezaným materiálem. Vibrující čepel snadno vniká do materiálu, ultrazvuková energie navíc rozkmitává jeho molekuly a materiál se vzniklým teplem natavuje, následně pak dochází k mechanickému oddělení jednotlivých řezaných ploch. Ultrazvukové řezání se uplatňuje zejména při řezání textilií z umělých, termoplastických vláken, jelikož tato metoda díky zatavování materiálu v místě řezu brání třepení okrajů. [17][18]

Řezání odporovým drátem je postaveno na principu velkého ohřevu řezacího nástroje (drátu, nebo dokonce nože), kterým prochází elektrický proud. Rozžhavený drát je pak protlačován řezaným materiálem a při kontaktu ho natavuje, což umocňuje dělicí efekt a zároveň podobně jako řezání ultrazvukem

vytváří tato technologie zatavené a netřepící se hrany. Nevýhodou této metody je poměrně malá rychlost řezu, a tudíž i větší tepelné ovlivnění materiálu, navzdory tomu však přesto nachází využití při zpracování umělých textilií, fólií nebo materiálů na bázi polystyrenu.



Obr. 12.: Řezání ultrazvukem [18]

2.2 Příčné řezání

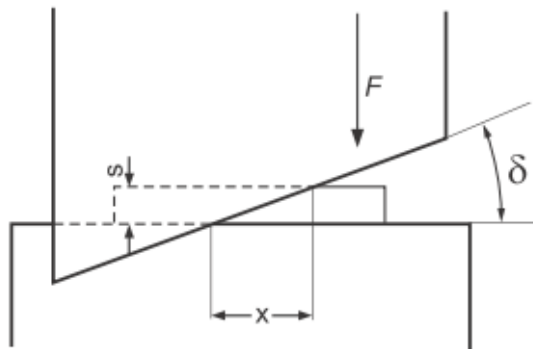
Příčné řezání, nebo také jinak **archování**, představuje dělení materiálu na jednotlivé listy – archy. Stejně jako u podélných převíjecích řezaček i u archovacích strojů (archovaček) dochází k odvíjení materiálu z původní role, přičemž je papír následně příčně řezán na jednotlivé listy, které jsou skládány do stohů. Moderní příčné řezačky umožňují pro zvýšení produkce odvíjení z několika hřídelí (může jich být až 16 [2]) současně, pásy materiálu jsou následně slisovány k sobě a řezací mechanismus dělí všechny vrstvy najednou.

2.2.1 Technologie příčného řezání

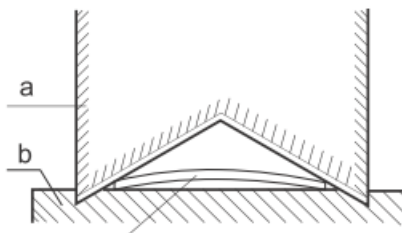
I když se řezací mechanismy příčných řezaček (viz kapitola 2.2.2) liší, všechny používají stejný technologický princip dělení materiálu: **střih plochými noži** (Obr. 1). Dělení probíhá ve dvou fázích. Nejprve dochází k vtačování nožů do materiálu, který je namáhán v ohybu. Pokračující pohyb nožů zvyšuje napětí materiálu v lince střihu až do překročení meze pevnosti, kdy dojde k přestřižení. [4]

Základním způsobem příčného řezání je **střih rovnoběžnými noži**, při kterém dochází k dělení materiálu v celé šířce papírového pásu najednou. Tento způsob je však energeticky velmi náročný, protože při něm dochází ke vzniku

poměrně velkých střížných sil (definovaných jako součin pevnosti ve stříhu a průřezu papírového pásu), což vyžaduje robustní konstrukci strojů a větší nároky na pohon zařízení. Proto se u mechanismů, kde je to možné, s výhodou využívá **střih skloněnými noži** (tzv. gilotinové řezání – Obr. 13), kdy je břit horního nože vůči poloze spodního nože skloněn o určitý úhel. Při tomto způsobu dochází k okamžitému stříhu pouze v dílčí části šířky papírového pásu dané úhlem sklonu nože (Obr. 13 – δ), což výrazně zmenšuje stříhaný průřez, a tudíž i snižuje potřebnou střížnou sílu. Sklonění břitu však zároveň prodlužuje dráhu nože a tím i potřebný zdvih stroje, a také vyvolává nežádoucí stranově působící sílu, která vytlačuje materiál ze záběru stříhu (což vyvolává úchytky od pravouhlosti stříhu), úhel sklonu nože je proto nutné volit tak, aby třecí síla mezi spodním nožem a řezaným materiálem byla větší než stranová síla od horního nože, aby nedocházelo k samovolnému bočnímu posouvání a deformacím materiálu. Stranovou sílu je možné kompenzovat také dvoustranným sklonem břitu nože (Obr. 14), toto provedení však může způsobovat ohyb či vrásnění řezaného materiálu, vhodná volba úhlu sklonu nože je proto vždy základním předpokladem pro dostatečně kvalitní řez. [4]



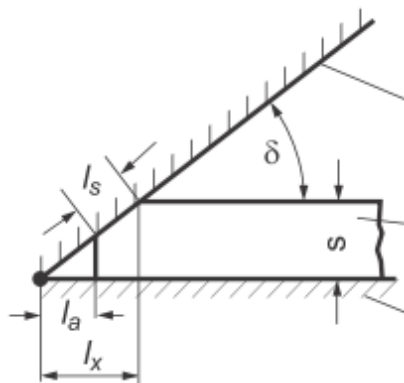
Obr. 13.: Střih skloněnými noži [4]



Obr. 14.: Dvoustranný sklon břitu nože [4]

Zatímco v případě dvou předchozích způsobů docházelo pouze ke svislému pohybu nože, **střih pákovým nožem** (Obr. 15) využívá rotačního pohybu horního

rovného nože proti nepohyblivému spodnímu noži. Jedná se o podobný princip jako při stříhu skloněnými noži, v tomto případě se však úhel sklonu nože zmenšuje v každém okamžiku stříhu v závislosti na poloze nože (příkladem jsou ruční nůžky). Tento způsob však také vyvolává stranové silové účinky, které mohou být zejména na počátku stříhu poměrně značné. Je možné je vyrovnávat například použitím lisovacího břevna, které zvýší třecí sílu mezi spodním nožem a materiálem o tlak břevna a zlepšit tak řezné podmínky, další možností je využití tvarově složitějšího *obloukového pákového nože*, jehož břit je tvarován tak, že v každém okamžiku stříhu svírá se spodním nožem stejný úhel sklonu břitu. [4]

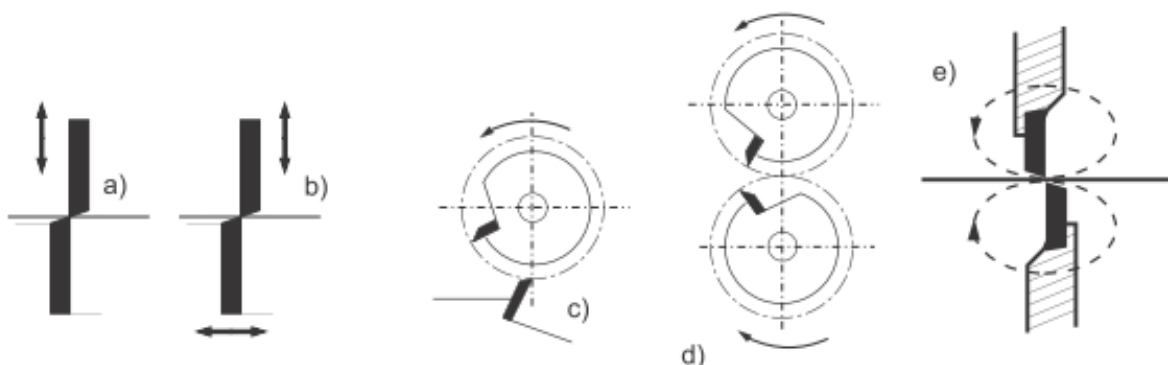


Obr. 15.: Střih pákovým nožem [4]

2.2.2 Řezací mechanismy archovaček

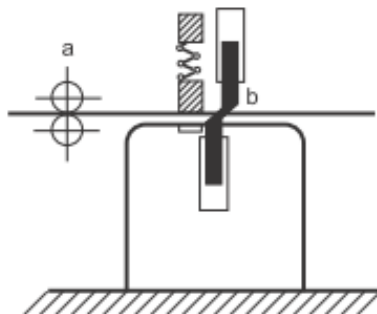
Příčné řezačky využívají pět základních typů řezacích mechanismů (Obr. 16):

- rovinný pohyb horního nože proti spodnímu noži,
- rovinný pohyb horního nože proti spodnímu noži při kmitavém pohybu řezací stanice,
- rotační pohyb horního nože proti nepohyblivému spodnímu noži,
- rotační pohyb horního i spodního nože,
- kmitavý pohyb horního i spodního nože. [4]



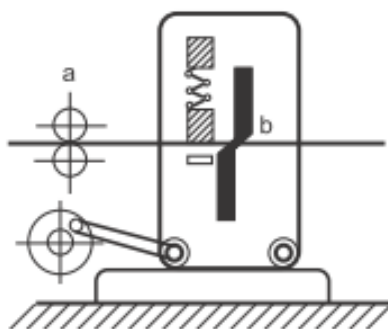
Obr. 16.: Řezací mechanismy příčných řezaček [4]

Střih **rovinným pohybem horního nože proti pevnému spodnímu noži** (Obr. 17) představuje jedinou variantu s přerušovaným pohybem řezaného materiálu (všechny následující varianty už pracují při nepřetržitém posuvu materiálu). Papír je přiveden do řezací části stroje tažnými válci v požadované délce řezu, zastaven a přidržen přítlačným břevnem, a následně dojde ke stříhu přísuvem horního nože. [4]



Obr. 17.: Rovinný pohyb horního nože proti spodnímu noži [4]

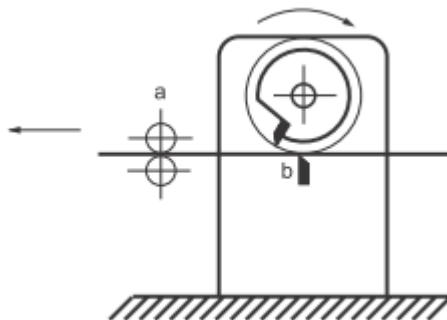
Střih **rovinným pohybem horního nože proti spodnímu noži při kmitavém pohybu řezací stanice** (Obr. 18) je prvním z mechanismů, které umožňují kontinuální pohyb pásu materiálu. Řezací stanice je umístěna na vozíku, který koná kmitavý pohyb tam a zpět rychlostí shodnou s posuvem materiálu. Samotný stříh je realizován stejně jako u předchozího případu posuvem horního nože proti spodnímu. Délka řezu je určena periodou pohybu vozíku a nožů. [4]



Obr. 18.: Rovinný pohyb horního nože při kmitavém pohybu řezací stanice [4]

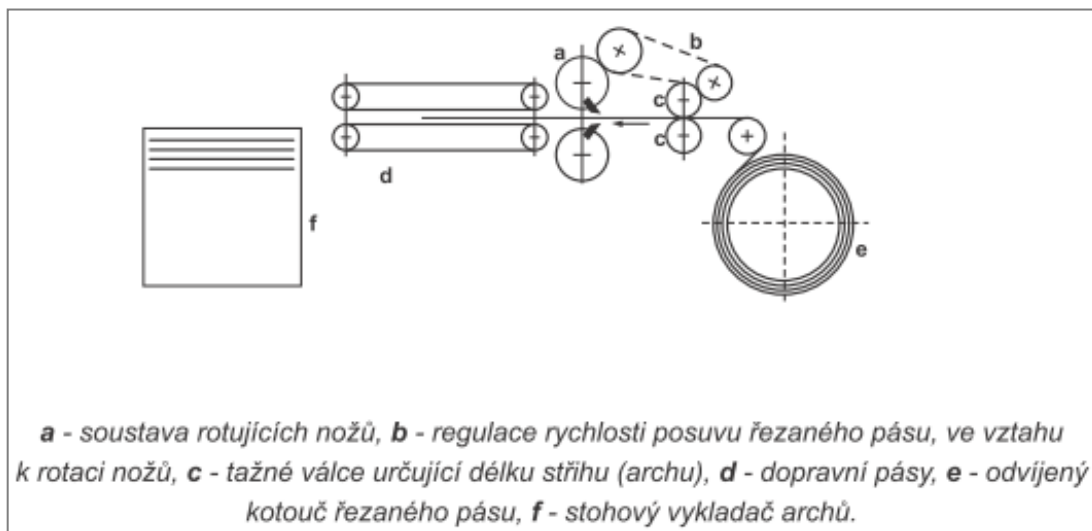
Střih **rotačním pohybem horního nože proti nepohyblivému spodnímu noži** (Obr. 19) se od předchozích variant liší tím, že horní nůž už nekoná přímočarý pohyb, ale je připevněn na rotujícím válci a jeho obvodová rychlost je shodná s rychlostí posuvu řezaného pásu. K oddělení archu dochází vždy jednou za otáčku válce (případně tolikrát, kolik by bylo na válci nožů) při náběhu horního

nože do stříhu proti dolnímu noži. Délka řezu je určena obvodovou rychlostí rotujícího horního nože. [4]



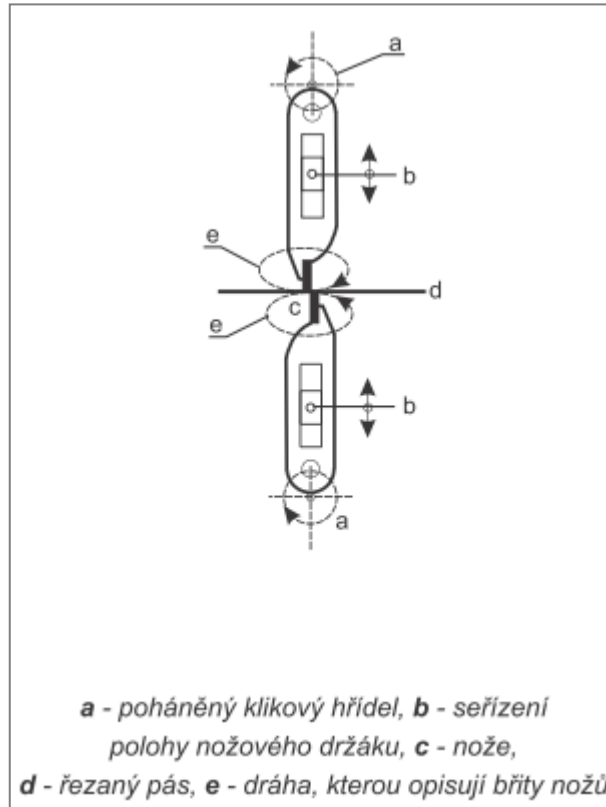
Obr. 19.: Rotační pohyb horního nože proti nepohyblivému spodnímu noži [4]

Střih **rotačním pohybem horního i spodního nože** (Obr. 20) je principiálně stejný s předchozím způsobem, tentokrát jsou však oba nože umístěné na rotujících válcích. Tato varianta umožňuje pomocí speciálního regulačního pohonu měnit délku stříhu při zachování podmínky rovnosti obvodové rychlosti nožů s rychlostí pohybu materiálu, je však velmi citlivá na přesné vzájemné seřízení obou nožů, a právě nevyhnutelné odchylky nastavení nožů a regulačního pohonu mají za následek relativně velké délkové nepřesnosti řezu. [4]



Obr. 20.: Rotační pohyb horního i spodního nože [4]

Poslední variantu představuje **střih kmitavým pohybem horního i spodního nože** (Obr. 21). Jedná se o konstrukčně složitější řešení, které také vyžaduje přesné seřízení nožů, tento mechanismus však umožňuje poměrně jednoduše upravovat délku řezu nastavením polohy os držáků nožů a roztečnou vzdáleností vzájemné polohy soustavy horního a spodního nože. [4]

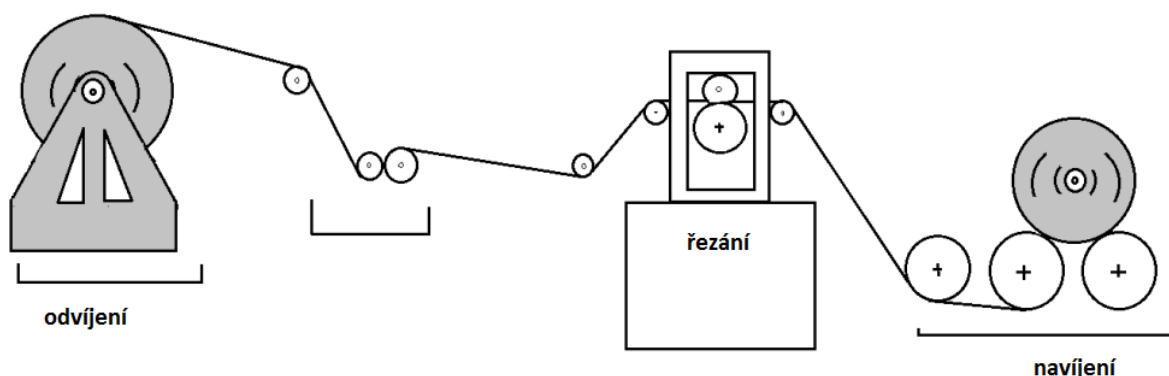


Obr. 21.: Kmitavý pohyb nožů [4]

Pro úplnost je třeba uvést, že i u příčného řezání mohou být uplatněny **nekonvenční technologie**. Jedná se o využití stejných technologických principů a zařízení, které byly popsány u podélného řezání, v případě příčného řezání se však na rozdíl od podélných řezaček nepoužívají archovací stroje založené pouze na nekonvenčních technologiích, ale spíše jsou tato zařízení implementována do složitějších a komplexnějších nekonvenčních řezaček (ať už podélných nebo tvarových) a slouží k dodatečné operaci příčného řezání.

3 Převíjecí řezačky

Převíjecí řezačky představují nejběžnější typ strojů určených pro podélné řezání tenkých materiálů. Ideově vycházejí přímo z principu papírenských strojů pro kontinuální výrobu nekonečného papírového pásu, tj. k dělení materiálu dochází při jeho nepřetržitém průchodu řezacím zařízením. Zatímco v papírnách řezací mechanismy často navazují přímo na papírenský stroj jako jeho součást, firmy zabývající se zpracováním tenkých materiálů používají k podélnému řezání právě převíjecí řezačky. Na nich dochází k plynulému „odebírání“ materiálu z původní role, jeho podélnému řezání a následnému opětovnému navinutí nařezaných pásů do kotoučů požadovaných průměrů. Převíjecí řezačky tedy sestávají ze tří základních částí: odvíjení, řezacího mechanismu a navíjení (Obr. 22). Princip převíjení využívají i příčné řezačky, u nich však za řezacím mechanismem následuje rovnání nařezaných archů do stohů.



Obr. 22.: Schéma převíjecí řezačky [5]

Podélné řezačky jsou však často mnohem komplexnější a komplikovanější, jelikož se kombinují s dalšími stroji a mechanismy. Typickým příkladem je spojení převíjecí řezačky s potiskovacím strojem, kdy za odvíjením následují potiskovací a sušící sekce a teprve po nich řezací zařízení a navíjení, což umožňuje zvýšení produkce stroje, neboť k potisku dochází na širokém pásu materiálu a po rozřezání vychází ze stroje několik totožných výrobků najednou. Dalším příkladem je připojení příčného řezacího mechanismu do podélné řezačky: vzhledem k tomu, že nezanedbatelné množství papírových výrobků (zejména těch hygienických z hedvábného papíru) vyžaduje snadné odtrhávání, zařazuje se do podélných řezaček i operace příčného řezání, která využívá řezací nástroj určený pro příčnou

perforaci. Měření počtu pracovních cyklů perforačního nože zároveň umožňuje jednoduché stanovení velikosti návinu výrobku.

3.1 Dílčí zařízení převíjecích řezaček

Složitější kombinované stroje určené pro specifickou výrobu jsou tvořeny větším množstvím jednotlivých konstrukčních celků, samostatné podélné řezačky však sestávají právě z odvíjecí části, řezacího mechanismu a navíjení, přičemž tyto bloky mohou být doplněné dalšími prvky pro zlepšení funkce a pracovních podmínek stroje.

3.1.1 Odvíjení

Pod pojmem *odvíjení* se kromě samotného procesu rozumí i celá část stroje, která tuto operaci umožňuje. Nemusí se ani jednat o přímou součást řezačky pevně připojenou k dalším komponentám stroje, stačí i samostatný odvíjecí stojan.

Odvíjecí sekce představuje konstrukční celek řezačky, do které je na počátku pracovního cyklu stroje založena role materiálu a odkud dochází k jeho plynulému odvíjení dál do stroje. Právě plynulý pohyb materiálu je velmi důležitým předpokladem pro správnou funkci stroje, neboť během celé převíjecí a dělicí operace musí být pás materiálu neustále zatížen dostatečně velkou a konstantní tahovou silou, která ho napíná, a tak zajišťuje, aby nedocházelo k jeho prověšování, faldování, deformování či jinému poškození při průchodu strojem, řezání i opětovném navíjení.

Role – vstupní polotovar, který je tvořen materiálem navinutým na dutinku, se nasazuje buď na upínací hřídel, nebo mezi rozpínací trny, je zajištěna proti samovolnému protáčení, a při odvíjení materiálu z role dochází k otáčení upínacího prvku (hřídele, trnů) a role jako celku. Odvíjecí sestava je takto realizována z toho důvodu, že upínací prvky jsou napojeny na brzdu, která při odvíjení zpomaluje jejich otáčení a tím napíná odvíjený pás materiálu (brzdit samotnou roli by nebylo vhodné, nebo dokonce ani technicky možné). Brzda pracuje s permanentním prokluzem a nastavením jejího aktuálního brzdného momentu se reguluje požadovaný tah materiálu. V případě, že konkrétní řezačka slouží ke zpracování rolí velkých rozměrů (s nezanedbatelnými setrvačnými účinky) a jemných či velmi tenkých materiálů (hedvábný papír, umělá, např. potravinářská fólie apod.), u kterých by odvíjení prostým tahem materiálu mohlo způsobovat jeho trhání nebo výraznou deformaci, je vhodné opatřit odvíjecí

sekcí buď vlastním řízeným pohonem, nebo přívodem krouticího momentu pomocí mechanického převodu, který usnadňuje otáčení upínacího prvku s rolí a ve spojení s brzdou umožňuje velmi přesně regulovat tažnou sílu v materiálu. [5]

Odvíjecí část stroje může být konstrukčně řešena jako pevná s jediným možným pohybem – rotací upínacího prvku. Vzhledem k tomu, že však dráha materiálu strojem může být velmi dlouhá (u velkých řezaček kombinovaných s potiskovacími stroji i několik desítek metrů) a strojní součásti, které přicházejí s materiálem do kontaktu, nikdy nejsou vyrobeny a namontovány absolutně přesně, stejně tak vstupní role nemusí být dokonale navinuta, dochází při průchodu materiálu strojem k jeho vychylování z původní polohy stanovené pozicí role na upínacím prvku, což má za následek vytváření nestejnomyšerného tahu, vlnění, faldování a nepřesného řezání a navíjení. Proto jsou převíjecí řezačky vybavené různými napínacími prvky, které tyto odchylky vyrovnávají, a samotné odvíjení se dá konstrukčně vyřešit tak, aby tuto vyrovnávací funkci mohlo zastávat také, proto často umožňuje ještě například posuv ve směru osy odvíjecí hřídele nebo úhlové naklápění této osy, čímž lze dobře regulovat odchylky způsobené nepřesným návínem role a montážní nepřesnosti celého odvíjecího zařízení.

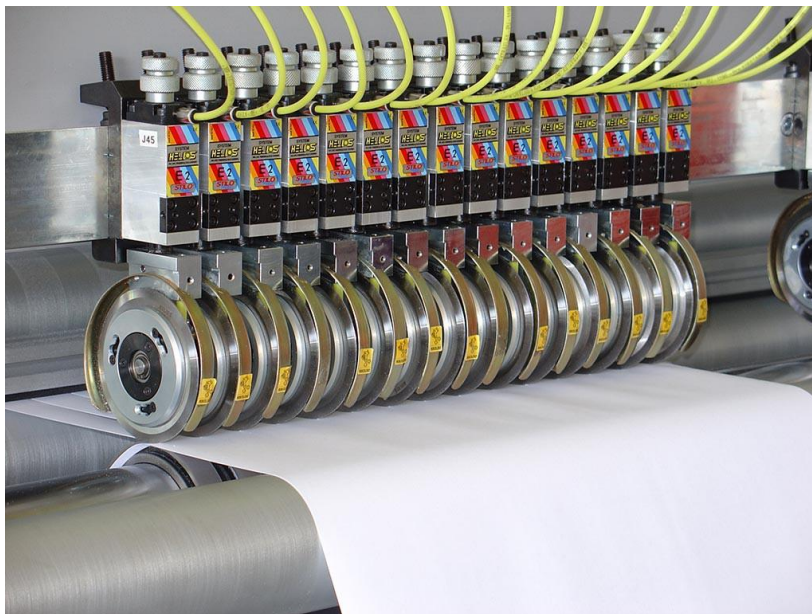
3.1.2 Řezání



Obr. 23.: *Wrap slitting, nože ve svěrných držácích [19]*

U jednoduchých podélných řezaček následuje přímo za odvíjením řezací zařízení využívající některou z technologií popsaných v kapitole 2.1.2. Řezání může probíhat v libovolných šířkách a počtu nožů, omezení spočívá pouze ve velikosti jejich držáků. Existuje celá řada držáků (Obr. 7) od jednoduchých svěrných (Obr. 23) až po složitější pneumatické (Obr. 24). Pneumatické držáky

umožňují velmi rychlé nastavování pracovní polohy, ale jsou rozměrnější, zatímco svěrné držáky je možné skládat na nožový hřídel velmi blízko sebe, a navíc je možné tento hřídel roztáčet vlastním pohonem a zlepšovat tak řezné podmínky, zatímco nože v pneumatických držácích jsou roztáčené pouze materiálem, případně třecím kontaktem s protějším nožem. Polohování nožů (resp. jejich držáků) se provádí ručně či strojně v závislosti na míře automatizace řezacího stroje.



Obr. 24.: Tangenciální řezání, nože v pneumatických držácích [20]

Pro dobré řezné podmínky je nutné zajistit v závislosti na použité technologii správný směr a polohu materiálu přiváděného k řezacímu mechanismu a optimální tah a rychlost, aby byla kvalita řezání co nejvyšší. Samozřejmě je nutné pravidelně kontrolovat míru opotřebení nožů a včas je vyměňovat. Také je potřeba zohlednit případné odpadní produkty řezání a jejich odstranění, ať už se jedná například o odsávání vznikajícího prachu, odvádění ořezávaných okrajů z místa řezu nebo odtok a filtraci vody při řezání vodním paprskem.

3.1.3 Navíjení

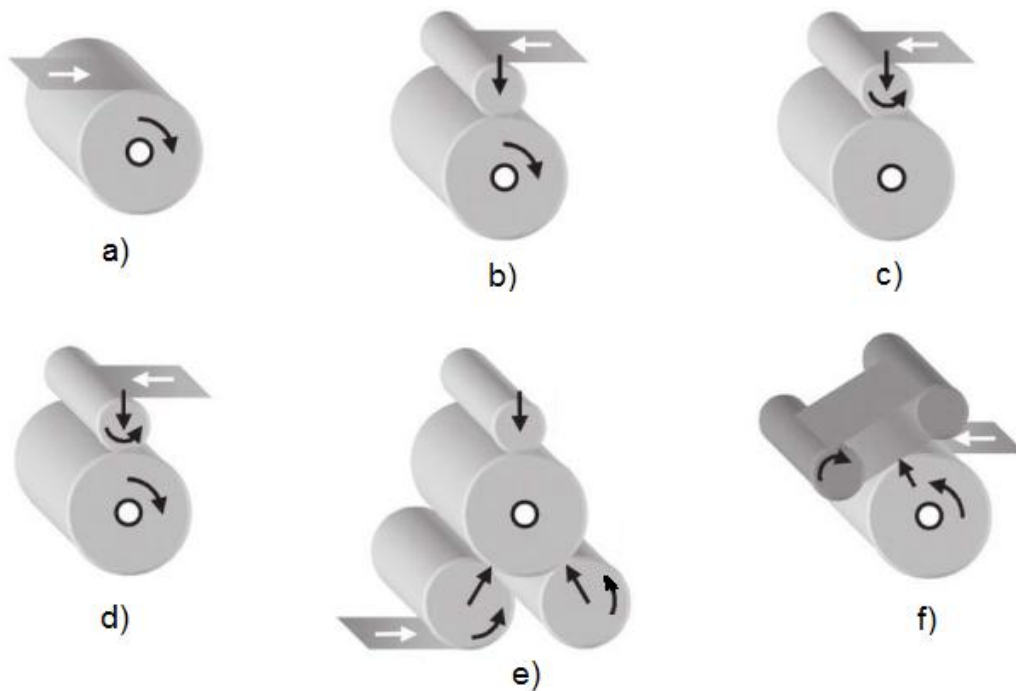
Navíjecí část stroje musí zajistit kvalitní opětovné navinutí nařezaných pásů materiálu do kotoučů a zároveň má významný podíl na vytváření požadovaného tahu materiálu.

Stejně jako odvíjecí zařízení je i navíjení tvořeno upínacím prvkem (u naprosté většiny strojů vyjma těch největších se jedná o navíjecí hřídel), na který se nasazují dutinky pro návin kotoučů, používá se ale i bezdutinkové

navíjení, při kterém se materiál navíjí přímo na hřídel, což se týká obvykle finálních produktů bez dalšího zpracování (např. papírových utěrek). Připevnění materiálu na dutinku lze provést mnoha způsoby, například pomocí vhodného lepidla, oboustranné lepicí pásky nebo pouze samosvorností (což je hojně využívaný způsob právě při bezdutinkovém navíjení).

Samotné navíjení materiálu se realizuje pomocí různých jednoduchých i kombinovaných způsobů pohonu navíjených kotoučů, kdy je buď momentem poháněn navíjecí hřídel, nebo je kotouč roztáčen obvodově třením od přítlačného poháněného válce nebo řemenu, případně se vyskytují kombinace předchozích způsobů. Regulací hnacího momentu se nastavuje tahová síla v materiálu, proto je obvyklou součástí navíjení i třecí nebo prášková spojka, která stejně jako brzda odvíjení pracuje s prokluzem a umožňuje plynulou a přesnou regulaci tahu, případně je nutné nějakým jiným způsobem řídit pohonný systém navíjení.

V zásadě se rozlišuje šest základních variant navíjení (Obr. 25):



Obr. 25.: Způsoby navíjení [1]

- a) s poháněným navíjecím hřídelem,
- b) s pohonem navíjecího hřídele a přítlačným válcem,
- c) s poháněným přítlačným válcem,
- d) s pohonem navíjecího hřídele i přítlačného válce,
- e) se dvěma poháněnými nosnými válci,
- f) s přítlakem řemene.

Při navíjení **s poháněným navíjecím hřídelem** (centerwinder) se tahová síla v materiálu vytváří od hnacího momentu působícího ve středu dutinky (kotouče). Jedná se o nejjednodušší způsob navíjení, který s sebou ale nese jeden nepříznivý efekt – že při konstantním momentu a otáčkách navíjecí hřídele se s rostoucím průměrem návínu mění tahová síla a obvodová rychlost materiálu, což je potřeba v průběhu navíjecí operace zohlednit a kompenzovat. [1]

Metoda navíjení **s pohonem navíjecího hřídele a přítlačným válcem** (centerwinder with rider roller) je totožná s předchozím způsobem z hlediska působení hnacího momentu i jeho regulace, součástí zařízení je však ještě přídatný válec, který je přitlačován k povrchu navíjeného kotouče. Tento válec může i nemusí být opásán materiálem, je však výhodné zajistit, aby přiváděný materiál nejprve přišel do kontaktu s ním a teprve potom s navíjenou rolí, což umožní ho těsně před navinutím vypnout a vyhladit. Tato varianta se využívá jak u navíjení kotoučů, tak rolí, všechny následující způsoby jsou však typické zejména pro navíjení rolí. [1]

V případě navíjení **s poháněným přítlačným válcem** (surface winder) je poháněn přítlačný válec a navíjená role se roztáčí obvodově pouze třením mezi ní a přítlačovaným rotujícím válcem. Konstrukce navíjení musí umožňovat plynulou změnu osové vzdálenosti navíjecího hřídele a přítlačného válce kvůli zvětšování průměru role při navíjení, zároveň je však zajištěna neměnnost tahu materiálu i při zvětšujícím se průměru návínu. Tento způsob se často využívá při navíjení velkých rolí papíru a netkaných textilií. [1]

Navíjení **s pohonem navíjecího hřídele i přítlačného válce** (differential torque winders) představuje kombinaci předchozích variant. Regulaci tahové síly v materiálu zajišťuje přítlačný válec a řízení pohonu navíjecího hřídele (který má spíše pomocnou funkci) na něm závisí. Tento systém je však poměrně složitý a drahý, proto se používá jenom zřídka ve specifických aplikacích (některé papírenské stroje nebo při navíjení velmi kluzkých umělých fólií). [1]

Navíjecí mechanismy **se dvěma poháněnými nosnými válci** (two-drum winders) jsou typické pro stroje papírenského a textilního průmyslu díky jejich velké životnosti a vysoké produktivitě. Otáčení navíjené role zajišťuje tření mezi ní a dvěma poháněnými válci – bubny, na kterých leží role a je k nim přitlačována (samozřejmě je opět proměnlivá poloha osy navíjené role). Materiál může být k roli přiváděn buď mezi válci (s opásáním prvního válce), vrchem přes první válec

nebo s opásáním druhého válce v závislosti na navíjeném materiálu. Pohon válců může být zcela synchronní (s pevným mechanickým spojením mezi válci) s jednoduchou společnou regulací momentu a otáček, nebo může být každý válec poháněn nezávisle (samostatný pohon nebo společný pohon s vloženou třecí spojkou před každým válcem), což klade větší nároky na kvalifikaci a zručnost obsluhy stroje (nebo vyžaduje přesné automatické řízení), ale umožňuje korigovat a optimalizovat rozdíl mezi momenty válců, a tudíž vhodně regulovat tah materiálu. [1]

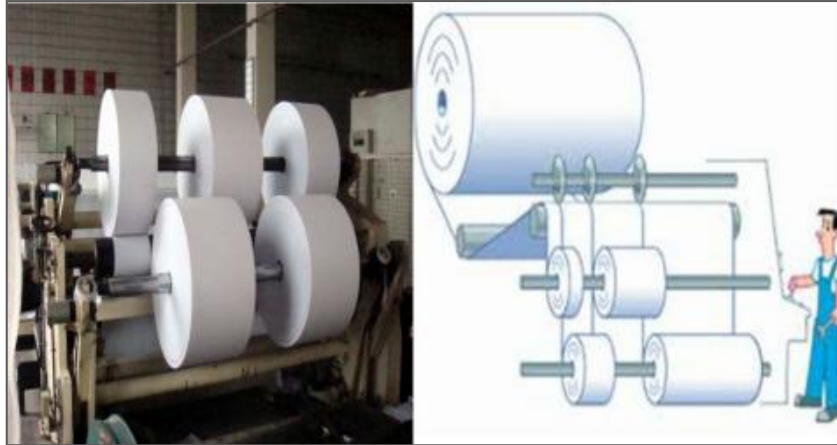
Způsob navíjení **s přitlakem řemene** (belted winders) se podobá variantě s poháněným přitlačným válcem (případně provedení s poháněným přitlačným válcem i navíjecím hřídelem), místo přitlačného válce se však používá přitlak poháněným plochým řemenem. Používá se na strojích zpracovávajících jemné materiály, např. hedvábný papír nebo skelnou vatu, u kterých by velké čárové zatížení přitlačným válcem mohlo způsobovat jejich stlačování nebo trhání. Většina tahové energie je do materiálu přiváděna třením od pásu řemenu, což vyvolává dostatečnou tahovou sílu a zároveň se přitlak lépe rozkládá díky pružné deformaci řemenu. [1][4]

Další varianty navíjecích mechanismů představují kombinace předchozích případů, například u navíjení se dvěma poháněnými nosnými válci se někdy jeden z válců nahrazuje právě nosným řemenem apod. [1][4]



Obr. 26.: Řezačka s jedním navíjecím hřídelem [21]

Převíjecí řezačky je dále možné rozdělit i podle počtu navíjecích hřídelů na **stroje s jedním navíjecím hřídelem** (Obr. 26) nebo **stroje s dvojitým navíjením** (Obr. 27).



Obr. 27.: Řezačka s dvojitým navíjením [5]

Hlavní rozdíl však spočívá v dráze a systému navíjení nařezaných pásů materiálu. Zatímco v prvním případě jsou jednotlivé od sebe oddělené pásy vedeny stejným směrem od řezání až k navíjecímu hřídeli, kde jsou navíjeny do kotoučů těsně vedle sebe, u řezaček s dvojitým navíjením se dráha pásů rozděluje a vedlejší pásy se navíjejí střídavě na jeden a na druhý hřídel. Dvojité navíjení v sobě zahrnuje nutnost pohánět oba navíjecí mechanismy a vzájemně na nich synchronizovat tažnou sílu, na druhou stranu se jedná zároveň o výhodu, jelikož tahy jednotlivých navíjených pásů se liší podle jejich šířky a tento systém umožňuje jejich lepší regulaci. Jeden navíjecí hřídel je běžný u většiny převíjecích strojů, dvojité navíjení se obvykle používá na řezačkách umělých fólií a např. novinových papírů. [1]

Zejména na velkých řezačkách v papírnách (ale i na menších strojích) se můžeme setkat ještě s revolverovou (karuselovou) konstrukcí navíjení, která se skládá z několika navíjecích hřídelů na otáčivé hlavě. Po navinutí role požadovaného průměru dojde za stálého chodu stroje k pootočení revolverové hlavy, čímž se pás materiálu navede na následující volný hřídel, rozdělí se příčným řezem, volný konec se dovine na původní hřídel a přiváděný materiál se začne navíjet na druhý, zatímco hotovou roli je možné vyjmout ze stroje a poté připravit uvolněný mechanismus k dalšímu navíjení. Tento princip umožňuje nepřetržitý provoz celého komplexního zařízení (dokonce i bez zpomalování stroje), což představuje nejen v papírenském průmyslu obrovskou výhodu. [1]

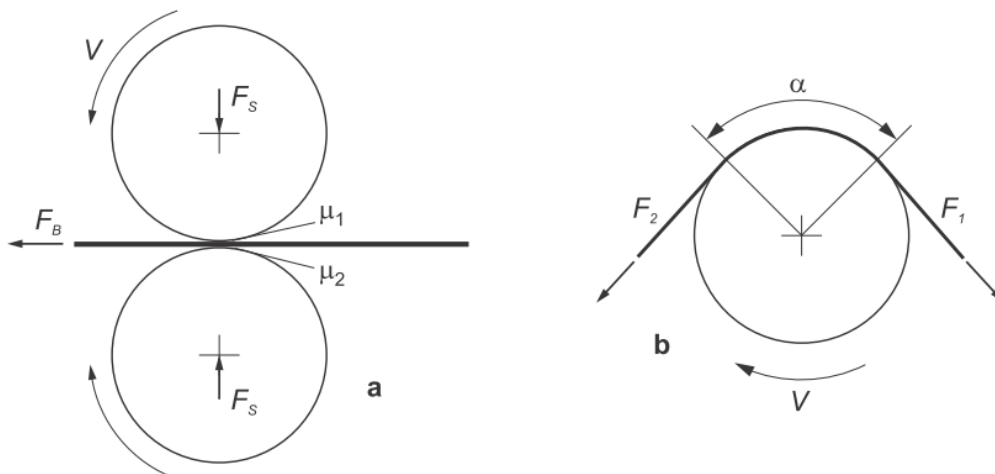
3.2 Další prvky převíjecích řezaček

V předchozí kapitole 3.1 byly popsány základní mechanismy převíjecích řezaček. V těchto strojích se však vyskytuje mnoho dalších prvků, které se významně podílejí na správné funkci jak dílčích zařízení, tak celého stroje.

3.2.1 Tažné válce

I když by bylo teoreticky možné zajišťovat pohyb materiálu pouze tahem navíjecí části řezačky, není to vzhledem k jeho mnohdy poměrně dlouhé a komplikované dráze strojem příliš vhodné. Proto se při převíjení materiálového pásu využívají také tzv. tažné válce, které na něj vzájemným třením přenášejí svou obvodovou rychlost. [4]

Používají se dva základní způsoby tažení materiálu:



Obr. 28.: Tažné válce [4]

v – obvodová rychlost válců, $F_{B,1,2}$ – tažné síly v materiálu, F_S – přítlak válců,
 $\mu_{1,2}$ – součinitele tření mezi válci a materiálem, α – úhel opásání

- a) tečné s přítlakem válců (Obr. 28 – a),
- b) s opásáním tažného válce (Obr. 28 – b).

Tah materiálu závisí na přítláčné síle válců a koeficientech tření mezi válci a materiálem, případně na úhlu opásání tažného válce. V případě tečného vedení materiálu je obvykle jeden válec pevně uchycený ve stroji a přítlak se nastavuje pomocí změny polohy protiválce, který může být např. excentricky uložen nebo zatížen odpruženě či závažím, případně pneumaticky nebo hydraulicky. Poháněný může být buď válec s pevnou polohou, nebo oba válce. Pro zlepšení silového přenosu z válců na materiál se také používají válce s jiným než kovovým

povrchem, nejčastěji pryžovým. Díky svým nesporným výhodám nachází uplatnění také kombinované provedení tažných válců, kdy materiál jeden (poháněný) válec opásává a zároveň je k němu protiválcem přitlačován, což brání nežádoucímu prokluzu materiálu po opásaném válci a zároveň umožňuje zmenšit úhel opásání i pro materiály s nízkým koeficientem tření. V podélných řezačkách se používají všechny zmíněné způsoby tažení materiálu, u archovaček je tečné vedení běžnou součástí řezací sekce stroje – dvojice válců plní funkci podávacího / odebíracího zařízení před / za řezacím mechanismem. [4][22]

3.2.2 Vodící válce

Vodící válce jsou základním prvkem všech převíjecích strojů a zajišťují několik důležitých funkcí. V první řadě slouží ke směrování materiálu tak, aby byl správně přiveden a odveden z funkčních částí stroje. Dále ho pomáhají napínat a brání jeho prověšování a faldování. Určité specifické uložení (např. excentrické nebo ve vidlici s polohovacím šroubem) navíc umožňuje vychylovat polohu takového vodícího válce a vyrovnávat tak odchylky od správného směru vedení a napínání materiálu, které vznikly výrobními a montážními nepřesnostmi stroje po dráze materiálu.

Provedení vodících válců se liší stroj od stroje jak z hlediska konstrukce a uložení, tak materiálem a povrchovou úpravou. Válce se nejčastěji vyrábějí duté s vnitřními žebry pro odlehčení, mohou mít průchozí hřídel nebo být uložené na čepích, s ložisky uvnitř válce nebo až v rámu stroje. Funkční (kontaktní) část válců bývá z eloxovaného hliníku, pryže, korku, tvrdochromu, keramiky, plastu, karbonových vláken, PTFE atd., s hladkým povrchem nebo s vyfrézovanými spirálovými drážkami. [22][23]

3.2.3 Rozpínací válce

Zejména ve strojích s dlouhou dráhou papíru nebo specifickým použitím (např. papírenské nebo potiskovací stroje) se často používá tzv. rozpínací, rozháněcí nebo také jinak banánový válec (Obr. 29). Je tvořen nepohyblivou tyčí s konstantním nebo nastavitelným prohnutím, na které jsou nasazeny otáčivé segmenty (ložiska) rotující kolem zakřivené osy tyče. Ve vysokorychlostních aplikacích papírenského průmyslu s velkými tahy materiálu se používají ocelové chromované segmenty, běžně je však celý válec potažen odolným pryžovým rukávem, který se otáčí spolu s vnějšími prstenci ložisek. Gumový povrch může

být antistatický, antiabrazivní nebo nepřilnavý a používá se v převíjecích strojích napříč všemi průmyslovými odvětvími, je vhodný i do vlhkého prostředí. Roztáčení válce je zajištěno buď třením od materiálového pásu, nebo nuceným pohonem obvykle pomocí mechanického převodu od tažných válců nebo navíjení. [23][24]



Obr. 29.: Banánový válec [23]

Díky tomu, že směr obvodové rychlosti otáčivých segmentů se od středu ke krajům válce stále více odchyluje od směru pohybu pásu materiálu, dochází tak ke stranovému rozpínání pásu a tím k jeho vyhlazování a odstraňování vrásek a faldů, proto se banánové válce často využívají buď před funkčními částmi převíjecích strojů (např. potiskování nebo řezání), případně za řezacím mechanismem podélných řezaček, kde stranové napínání materiálu usnadňuje vzájemné oddělení jednotlivých nařezaných pásů.

3.2.4 Upínání rolí a kotoučů

Základem odvíjecího a navíjecího zařízení převíjecích řezaček je upínací prvek, který slouží k uchycení dutinek vstupních rolí nebo navíjených kotoučů do stroje. K tomu účelu se používají buď upínací hřídele, nebo trny (hlavice), které pracují na obdobném pneumatickém nebo mechanickém principu upínání, kdy hlavní rozdíl spočívá pouze v tom, že dutinky se upínají buď nasunutím na hřídel, nebo mezi trny.

Upínací hlavice (Obr. 30) se používají zejména při upínání objemnějších rolí na dutinkách s větším vnitřním průměrem, protože s rostoucí velikostí upínaného objektu rostou i požadavky na větší únosnost a tudíž i rozměry upínacího prvku, což by v případě hřídele představovalo výrazný nárůst průměru a hmotnosti, a to by jednak zbytečně ještě více zatížilo stroj, a zároveň by se do značné míry komplikovala i manipulace při upínání a vyjímání role, zatímco při použití upínacích trnů tyto problémy odpadají. Trny na druhou stranu neumožňují najednou upnout víc než jednu dutinku, proto se nepoužívají u navíjecích zařízení podélných řezaček. Hlavice se vyrábějí v celé řadě rozměrů pro upínání malých i velkých dutinek, často s modulárním připojovacím prvkem (např. přírubou), díky

čemuž je možné je snadno a rychle na stroji vyměnit pro příslušný průměr dutinky. Role se upíná vždy mezi dva trny a samotné upínání funguje na principu vysunutí segmentů z těla hlavice, kdy tyto segmenty vycentrují a s dostatečnou pevností bez prokluzu rozepřou dutinku na trnech. Používá se zejména mechanický způsob vysunutí segmentů využívající otáčení dutinky nebo axiální přítlak dutinky na trn, uplatnění nachází ale i pneumatické vysouvání segmentů stlačeným vzduchem.



Obr. 30.: Upínací hlavice [22]

Pneumatické upínací hřídele představují nejběžnější způsob upínání dutinek jak odvíjecích, tak zejména navíjecích zařízení převíjecích řezaček. Upínání funguje na stejném principu jako u upínacích trnů: vysunutím elementů z dutého těla hřídele, oproti trnům se však jejich vysouvání v naprosté většině případů realizuje pneumaticky, případně pak pneumechanicky. Standardně se používají tři typy vysouvaných elementů: jednotlivé segmenty, upínací pásy a upínací lišty.



Obr. 31.: Upínací hřídele s výstupními segmenty [22]

Hřídele se segmenty (Obr. 31) jsou tvořeny dutým válcem s koncovými čepy a otvory pro segmenty, ve kterém je uložena gumo-textilní duše. Ta se po přivedení tlakového vzduchu plnicím ventilem roztáhne a vysune z otvorů

jednotlivé segmenty. Tento typ hřídelí je velmi robustní, což umožňuje jeho široké využití, je vhodný i pro upínání těžších rolí zatížených poměrně velkým krouticím momentem [23].

Hřídele s upínacími pásy (Obr. 32) jsou tvořeny dutým válcem (kvůli centrálnímu přívodu vzduchu) s podélnými drážkami, ve kterých jsou uloženy ploché duše a na nich úzké upínací pásy opět vysouvané přivedením tlakového vzduchu do duší. Tento typ hřídelí je vhodný pro upínání s nižším zátěžným krouticím momentem, ale oproti hřídelím s jednotlivými segmenty umožňuje dostatečně pevně upínat jak velmi široké role, tak i velmi úzké kotouče [22][23].



Obr. 32.: Hřídel s upínacími pásy [23]

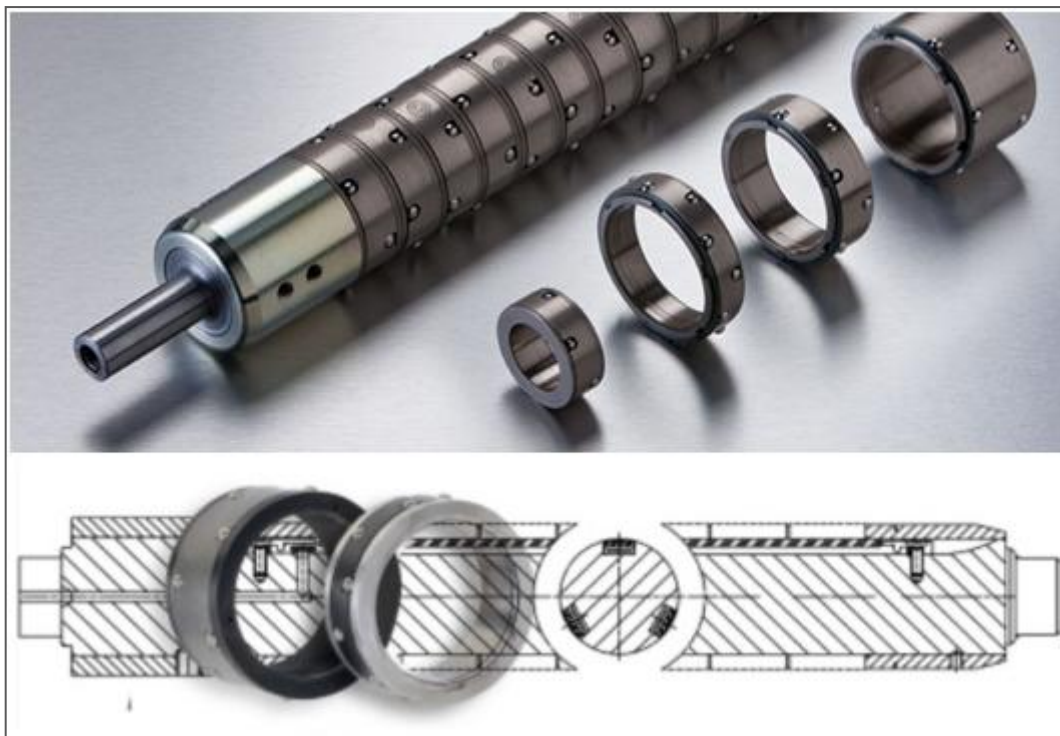
Hřídele s upínacími lištami (Obr. 33) jsou konstrukčně prakticky totožné s předchozí variantou, vysouvaným elementem však nejsou úzké, ale široké lišty po celé délce i obvodu hřídele, takže při přivedení tlakového vzduchu dojde k efektu zvětšení průměru hřídele a lepšímu rozložení tlaku na upínanou dutinku. Proto se toto provedení upínacích hřídelí používá pro upínání velmi tenkých dutinek, u kterých by při upnutí na segmenty nebo pásy hrozilo jejich deformování, a dále nachází uplatnění zejména při bezdutinkovém navíjení [23].



Obr. 33.: Hřídel s upínacími lištami [22][23]

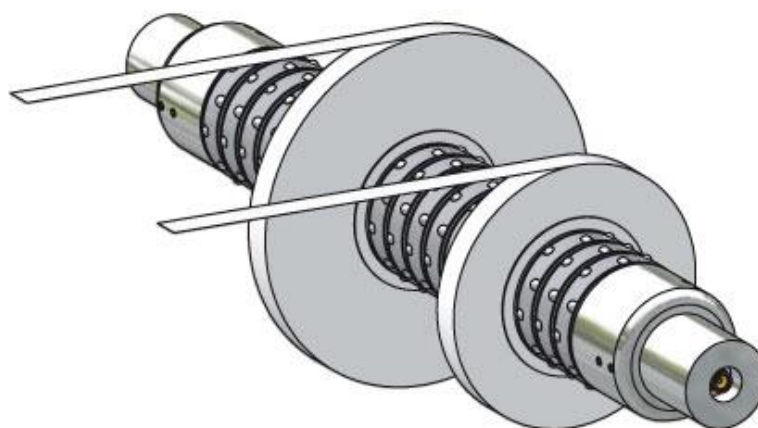
Frikční hřídele (Obr. 34), nebo také *hřídele pro diferenční navíjení*, jsou speciálním typem pneumaticky ovládaných upínacích hřídelí a díky své konstrukci

umožňují vyrovnávat nestejně tahové síly v jednotlivých nařezaných pásích materiálu, které vznikají kvůli rozdílným šířkám, případně průměrům navíjených kotoučů (Obr. 35).



Obr. 34.: Frikční hřídel [22][23]

Frikční hřídele jsou tvořeny velmi přesným hřídelem s plstěnými upínacími pásy, na kterém prokluzují frikční kroužky. Právě vzájemně nezávislý prokluz jednotlivých kroužků po hřídeli vyrovnává rozdíly tahů jednotlivých pásů materiálu, přičemž míra prokluzu a tím i konstantní tah se reguluje pneumaticky: nulový tlak přiváděného vzduchu umožňuje kroužkům volný prokluz bez odporu, zatímco při maximálním tlaku jsou kroužky a hřídel pevně spojeny. [23]



Obr. 35.: Navíjení kotoučů různých průměrů na frikční hřídel [22]

Použití frikčních hřídelí závisí na posouzení jejich vhodnosti pro konkrétní aplikaci, poněvadž je potřeba zvážit jejich poměrně vysokou cenu ve srovnání s ostatními upínacími prvky, na druhé straně pak stojí jejich přednosti: jednak je to zajištění konstantního tahu všech navíjených pásů materiálu, a dále nedochází k prokluzu mezi dutinkou a hřídelí (veškerý prokluz je realizován mezi kroužky a hřídelí) a tudíž ani k jejímu opotřebovávání a související tvorbě prachu. Frikční hřídele nacházejí uplatnění zejména v řezačkách papíru a umělých fólií s dvojitým navíjením, kde se nejvíce projevuje nestejněměrnost tahu mezi kotouči navíjenými na krajích a ve středu hřídelí [23].

V souvislosti s upínacími hřídeli obecně je ještě nutné si uvědomit, že dutinky je potřeba na ně nasunout a po ukončení převíjecí operace je zase sundat, což má za následek, že buď hřídel musí být na stroji uložena letmo podobně jako samostatný upínací trn, nebo celé zařízení musí umožňovat částečné vyklopení nebo úplné vyjmutí hřídele ze stroje. Právě tento proces má výrazný vliv na časové prodlevy stroje při zakládání polotovaru a vyjímání hotových produktů a při návrhu stroje je nutné tento požadavek zohlednit.

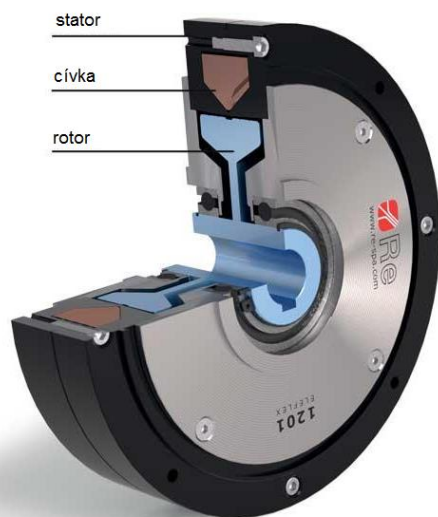
3.2.5 Spojky a brzdy

K jemné regulaci tahu materiálu se nejčastěji používají třecí spojky a brzdy, které pracují s permanentním prokluzem. Rozdíl mezi spojkou a brzdou spočívá nikoliv v konstrukci (jedná se o stejné zařízení), ale v použití, od kterého se odvíjí označení. Spojky slouží k částečnému snížení toku momentu a otáček od pohonu k zařízení, brzda maří pohybovou energii brzděného zařízení. Zatímco kontaktní plochy spojky se tedy obě otáčejí rozdílnými rychlostmi (vyjma extrémních případů: úplný nebo nulový prokluz) v závislosti na přítlačné síle ploch, jedna třecí plocha brzdy se otáčí rychlostí brzděného mechanismu a druhá vždy stojí (obvykle je pevně spojená s rámem stroje).

Na starších strojích se můžeme setkat s různými typy třecích spojek a brzd obvykle ručně ovládaných, s přítlakem regulovaným např. pružinou předepínanou šroubem.

V moderních řezačkách se nejčastěji vyskytují jednak **pneumatické brzdy**, což jsou v principu kotoučové brzdy s pneumaticky ovládaným přítlakem, které se vyznačují velkými brzdnými momenty, dobrým odvodem tepla (díky integrovanému

nebo doplňkovému ventilátoru), jednoduchou obsluhou, nízkými náklady na údržbu, šetrností k životnímu prostředí – a to vše při zachování kompaktních rozměrů. Zároveň se však tam, kde to podmínky dovolují, s výhodou používají **elektromagnetické práškové spojky / brzdy** (Obr. 36), které v sobě spojují klidný chod kapalinových spojek s brzdící stabilitou třecích spojek. Skládají se ze dvou základních částí – rotoru a statoru, ve kterém je navinuta cívka. Rotor a stator jsou od sebe odděleny prostorem vyplněným suchým železným, speciálně legovaným magnetickým práškem, který se aktivuje elektrickým napětím přiváděným na cívku (dochází k vytváření magnetických vazeb mezi částicemi prášku) a v závislosti na velikosti napětí přenáší třením krouticí moment mezi rotorem a statorem. Elektromagnetické práškové spojky / brzdy obecně přenášejí menší momenty než pneumatické brzdy, jejich velkou výhodou je ale velmi přesná a citlivá regulace krouticího momentu přiváděným napětím, malé rozměry a naprosto čistý chod bez produkce prachu a nečistot. Při velkých odváděných tepelných výkonech (což je často případ právě převíjecích řezaček pracujících s trvalým prokluzem spojek a brzd) je možné použít spojky s žebrovým nebo ventilátorovým chlazením. [22][23][25]



řez spojkou



spojka s žebrovým chlazením

Obr. 36.: Elektromagnetická prášková spojka [25]

3.3 Automatizace převíjecích řezaček

Stejně jako ve všech ostatních odvětvích průmyslu se i v případě zpracování papíru a dalších tenkých materiálů ve větší či menší míře uplatňuje automatizace prakticky všech procesů s tím souvisejících. Zatímco starší stroje vyžadují neustálou a kompletní obsluhu, která musí před samotným začátkem převíjecí operace zajistit založení polotovaru do odvíjecího zařízení, protažení pásu materiálu skrz celý stroj po požadované trajektorii (což je zejména u velkých potiskovacích strojů s dlouhou dráhou materiálu značně komplikované), seřízení řezacího mechanismu na požadované šířky řezání a přesnost, přípravu navíjení (nasazení a napolohování dutinek) a upevnění nařezaných pásů na dutinky nebo navíjecí hřídel, během chodu stroje musí řídit tah materiálu, kontrolovat přesnost řezu (a dalších operací, které stroj případně vykonává), bránit vadám při převíjení (faldování, vychylování pásu materiálu ze správné dráhy atd.), hlídat kvalitu návínů a zajistit požadované parametry kotoučů (např. průměr, počet navinutých vrstev apod.), a po dokončení převíjecí operace vyjmout hotové produkty ze stroje, současný trend moderních převíjecích řezaček spěje k téměř úplně bezobslužným strojům. Zpočátku to byla doména hlavně podniků s nepřetržitou nebo velkosériovou produkcí (např. papírny), dnes už je maximální možná míra automatizace mnohdy standardem i u nových malých řezaček ve zpracovatelském průmyslu.

Zakládání role do stroje stejně jako vyjímání hotových kotoučů tak mohou zajišťovat různé robotické manipulátory a mechanismy ať už externí, nebo integrované přímo v řezačce. Prvotní protažení materiálu strojem od odvíjení k navíjení může být zajištěno rozličnými způsoby, například pomocí tažného elementu (řetězu, řemenu apod.) kopírujícího dráhu materiálu a opatřeného úchyty, které sevřou materiál, a ten je pohybem tažného prvku naveden požadovanou trajektorií. Počítačově řízené, laserově naváděné seřizování řezacího mechanismu pomocí speciálních držáků nožů nebo pomocného manipulačního ramena umožňuje rychlé a přesné nastavení polohy nožů v požadovaných šířkách řezu, navíc je možné ho výhodně synchronizovat s automatickým laserovým pozicováním vstupní role a dutinek na navíjecích hřídelích a zajistit tak co nejpřesnější vedení materiálu. Samotnou kapitolou je automatická regulace tahu materiálu, která se zajišťuje buď mechanickým, nebo v dnešní době spíše elektronickým řízením brzdění klíčových prvků (např. odvíjecí

hřídele) nebo řízenou regulací pohonu řezačky a vychází z aktivního nepřímého měření tahu materiálu, který se stanovuje např. ze snímání polohy opásaného výkyvného válce, zatížení vodicích válců, průměru návínů a vyhodnocení matematického modelu apod. Automatické regulaci materiálu se blíže věnuje literatura [26]. Bezobslužně je také možné hlídat správnou dráhu materiálu pomocí optických snímačů a případné odchylky rovnou kompenzovat automatickým stranovým posouváním či vychylováním odvíjecí hřídele nebo opásaných vodicích válců. K stanovení průměru odvíjené role či navíjených kotoučů kvůli určení tahu materiálu nebo zajištění požadovaných rozměrů výrobku se používají různá optická, laserová nebo ultrazvuková čidla, případně snímání polohy přítlačného válce, což umožňuje ve správnou chvíli automaticky zastavit stroj nebo provést příčné oddělení papírového pásu. Při znalosti matematického modelu je možné stanovit průměr návínů i pomocí měření otáček příslušných válců a hřídelí odpovídajícími snímači, samotná regulace rychlosti je nezbytná pro vytvoření optimálních řezných (případně jiných funkčních) podmínek stroje. Kvalitu a přesnost řezu, potisku a dalších operací lze kontrolovat různými kamerovými systémy, zde už však dozor proškolené obsluhy může být nezbytný. Vrcholem automatizace v oblasti převíjecích řezaček jsou stroje určené pro nepřetržitý nebo velkosériový provoz, ve kterých se využívá maximální vzájemná synchronizace všech funkčních částí stroje od automatického zakládání role až po kontinuální revolverové navíjení.

Automatizace řezaček má zcela zásadní vliv na jejich produktivitu, která s omezením potřeby lidských zásahů výrazně roste, na druhou stranu ale zároveň značně omezuje jejich univerzálnost. Vždy je potřeba zohlednit, k jakému účelu bude stroj primárně sloužit. Zatímco při velkosériovém zpracování papíru a dalších materiálů s předem známými vlastnostmi jsou plně automatizované řezačky nedostižné, při zkouškách řezání nových materiálů nebo netypických řezných podmínkách se mnohem lépe uplatní stroje se stálým dohledem obsluhy a možností libovolně měnit parametry (i díly) stroje a nalézt tak optimální nastavení pro konkrétní situaci.

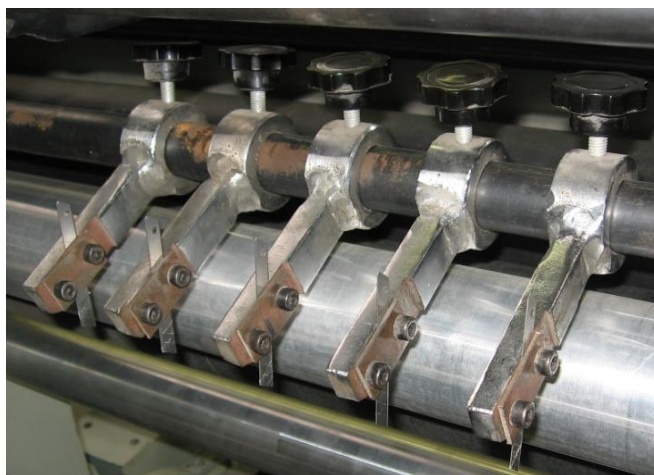
4 Řezačka „Čína“

Cílem praktické části této diplomové práce je navrhnout nové nebo popsat již provedené úpravy stroje, pro který se v zadávající firmě používá označení „Čína“. Toto podnikové jméno vzniklo na základě původu stroje při jeho zakoupení a v současnosti už by pravděpodobně nikdo ze zaměstnanců nevěděl, o jaký stroj se jedná, kdyby bylo použito jeho skutečné katalogové označení, proto bude jeho podnikový název používán i v této práci.



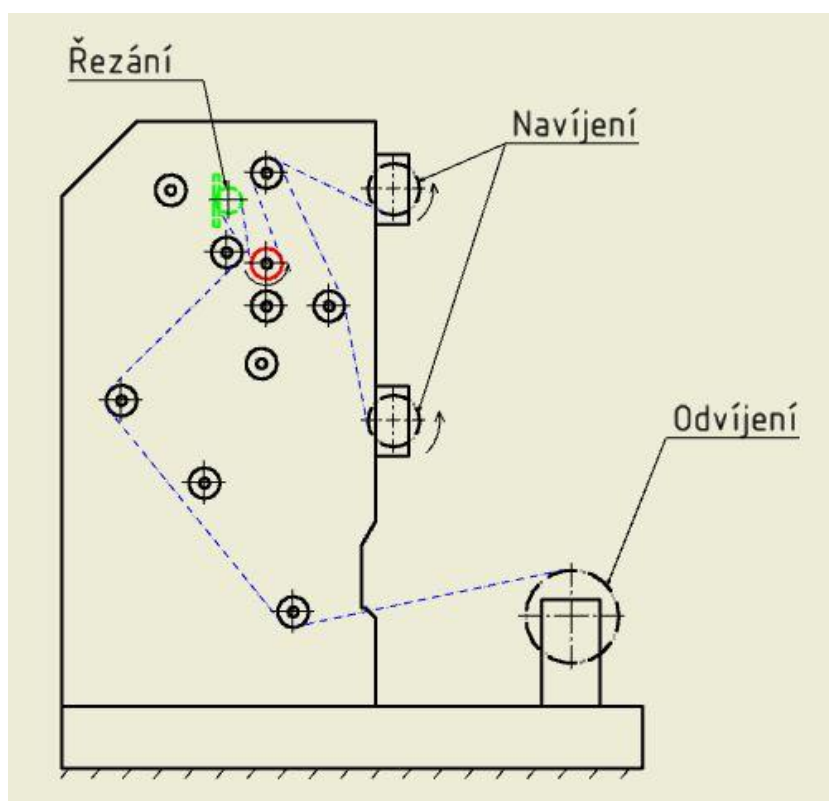
Obr. 37.: Řezačka Čína

Čína je podélná převíjecí řezačka primárně umělých fólií s dvojitým navíjením (Obr. 37). Jako řezací zařízení slouží žiletkové nože (Obr. 38) v držácích na otočné ose, jejímž pootočením se sklápějí do záběru s dráhou materiálu. Držáky mohou mít různou podobu a provedení v závislosti na řezaném materiálu a jeho vedení přes řezací mechanismus. Ze stejných důvodů se používají i různé typy nožů.



Obr. 38.: Původní řezací mechanismus „Číny“

Ačkoliv byl tento stroj původně navržen pro zpracování umělých fólií, ve firmě je jeho využití podstatně širší. Jedná se totiž o poměrně jednoduchou, a tudíž zároveň velmi univerzální řezačku, která svou řezací technologií umožňuje dělit i méně typické materiály malých, specifických a atypických zakázek, které by nebylo výhodné zpracovávat na pokročilejších a vytíženějších strojích. Od doby svého zakoupení prošla už mnoha úpravami jak kvůli rozšíření svých pracovních možností, tak kvůli velkému množství konstrukčních i výrobních nedostatků. Mezi ty patří například nevhodné uspořádání stroje (navíjení na stejné straně jako odvíjení – Obr. 39, motor mezi bočnicemi v pracovním prostoru stroje), příliš nízko umístěná odvíjecí hřídel znemožňující zpracování rolí větších průměrů, nevhodně řešený pohon využívající řetězový převod nebo různé výrobní nepřesnosti (drážka pro pero vyfrézovaná na hřídeli mimoběžně s osou). Vzhledem ke stáří a opotřebením některých komponent stroje bylo nebo v nejbližší době bude nutné je vyměnit (např. práškové spojky navíjení).



Obr. 39.: Schéma původního uspořádání Číny

Cílem této práce je tyto nedostatky odstranit a doplnit stroj o řezací mechanismus využívající stříh kruhovými noži, aby bylo možné zpracovávat na Číně papírové materiály, které by při stávajícím způsobu řezání žiletkami příliš rychle opotřebovávaly čepele nožů.

Čína je stroj s minimální mírou automatizace a vyžaduje neustálou pracovní obsluhu, neboť dohlížející pracovník musí hlídat tah materiálu, kvalitu řezání, napínání i navíjení, korigovat odchylky a obstarávat všechny operace spojené se zakládáním materiálu a vyjímáním hotových kotoučů ze stroje. Jedinou výjimku představuje kontrolní optický snímač stranové polohy taženého materiálového pásu napojený na servomotor s kuličkovým šroubem, který při vychýlení materiálu z požadované dráhy posune celou stranově volně uloženou odvíjecí sekci ve směru osy odvíjecí hřídele a tím vyrovná vzniklé odchylky. V praxi se to projevuje neustálým nepatrným kmitáním hrany pásu materiálu okolo polohy optického čidla.



Obr. 40.: Ovládací pult Číny

K řízení stroje slouží ovládací pult (Obr. 40) s regulací hlavního pohonu (elektromotoru), servomotoru, tahu brzdy odvíjení a spojek navíjení. Měření převíjecí rychlosti stroje je zajištěno pomocí indukčního snímače otáček tažného válce.

4.1 Pohon

Vyjma stranové korekce polohy a vedení materiálového pásu nezávislým servomotorem jsou všechny ostatní části stroje poháněny jedním frekvenčně

řízeným asynchronním elektromotorem o výkonu 3 kW a jmenovitých otáčkách 1430 ot/min. Jeho původní umístění je na základní platformě mezi bočnicemi stroje (Obr. 41), čímž však znemožňuje vést tudy v případě potřeby materiál.

Na hřídel elektromotoru navazuje převod do pomala klínovým řemenem s katalogovým označením B-1753 (Obr. 41). Přenos sil z hnací řemenice (výpočtový průměr $D_{p1} = 90 \text{ mm}$) na hnanou řemenici (výpočtový průměr $D_{p2} = 240 \text{ mm}$) je zajištěn dvěma řemeny, převod má hodnotu $i = 2,71588$, účinnost tohoto převodu je stanovena na $\eta = 0,9622$. Hodnoty vycházejí z výpočtu v programu Autodesk Inventor Professional 2017, kterým byl tento převod na základě předchozího měření na stroji vymodelován.

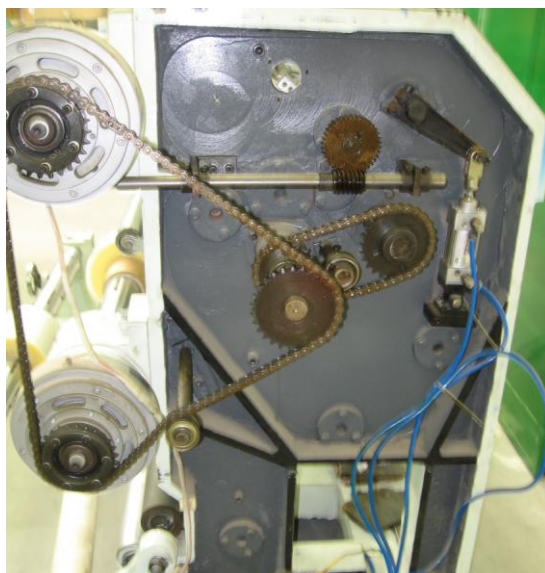


Obr. 41.: Převod klínovým řemenem

Klínovým řemenem je poháněn tažný pogumovaný válec o vnějším průměru $d_{TV} = 110 \text{ mm}$. Jedná se o základní výpočetní element celého stroje, neboť právě jeho obvodová rychlost představuje zároveň rychlost pohybu materiálu strojem, a proto jsou veškeré další výpočty převodů, rychlostí a sil navázané právě na tento válec.

Na tažný válec navazuje na druhé straně stroje dvoustupňový řetězový převod (Obr. 42), který pohání spojky navíjení. Na výstupu pogumovaného válce je hnací řetězové kolo s počtem zubů $z_1 = 26$, na následujícím předlohovém hřídeli jsou hnané a hnací kolo se zuby $z_2 = 23$ a $z_3 = 28$, a odtud jsou jedním řetězem

poháněna obě řetězová kola ($z_4 = 27$) připojená na spojky navíjení. Jedná se tedy o převod do rychla (celková hodnota převodu z tažného válce na navíjecí hřídele $i = 0,853$), aby bylo zaručeno, že navíjecí hřídele se budou otáčet rychleji než tažný válec a vytvoří tak tahovou sílu potřebnou pro správné vedení papíru a navinutí. Obvodová rychlost návínů však musí odpovídat rychlosti materiálu při průchodu strojem (tzn. obvodové rychlosti tažného válce), vzniklý rozdíl pokryje prokluz spojek navíjení, kterým se reguluje tah materiálu, což musí při narůstajícím průměru návínů korigovat obsluha a měnit brzdny moment spojek na ovládacím pultu. Nevýhodou tohoto způsobu pohonu je jeho hlučnost a také nutnost pravidelného mazání, což zejména u strojů zpracovávajících papír a další materiály s požadavkem na vysokou čistotu není příliš žádoucí. Proto je cílem úprav nahradit tento pohonný mechanismus vhodnější variantou.



Obr. 42.: Řetězový pohon navíjení

4.2 Odvíjení, navíjení

Základním prvkem odvíjecí i navíjecí části stroje jsou pneumatické rozpínací hřídele se segmenty ovládané pomocí přívodu tlakového vzduchu. Nasazování a snímání rolí / kotoučů / dutinek využívá způsob s vyklápěním hřídele ze stroje (Obr. 43), což umožňuje jak konstrukce odvíjení, kde je při vyklopení nosným elementem otočné těleso s připojenou brzdou, tak konstrukční řešení navíjení, kde je každá navíjecí hřídel spojena se svou spojkou přes křížový kloub, který umožňuje její vyklopení bez nutnosti ji přímo vyjmout ze stroje.

Regulaci tahu materiálu zajišťuje řízený prokluz spojek odvíjení a brzdy navíjení. Jedná se o elektromagnetické práškové spojky (brzdu), které jsou však

již starší konstrukce a na hranici životnosti. Spojky mají tendenci se přehřívat, brzdný moment brzdy zase nedostačuje provozním požadavkům zvláště při plánovaném zvětšení odvíjení, proto budou nahrazeny novějším typem pro odpovídající zatížení.



Obr. 43.: Vyklopení odvíjecí a navíjecí hřídele

Jak už bylo předesláno, jak navíjení, tak odvíjení se týká několik změn. Zatímco na odvíjení je zejména kladen požadavek, aby bylo možné zpracovat role větších průměrů, konstrukce navíjení bude z větší části přepracována pro nové frikční hřídele, spojky a jejich pohon.

5 Úpravy odvíjení

Hlavním cílem úprav odvíjecí sekce stroje je umožnit na Číně zpracovávat role materiálu o průměru $D_{role} = 1\text{ m}$, což při původním umístění osy odvíjecí hřídele ve výšce 388 mm nad zemí nebylo pochopitelně možné bez použití přídatného samostatného odvíjecího stojanu nebo podobných alternativních improvizovaných řešení (Obr. 44), která však neefektivně omezovala prostor v okolí stroje, komplikovala manipulaci, prodlužovala čas přípravných operací (montáž stojanu, zakládání role) a snižovala přesnost regulace tahu materiálu.



Obr. 44.: Přídatný odvíjecí stojan

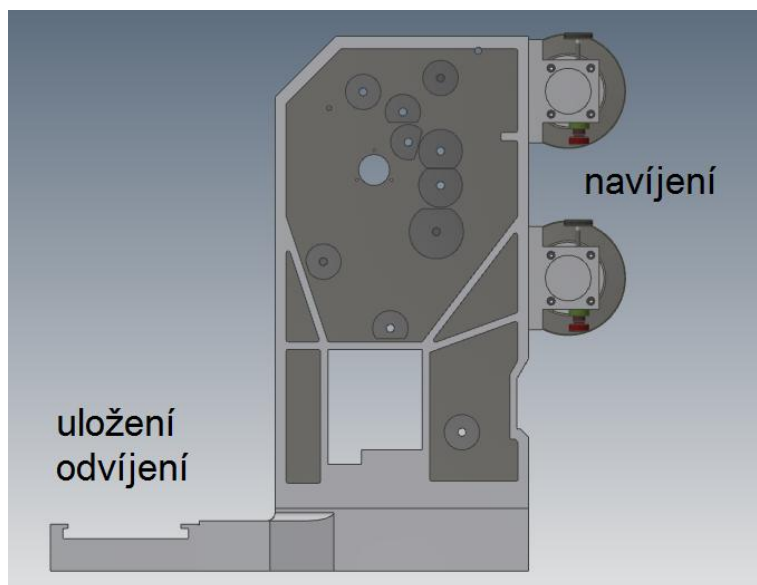


Obr. 45.: Valivé uložení odvíjení

Vzhledem k výhodnému řešení stranového posuvu odvíjecího zařízení pomocí automaticky ovládaného servomotoru však bylo žádoucí tuto koncepci zachovat, proto byla potřeba navrhovat změny při zvýšení polohy odvíjecí hřídele až v prostoru nad posuvnými deskami, které jsou uloženy ve vedení na základní platformě. Kontakt desek s vedením však není kluzný, ale valivý, neboť dosedací plocha v platformě je opatřena přímými klecemi s jehlami (Obr. 45), které zajišťují volný stranový pohyb odvíjení a kladou nižší nároky na výkon servomotoru. Desky jsou vzájemně propojeny a servomotor, který je připojen na bližší z nich pomocí příčného ramena (motor se nachází nikoliv přímo ve směru pohybu, ale rovnoběžně vedle desek), tak pohybuje oběma deskami současně, což by při kluzném uložení desek nebylo kvůli výrazně vyššímu potřebnému výkonu při zachování kompaktních rozměrů serva možné.

5.1 Konstrukční úpravy odvíjení

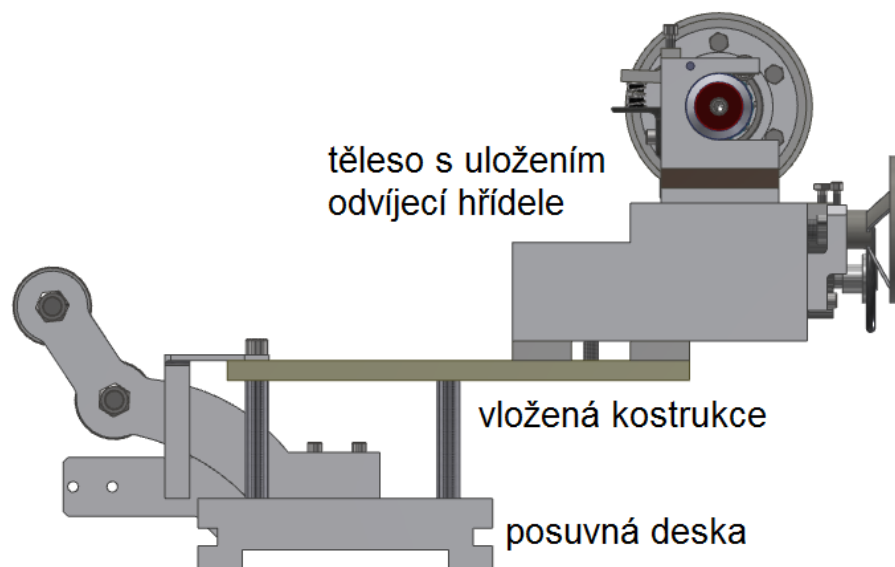
Aby bylo možné zpracovávat role větších průměrů, bylo nejprve nutné změnit uspořádání celého stroje a zvětšit vzdálenost mezi odvíjecí a navíjecími hřídelemi, aby při velkých průměrech návinu nemohlo dojít ke kontaktu mezi rolí a navíjecími kotouči. Toho bylo dosaženo tak, že bočnice – připevněné k platformě šrouby – byly odmontovány a platforma se vůči nim otočila, takže navíjecí sekce se teď nachází na opačné straně stroje vůči odvíjení (Obr. 46).



Obr. 46.: Změna uspořádání stroje

Dalším krokem bylo zvýšení polohy osy odvíjecí hřídele. Aby se co nejvíce minimalizovaly úpravy funkčních částí zařízení a zároveň byla plně zachována

funkce volného stranového posuvu celé odvíjecí sekce, byla ke zvýšení polohy odvíjení využita jednoduchá konstrukce vložená mezi posuvné desky a tělesa pro uložení hřídele využívající jejich stávající připojovací rozměry (Obr. 47).

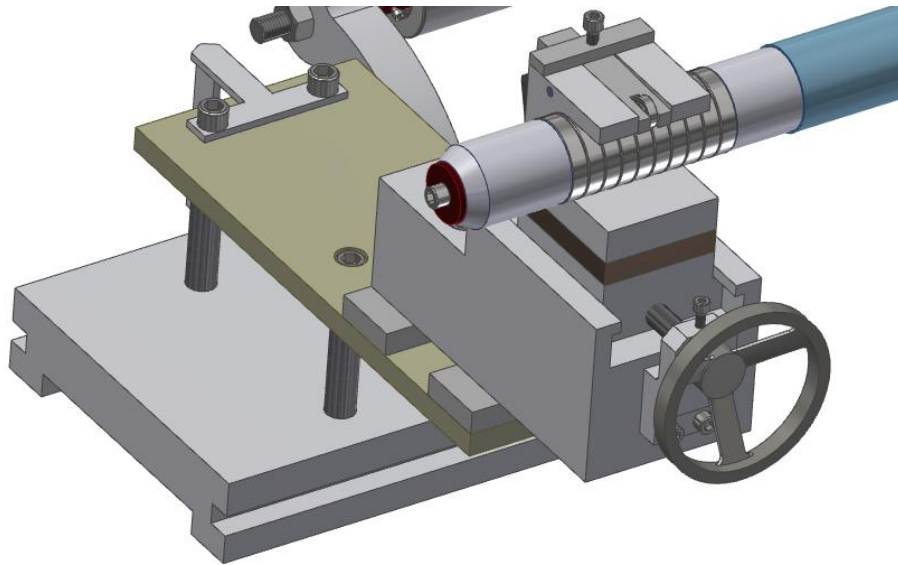


Obr. 47.: Zvýšení polohy osy odvíjení

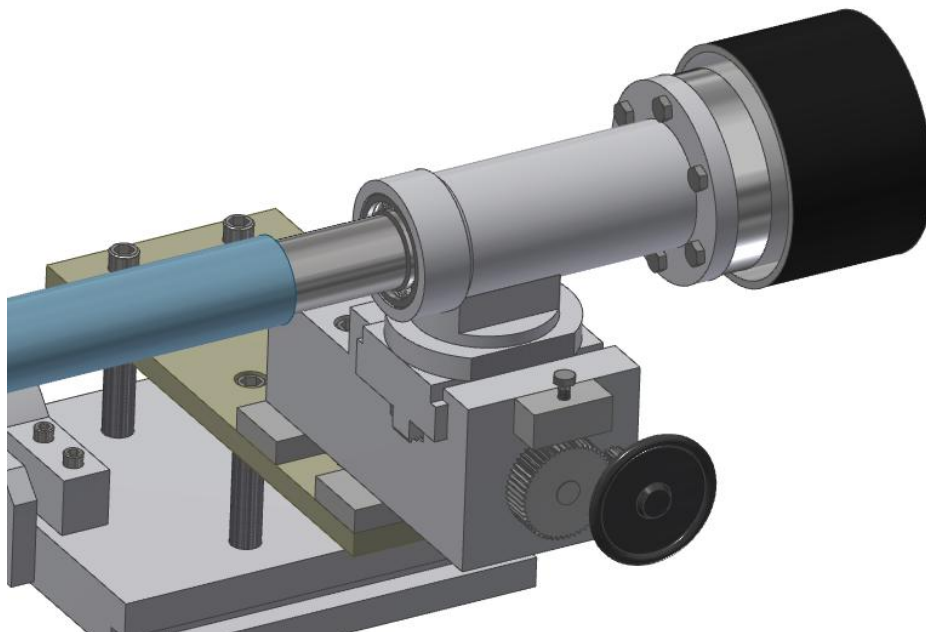
Konstrukce je na každé straně tvořena ocelovou deskou 470 x 200 x 20 mm s otvory pro šrouby M16, nosnými tyčemi $\varnothing 25 \times 120$ mm a podkladními plochými tyčemi 60 x 20 x 200 mm. Díky tomuto řešení se nyní osa odvíjení nachází ve výšce 548 mm nad zemí, což bez obtíží umožňuje zpracovávat role požadovaného průměru při zachování všech stávajících funkcí a pracovních možností odvíjení (stranový posuv celé odvíjecí sekce, nezávislý osový posuv a úhlové vychylování odvíjecí hřídele včetně jejího vyklápění pro nasazování role, plynulá regulace tahu brzděním hřídele elektromagnetickou práškovou brzdou).

Původní kluzné uložení vyklápěného konce odvíjecí hřídele se při provozu stroje ukázalo jako nevýhodné zejména kvůli snížené plynulosti odvíjení a vytváření odchylek při regulaci tahové síly v materiálu, proto bylo nahrazeno řadou deseti valivých ložisek 6008 (40 x 68 x 15) (Obr. 48). Toto provedení zjednodušuje vyklápění hřídele ze stroje a zvyšuje plynulost odvíjení. Použití soustavy ložisek má dva hlavní důvody: jednak jsou mezi ně výhodně rozkládány zachytávané reakční síly, a zároveň je díky tomu možné osově posouvat odvíjecí hřídel v dostatečné délce při jejím trvalém uložení v tělese stroje. Tento posuv (ovládaný ručním kolem přes převod ozubenými koly a hřebenem – Obr. 49)

umožňuje obsluze stroje při nasazení a upnutí role přesně nastavit polohu materiálového pásu před započítím pracovní operace.



Obr. 48.: Valivé uložení vyklápěného konce odvíjecí hřídele (ruční kolo slouží k nastavení úhlového vychýlení osy hřídele při nestejném tahu)



Obr. 49.: Otáčivé uložení odvíjecí hřídele s osovým posuvem a novou brzdou

Zvětšení průměru odvíjení vyžaduje i návrh nové, silnější elektromagnetické práškové brzdy. Po zkušenostech s přehříváním původní brzdy vlivem velkého zatížení při práci v permanentním prokluzu byla zvolena brzda s vlastním vzduchovým chlazením pomocí integrovaného ventilátoru. Aby bylo možné připojit ji k původnímu rámu stroje, mezi brzdou a úložným tělesem hřídele je navržena redukční příruba.

5.2 Konstrukční výpočty

Návrh brzdy

Na brzděném momentu, který musí brzda vyvinout, se podílejí dva základní silové účinky. Jednak je to síla působící proti pohybu materiálu, která vytváří požadovaný tah a napnutí materiálového pásu, a dále pak setrvačný moment rotující role. Při požadovaném tahu $T = 100 \text{ N}$ a maximálním odvíjeném průměru role $d_o = 1 \text{ m}$ je tahový moment:

$$M_T = T \cdot \frac{d_o}{2} = 100 \cdot \frac{1}{2} = 50 \text{ Nm} \quad (1)$$

Setrvačný moment role závisí na jejích rozměrech, materiálu a rychlosti brzdění. Uvažujeme roli s dutinkou o průměru 70 mm, vnějším průměrem 1 000 mm, šířkou pásu materiálu 1 100 mm, hustotou 800 kg/m^3 , rychlostí odvíjení $3,033 \text{ m/s}$ a brzděným časem 5 s:

$$M_i = I \cdot \varepsilon = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (r_1^2 + r_2^2) \cdot \frac{v}{r_2 \cdot t_b} \quad (2)$$

což se po vyjádření hmotnosti jako součinu hustoty a objemu a dosazení rovná:

$$M_i = 104,8 \text{ Nm} \quad (3)$$

Minimální brzděný moment brzdy tedy musí být:

$$M_B = M_T + M_i = 50 + 104,8 = 154,8 \text{ Nm} \quad (4)$$

Nejbližší vyšší hodnotu brzděného momentu dokáže vyvinout elektromagnetická prášková brzda Eleflex B.1701.V, jejíž brzděný moment je 170 Nm. Tento typ brzdy je také opatřen vlastním ventilátorem pro její lepší chlazení.

Zatížení ložisek při odvíjení

Předpokládejme odvíjení role z předchozího výpočtu. Ložiska zachytávají jednak vlastní tíhu role, tak tahovou sílu materiálu, a předpokládá se přibližně symetrické zatížení.

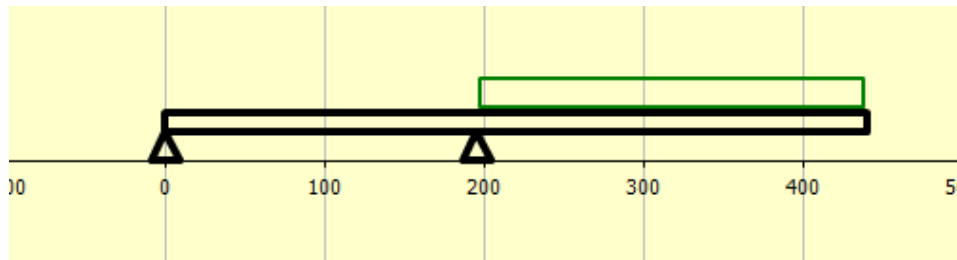
Tíhová síla je součinem hmotnosti a tíhového zrychlení a působí ve svislém směru dolů, tahovou sílu předpokládejme ve vodorovném směru. Radiální zatížení ložisek má tedy podobu:

$$F_r = \sqrt{T^2 + (m \cdot g)^2} = \sqrt{100^2 + (687,76 \cdot 9,81)^2} = 6\,747,667 \text{ N} \quad (5)$$

Při symetrickém zatížení ložisek je výsledná radiální síla na ložiska $F = 3,374 \text{ kN}$.
 Při zadaných podmínkách vychází trvanlivost vyklápěného ložiska 6008 $L_h = 42\,254 \text{ hod}$, pro ložisko 6210 v otočném tělese $L_h = 382\,583 \text{ hod}$.
 Ložiska v otočném tělese vyhověla i při kontrole na statické zatížení při vyklopení hřídele, kdy se změnil její uložení na letmé a dojde k nasazení role.

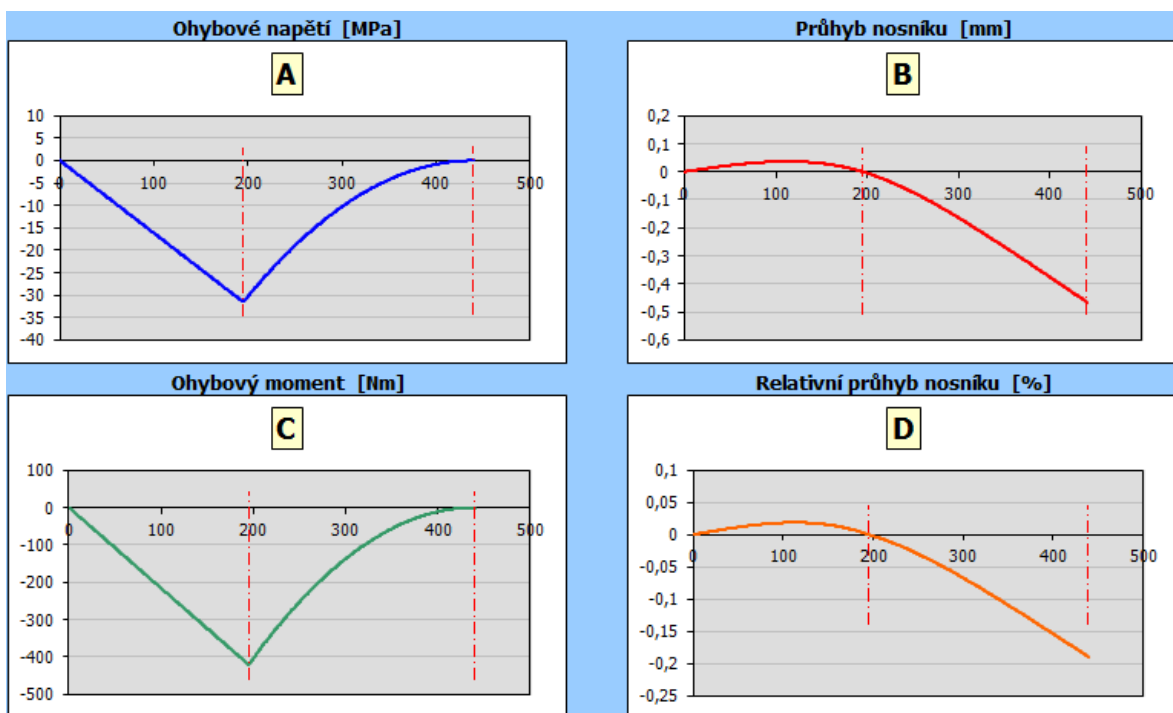
Ohyb desek

Pomocí programu MITCalc byly zkontrolovány desky nesoucí odvíjení z hlediska ohybového namáhání. Uvažuje se spojitě zatížení od hmotnosti role a nesených těles odvíjecího zařízení.



Obr. 50.: Model desek – nosník spojitě zatížený

Výsledky jsou patrné z Obr. 51 – desky vyhověly.



Obr. 51.: Ohybové namáhání desek

6 Řezání kruhovými noži

Pro zpracování papíru a podobných abrazivních materiálů není původní řezací mechanismus Číny s žiletkovým způsobem řezání vhodný, proto bylo navrženo doplňkové řezací zařízení (Obr. 52) využívající technologii stříhu kruhovými noži metodou wrap slitting – s opásáním spodních nožů. Toto zařízení však nijak nezasahuje do stávajícího řezacího systému s žiletkami, a stroj tak může být využit podle aktuální potřeby.

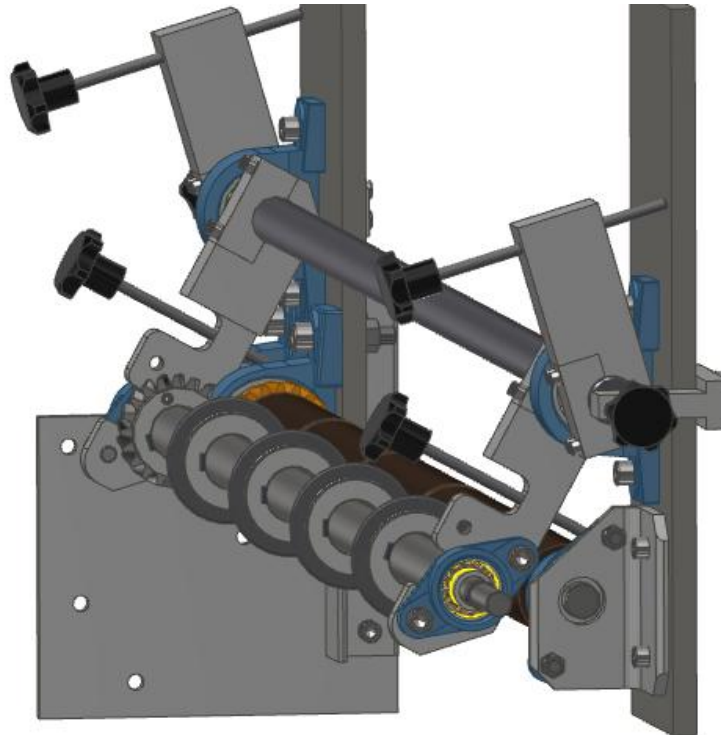


Obr. 52.: Doplňkový řezací mechanismus

Základem zařízení je přídavný čelní rám tvořený ocelovými deskami 600 x 200 x 20 mm, který je přišroubovaný k čelní ploše bočnic a pojištěný shora ocelovými pásy 300 x 80 x 10 mm připevněnými k horní ploše bočnic. Součástí rámu je také přišroubovaná boční deska (řezaná laserem z plechu 10 mm), která slouží k připevnění řemenic a napínáku řemenového pohonu řezacího mechanismu. V deskách jsou vyvrtané otvory, které určují polohu ložiskových jednotek nesoucích nožové hřídele.

Vzhledem k tomu, že návrh vychází z požadavku, že spodní i horní nože mají být poháněné vlastním pohonem (nikoliv pouze třením řezaného materiálu), nebylo možné použít horní nože v pneumatických držácích. Navržené zařízení proto využívá sklápěcí mechanismus (Obr. 53), který je tvořen volně otočnou osou, ke které jsou svěrně připojena dvě polohovací ramena a dvě ramena nesoucí horní nožový hřídel. Natáčení osy a tím i sklápění nožů do záběru se nastavuje pomocí protipohybu polohovacích šroubů v ramenech. Další dva protilehlé šrouby ve směru osy slouží k nastavení stranové polohy a bočnímu

přítlaku nožů. Pohon spodního nožového hřídele je zajištěn mechanickým převodem od tažného válce pomocí ozubeného řemenu HTD 8M – 20, horní nožový hřídel je roztáčen převodem ozubenými koly od spodního nožového hřídele. Kvůli dodržení bezpečnostních předpisů musí být řezací mechanismus zakrytován například vhodně tvarovanou přepážkou z plexiskla, kterou je možné přišroubovat k ramenům sklápěcího mechanismu horního nožového hřídele.



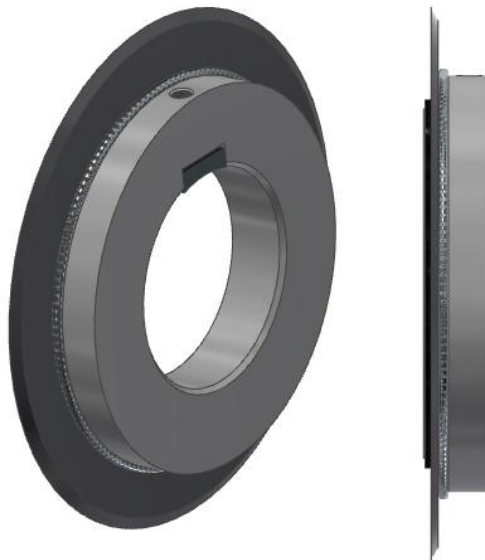
Obr. 53.: Sklápění horních nožů do záběru

Spodní nožový hřídel je tvořen nosnou hřídelí, na které jsou nasunuté standardní spodní nože o průměru $d_{SN} = 80 \text{ mm}$ oddělené broušenými rozpěrkami stejného průměru. Těmi se nastavuje přesná poloha nožů a tudíž i šířky řezu; celá sestava je po složení zajištěna na hřídeli pojistnou maticí KM 12. Právě axiální předepnutí touto maticí zajišťuje přenos krouticího momentu od pohonu hřídele na nože, neboť nože i rozpěrky jsou na hřídeli bez zajištění volně otočné. Je však třeba si uvědomit, že roztáčení nožů vlastním pohonem nožového hřídele má spíše pomocný charakter, neboť nože (a rozpěrky) jsou zároveň poháněny třením papíru, který je opásává, proto je funkcí pojistné matice hlavně zajištění axiální polohy nožů na hřídeli.

Pro nasazování spodních nožů (nebo při změně šířky řezání) je nutné odklopit nebo zcela sejmout ze stroje mechanismus s horními noži, následně uvolnit přišroubovaný pravý držák ložiskové jednotky (seříznutý profil L) a ložisko,

ve kterém je hřídel volně uložena, z ní stáhnout. Tím se změní uložení hřídele na letmé ve dvou levých ložiskových jednotkách, z pravé strany je tedy přístupná, a po uvolnění KM–matice je možné nasadit nože s rozpěrkami nebo změnit jejich stávající uspořádání a poté opět upevnit hřídel ve stroji.

Poté je potřeba nastavit polohu horních nožů. Na Číně jsou použity horní kruhové nože (Obr. 54) s vnějším průměrem $d_{HN} = 105 \text{ mm}$, které mají vlastní držáky a jejich pružný přitlak ke spodním nožům je zajištěn vinutou pružinou stočenou po obvodu držáku v „klínové“ drážce mezi plochou nože a zkosenou hranou držáku. Na rozdíl od spodních nožů se poloha každého držáku horního nože nastavuje samostatně přímo proti předem seřízené sestavě spodních nožů s rozpěrkami. Zajištění držáku na nožovém hřídeli se realizuje přitlakem výsuvného tělíska pomocí stavěcího šroubu (nebo jakýmkoliv jiným způsobem v závislosti na konkrétním provedení držáku). V klidovém stavu stroje je žádoucí nechat nože odlehčené (bez kontaktu mezi horním a spodní nožem), a teprve před započítím řezací operace sklopit nože do záběru pomocí ramen a nastavit stranový přitlak bočními polohovacími šrouby.



Obr. 54.: Horní kruhový nůž na držáku

6.1 Kinematika pohonu horního nožového hřídele

Při návrhu pohonu řezacího mechanismu bylo nutné zajistit správné rychlostní poměry odpovídající pohybu materiálu strojem a vyhovující použité řezací technologii. Výpočtu pohonu spodního nože bude věnována samostatná kapitola zabývající se celkovým pohonem stroje, tato část práce řeší kinematické vazby mezi horním a spodním nožovým hřídelem.

V případě, jako je tento, kdy je horní nůž poháněný vlastním pohonem, je nutné zajistit, aby jeho obvodová rychlost byla stejná jako rychlost pohybu materiálu nebo větší, aby nedocházelo k hrnutí materiálu před břitem nože. Jelikož smysl otáčení horního a spodního nože je opačný, nejvhodnější mechanickou vazbou mezi nožovými hřídely je převod ozubenými koly (Obr. 55). V takovém případě je ale potřeba zajistit, aby osová vzdálenost nožů a ozubených kol byla přibližně stejná, a navíc i částečně proměnlivá kvůli postupnému opotřebovávání nožů a odlišnému překrytí horního nože se spodním při každém řezání. Z toho důvodu jsou volena ozubená kola s modulem $m = 4 \text{ mm}$, u kterých mírná změna osové vzdálenosti nezpůsobí ztrátu funkčnosti převodu.

Osová vzdálenost horního a spodního nože závisí na překrytí břitů a_x :

$$a_N = \frac{d_{SN} + d_{HN}}{2} - a_x \quad (6)$$

Při překrytí břitů o 3 mm tedy osová vzdálenost nožů vychází:

$$a_N = \frac{80 + 105}{2} - 3 = 89,5 \text{ mm} \quad (7)$$

Předpokládejme, že obvodová rychlost spodního nože v_{SN} odpovídá rychlosti vedení materiálu v . Převodový poměr úhlových rychlostí spodního a horního nože je známý vztah (8), vazba mezi obvodovou a úhlovou rychlostí je podle (9):

$$i_{SH} = \frac{\omega_{SN}}{\omega_{HN}} \quad (8)$$

$$v = \omega \cdot \frac{d}{2} \quad (9)$$

Vyjádřením v_{HN} a postupným dosazováním vztahů (8) a (9) dostaneme:

$$v_{HN} = \omega_{HN} \cdot \frac{d_{HN}}{2} = \frac{\omega_{SN}}{i_{SH}} \cdot \frac{d_{HN}}{2} = \frac{2 \cdot v}{d_{SN}} \cdot \frac{1}{i_{SH}} \cdot \frac{d_{HN}}{2} = \frac{v}{i_{SH}} \cdot \frac{d_{HN}}{d_{SN}} \quad (10)$$

Chceme-li dodržet doporučení, že obvodová rychlost horních nožů musí být alespoň o 5 % větší než obvodová rychlost spodních nožů, pak musí platit:

$$v_{HN} \geq 1,05 \cdot v \quad (11)$$

a tedy:

$$\frac{v_{HN}}{v} = \frac{1}{i_{SH}} \cdot \frac{d_{HN}}{d_{SN}} \geq 1,05 \quad (12)$$

Vyjádřením za vztahu (12) získáme potřebný převodový poměr ozubených kol:

$$i_{SH} \leq \frac{d_{HN}}{d_{SN}} \cdot \frac{1}{1,05} = \frac{105}{80} \cdot \frac{1}{1,05} = 1,25 \quad (13)$$

po vyjádření převodu:

$$\frac{z_{HN}}{z_{SN}} \leq 1,25 \quad (14)$$

Dále víme, že osová vzdálenost ozubených kol se určí jako:

$$a_{OK} = \frac{d_{OKSN} + d_{OKHN}}{2} = \frac{m_n}{\cos \beta} \cdot \frac{z_{SN} + z_{HN}}{2} \quad (15)$$

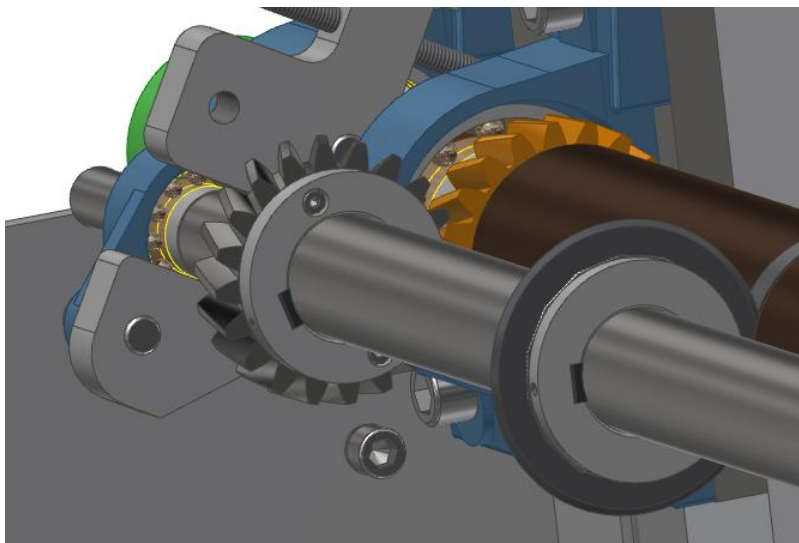
Uvažujeme ozubení s modulem $m_n = 4$ mm a sklon zubů $\beta = 20^\circ$, případně přímé ozubení.

Tabulka 1 zobrazuje hodnoty převodového poměru (i), příslušnou osovou vzdálenost kol se šikmými (a_{OK}) a přímými (a_{OK}^*) zuby a poměr obvodové rychlosti horního nože vůči obvodové rychlosti spodního nože (v_H / v). Z tabulky je patrné, že požadovaným podmínkám nejlépe vyhovuje poměr zubů 20 / 22 pro šikmé ozubení, nebo 20 / 24 pro kola s přímými zuby. V zásadě však všechny hodnoty uvedené v tabulce vyhovují zadání a o finální volbě ozubených kol musí rozhodnout technolog nebo obsluha stroje podle potřebné osové vzdálenosti (překrytu) nožů a nejvhodnějším poměru obvodové rychlosti horního nože vůči rychlosti papíru.

Tabulka 1.: Převod ozubenými koly

z_{SN}	20	20	20	20	20	19	19	21	21	21
z_{HN}	20	21	22	23	24	21	22	21	22	23
i	1	1,05	1,1	1,15	1,2	1,105	1,158	1	1,048	1,095
a_{OK} [mm]	85,134	87,263	89,391	91,519	93,648	85,134	87,263	89,391	91,519	93,648
a_{OK}^* [mm]	80	82	84	86	88	80	82	84	86	88
v_H / v	31,25	25	19,318	14,130	9,375	18,75	13,352	31,25	25,284	19,837

Vhledem k tomu, že ozubená kola není možné kvůli jejich umístění přímo v pracovní oblasti stroje (blízko vedeného pásu materiálu) mazat, minimálně jedno z kol by mělo být plastové, čímž se negativní dopady nemazaného záběru kol výrazně sníží. Z hlediska přenosu sil a únosnosti použití plastového kola také nepředstavuje problém, neboť celý pohon řezání nemá silový, ale pouze kinematický charakter (proti pohonu působí pouze pasivní odpory nožových hřídelů). Jednoduchá konstrukce celého zařízení navíc umožňuje v případě opotřebení plastového kola jeho velmi rychlou výměnu.



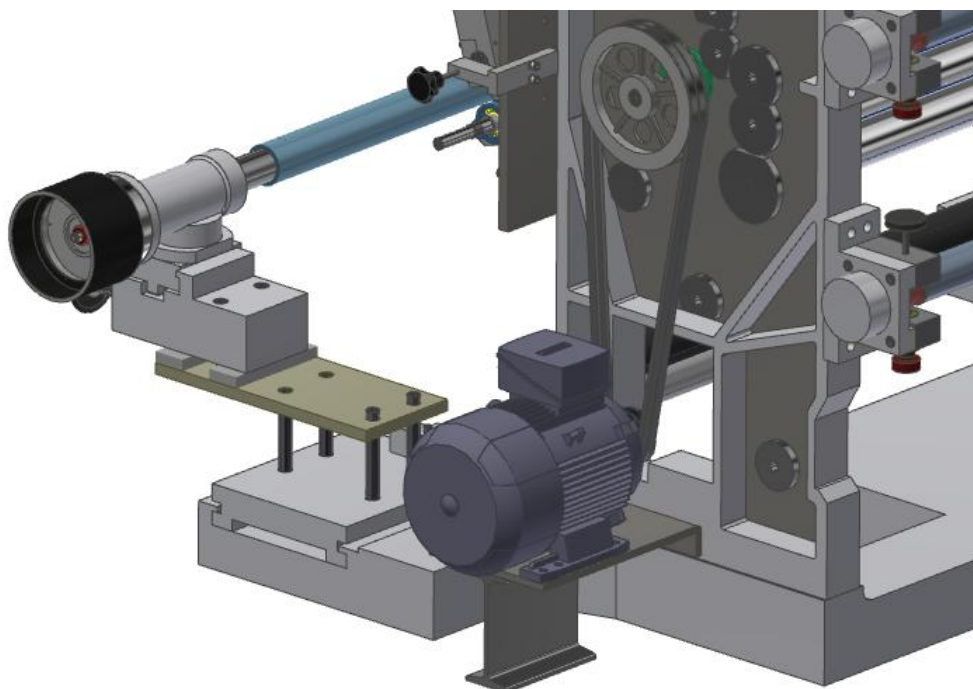
Obr. 55.: Ozubená kola nožových hřídelů

7 Pohon

Základem všech pracovních pohybů stroje je pogumovaný tažný válec. Na dráze materiálu představuje mezistupeň mezi odvíjecí sekci stroje a navíjením, z hlediska uspořádání rozvodu výkonu se jedná o první hnaný pracovní element za elektromotorem a samotný koncový čep tažného válce nese hnací prvky dalších částí stroje. Právě u tažného válce začínají všechny stěžejní úpravy pohonu, navíc rychlost pohybu materiálu závisí právě na otáčkách tohoto válce, proto všechny výpočty budou vycházet právě z jeho kinematických i silových parametrů.

7.1 Úpravy pohonu

Stávající asynchronní elektromotor (3 kW, 1430 ot/min) zůstává na stroji zachován, změnilo se však jeho umístění. Aby byl kompletně uvolněn prostor mezi bočnicemi, motor se přesunul z vnitřního prostoru stroje ven na přídavný stojan (Obr. 56). Taktéž převod klínovým řemenem zůstal beze změn, předepnutí řemenu pak zajišťuje vhodné napolohování motoru a jeho vlastní váha.



Obr. 56.: Elektromotor a převod klínovým řemenem

Klínový řemen pohání tažný válec, jehož původní poloha na stroji zůstala stejná, změnilo se však jeho uložení, protože zatímco původní pohon navíjecích hřídelí využíval dvoustupňový řetězový převod s předlohou hřídelí mezi tažným

válce a navíjecími hřídelemi, nový návrh počítá s přímým pohonem navíjení ozubeným řemenem a od tažného válce bude zároveň vyveden i druhý řemenový převod pohánějící doplňkový řezací mechanismus.

7.2 Tažný válec

Tažný válec s vnějším průměrem zůstane zachován ve stávající podobě, aby však bylo možné vyvést od něj dva řemenové převody, bylo nutné ho „prodloužit“. Toho se docílilo pomocí prodlužovacího čepu v upraveném nosném tělese. Čep je nasunutý na konec hřídele a k přenosu krouticího momentu z válce na čep dochází pomocí těsného pera 8 x 7 x 40. Upravené uložení pogumovaného válce je dobře patrné z Přílohy 1. Poloha válce se nejprve nastaví vůči prodlužovacímu čepu a poté se na druhé straně zajistí kroužkem se stavěcím šroubem opřeným o ložisko, čímž se zabrání jeho stranovému posuvu. Toto axiální pojištění je dostačující, neboť na válec nepůsobí žádné, nebo pouze zanedbatelné osové síly. Následně se na válec nasadí řemenice: klínová na čep s těsným perem (axiálně zajištěná šroubem), ozubené na hladký konec prodlužovacího čepu. Přenos krouticího momentu na ozubené řemenice je zajištěn specifickým způsobem jejich uložení na hřídeli – pomocí kuželových upínacích pouzder Taper Lock.

S tažným válce jsou spjaty následující geometrické, kinematické a silové poměry:

vnější průměr	$d_{TV} = 110 \text{ mm}$
krouticí moment	$M_k = 52,354 \text{ Nm}$
otáčky	$n_{TV} = 526,532 \text{ min}^{-1}$
úhlová rychlost	$\omega_{TV} = 55,138 \text{ s}^{-1}$
obvodová rychlost	$v_{TV} = v = 3,0326 \text{ m/s}$

7.2.1 Vedení materiálu

Tah materiálu je zajištěn kombinovaně oběma způsoby podle Obr. 28: opásáním tažného válce s pomocným přítlačným válce.

Opásaný tažný válec

Přibližný výpočet tahu vychází z aplikace Eulerova vztahu pro vláknové tření. Aby nedošlo k prokluzu papíru po tažném válci, musí při zavedení označení tahových sil odpovídajícímu Obr. 28 – b platit:

$$F_2 \leq F_1 \cdot e^{\alpha\mu} \quad (16)$$

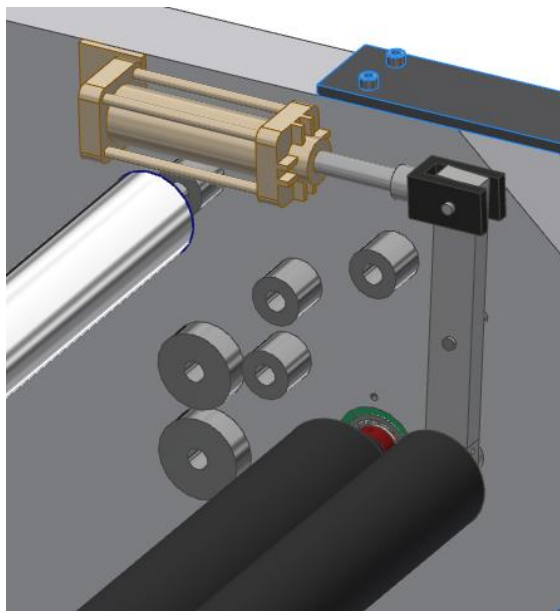
kde F_2 je tahová síla vyvíjená na odvíjený materiál, F_1 pak tah za tažným válcem. Tato podmínka však bude splněna vždy, jelikož tah materiálu musí být v celé dráze stejný a hodnota $e^{\alpha\mu}$ bude vždy větší než jedna při součiniteli tření mezi papírem a pryží $\mu = (0,4 \div 0,7)$, proto rovnice (16) bude platit vždy. Při rozdílných tazích, úhlu opásání $\alpha = 120^\circ$ a součiniteli tření $\mu = 0,4$ by samozřejmě muselo platit:

$$\frac{F_1}{F_2} \geq \frac{1}{e^{\alpha\mu}} = 0,433 \quad (17)$$

tedy že napnutí materiálu za tažným válcem by stačilo menší než poloviční vzhledem k velikosti tahové síly před válcem.

Přítlačný válec

Řezačka Čína je vybavena i druhým pogumovaným válcem s pneumaticky ovládaným přítlakem k tažnému válci (Obr. 57). Pneumatický píst dokáže při tlaku 6 bar vyvinout maximální sílu 424,115 N, což převedením přes páku dává maximální přítlak $F_S = 458,044$ N.



Obr. 57.: Přítlačný válec

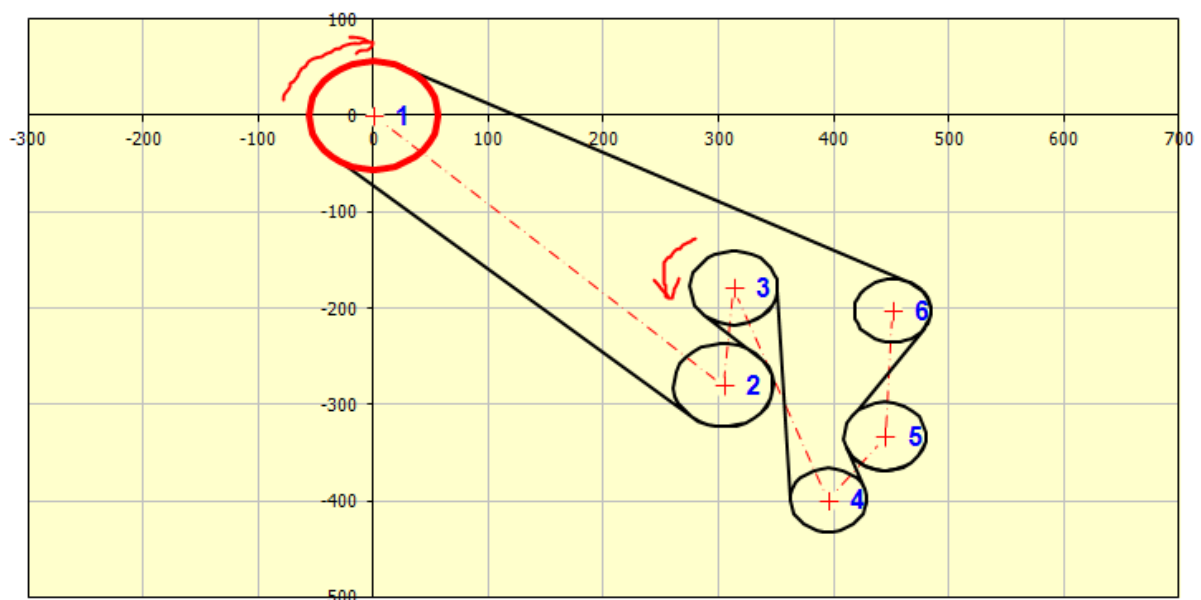
Výpočet tahu vyvozeného přítlačným válcem je o poznání zřetelnější oproti opásanému válci. Opět vyjdeme ze značení podle Obr. 28: F_B je tahová síla materiálu, F_S přítlak:

$$F_B = F_S \cdot \mu = 458,044 \cdot 0,4 = 183,218 \text{ N} \quad (18)$$

Tah se reguluje tlakem vzduchu v pneumatickém válci. Při požadovaném tahu $F_B = 100 \text{ N}$ je minimální potřebný tlak přibližně 3,3 bar.

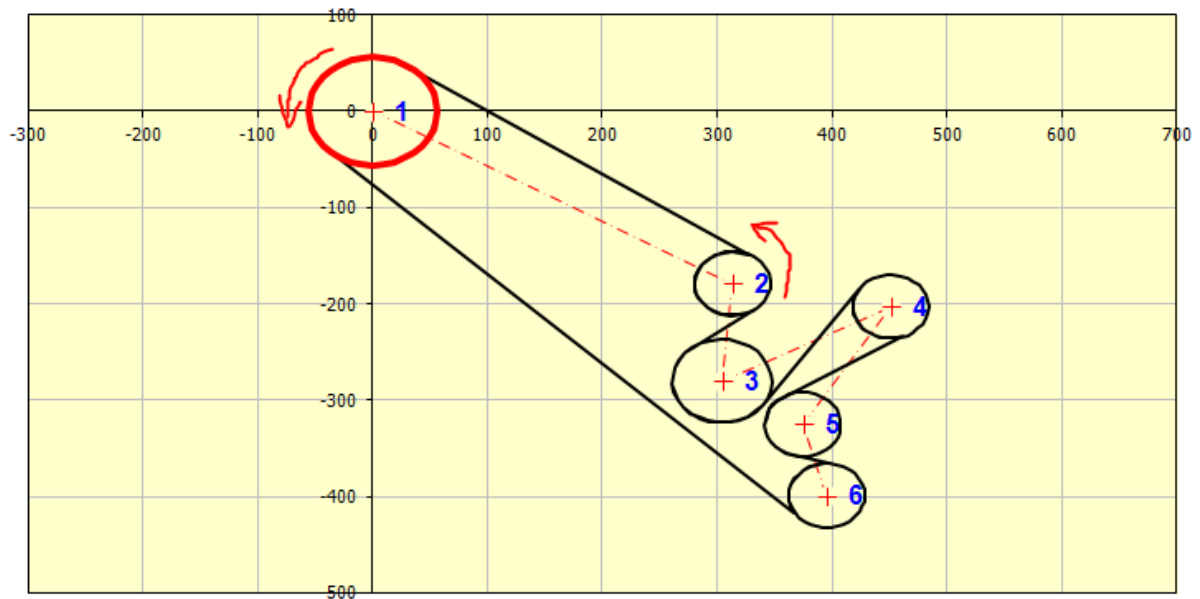
7.3 Pohon řezání

Pro pohon řezání byl zvolen ozubený řemen HTD 8M šířky 20 mm. Jelikož se jedná zejména o kinematický, a nikoliv silový přenos, je tato šířka dostačující. Hnací řemenice byla zvolena z katalogu firmy Haberkorn [27]: TL 44-8M-20. Tato řemenice má 44 zubů, výpočtový průměr $D_{pr} = 112,05 \text{ mm}$, a na hřídel se připevňuje pomocí kuželového upínacího pouzdra Taper Lock.



*Obr. 58.: Schéma pohonu řezacího zařízení – opačný smysl otáčení řemenic
(řemenice: 1 – hnací na tažném válci, 3 – hnaná, 5 – napínací)*

Navržené schéma řemenového převodu je zobrazené na Obr. 58. Je zřejmé, že po hnané řemenici č.3 je řemen veden po své hladké straně, uplatňují se zde tedy vlastnosti pohonu plochým řemenem. Toto uspořádání má dva důvody. Jedním z nich je požadavek, aby bylo možné v případě specifických zakázek odlišným vhodným provlečením řemenu změnit smysl otáčení tažného válce při zachování smyslu otáčení nožů (Obr. 59). Druhým důvodem je, že použití katalogových řemenic s celočíselnými počty zubů neumožňuje dodržet specifické požadavky na převod mezi tažným válcem a spodním nožem.



Obr. 59.: Schéma pohonu řezacího zařízení – stejný smysl otáčení řemenic

Základní podmínkou správné funkčnosti zařízení je dodržení stejné rychlosti pohybu materiálu při celém průchodu strojem. Proto musí platit rovnost obvodových rychlostí na tažném válci a na spodních nožích:

$$v = v_{TV} = v_{SN} \quad (19)$$

Cílem je určit průměr ploché řemenice, která tuto podmínku splní. I zde platí analogicky vztahy (8) a (9):

$$v = \omega_{TV} \cdot \frac{d_{TV}}{2} = \omega_{SN} \cdot \frac{d_{SN}}{2} \quad (20)$$

Dále platí:

$$\omega_{TV} = i_{TVSN} \cdot \omega_{SN} \quad (21)$$

Geometrický převod i_G je roven podílu průměrů hnané a hnací řemenice:

$$i_G = \frac{d_r}{D_{pr}} \quad (22)$$

v tomto případě je však nutné zahrnout do výpočtu i pružný skluz řemene po ploché řemenici:

$$i_{TVSN} = \frac{i_G}{(1 - \xi)} \quad (23)$$

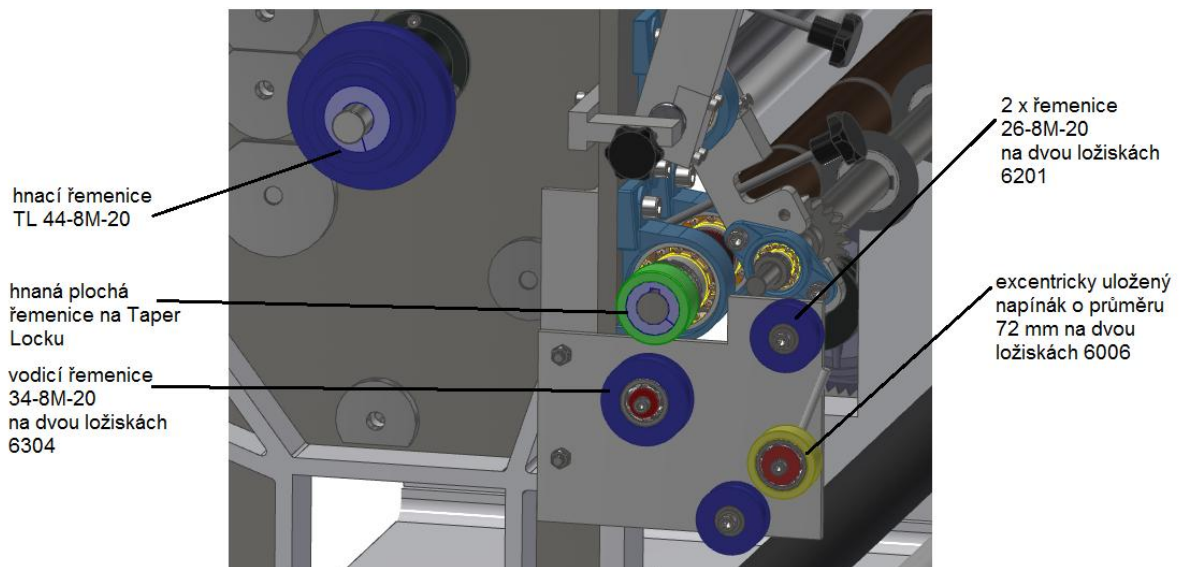
Sloučením předchozích vztahů a úpravou výrazu získáme výsledný vzorec pro výpočet potřebného průměru ploché řemenice:

$$d_r = (1 - \xi) \cdot \frac{d_{SN} \cdot D_{pr}}{d_{TV}} \quad (24)$$

Průměry spodních nožů, tažného válce i řemenice jsou známé, nejistotu však do výpočtu vnáší hodnota skluzu ξ . Pro ploché řemeny se standardně pohybuje v rozmezí hodnot (0,01 ÷ 0,02), chování ozubeného řemene se však dá pouze velmi obtížně odhadnout. Z hlediska zajištění optimální funkce stroje se jako nejbezpečnější postup jeví volba minimálního, nebo i nulového skluzu, následná výroba odpovídající řemenice (při nulovém skluzu $d_r = 81,491 \text{ mm}$) a po smontování zařízení změření otáček nožového hřídele vůči otáčkám tažného válce, čímž se určí chování systému, a poté je už poměrně jednoduché vyladit převod zmenšením průměru ploché řemenice na optimální hodnotu.

Pomocí programu MITCalc byla stanovena délka řemenu pro obě varianty umožňující rozdílné propletení řemenu. Zvolený nekonečný ozubený řemen má délku 2 000 mm a 250 zubů.

Konstrukční provedení součástí převodu je znázorněno na Obr. 60.



Obr. 60.: Řemenice pohonu řezání

7.4 Pohon navíjení

I při řešení pohonu navíjení musí zůstat zachována patřičná kinematická vazba mezi rychlostí navíjecích hřídelí a rychlostí tažného válce. Obecně platí, že pohon navíjecích hřídelí by měl být schopen roztáčet je větší obvodovou rychlostí, než jakou se pohybuje zpracovávaný materiál, přičemž skutečné rychlosti se vyrovnávají částečným prokluzem spojek. Navíjecí část stroje se navíc největší měrou podílí na vytváření tahové síly v materiálu, proto zde není možné zanedbat silové účinky jako v předchozích případech.

Původní pohon navíjení byl řešen dvoustupňovým řetězovým převodem s celkovým převodovým poměrem $i_N^* = 0,853$. Nový návrh využívá ozubený řemen HTD 8M šířky 30 mm. Základní výpočet opět vychází z kinematických poměrů, kdy obvodová rychlost navíjení musí být stejná nebo větší, než je obvodová rychlost tažného válce:

$$v_N = \omega_N \cdot \frac{d_N}{2} \geq \omega_{TV} \cdot \frac{d_{TV}}{2} \quad (25)$$

Skutečný převodový poměr mezi navíjením a odvíjením odpovídá geometrickému a je roven podílu otáček tažného válce a navíjecích hřídelí:

$$i = \frac{\omega_{TV}}{\omega_N} \quad (26)$$

takže po dosazení do (25) vyjádříme podmínku:

$$\frac{d_N}{d_{TV}} \geq i \quad (27)$$

Zatímco převodový poměr je neměnný, levá strana rovnice (27) se plynule zvětšuje s rostoucím návinem, převod je proto nutné navrhnout pro minimální případ, tj. pro začátek navíjení. Uvažujeme-li, že na začátku navíjení může být nejmenší navíjený průměr 84 mm (na dutinku s vnitřním průměrem 70 mm), hodnota převodového poměru musí být:

$$\frac{84}{110} = 0,7636 \geq i \quad (28)$$

Této hodnotě velmi dobře vyhovuje převod mezi řemenicemi TL 64-8M-30 (hnací) a 48-8M-30 (hnané), kdy $i_{NF} = 0,75$. Rychlostní podmínka je tedy splněna a zároveň to znamená, že hned od začátku navíjení bude spojka pracovat

s prokluzem, což umožňuje velmi přesně regulovat tah materiálu od počátku pracovního cyklu stroje. Také je však potřeba si uvědomit, že při zvětšování průměru náviny bude při konstantním převodu teoreticky vzrůstat obvodová rychlost navíjeného materiálu, ta však reálně musí být stále stejná – totožná s obvodovou rychlostí tažného válce – což se projeví vzrůstajícím prokluzem spojky. Zároveň však bude narůstat rameno tažné síly, tudíž i krouticí moment, takže zátěž spojky bude o to výraznější, což povede k jejímu zahřívání.

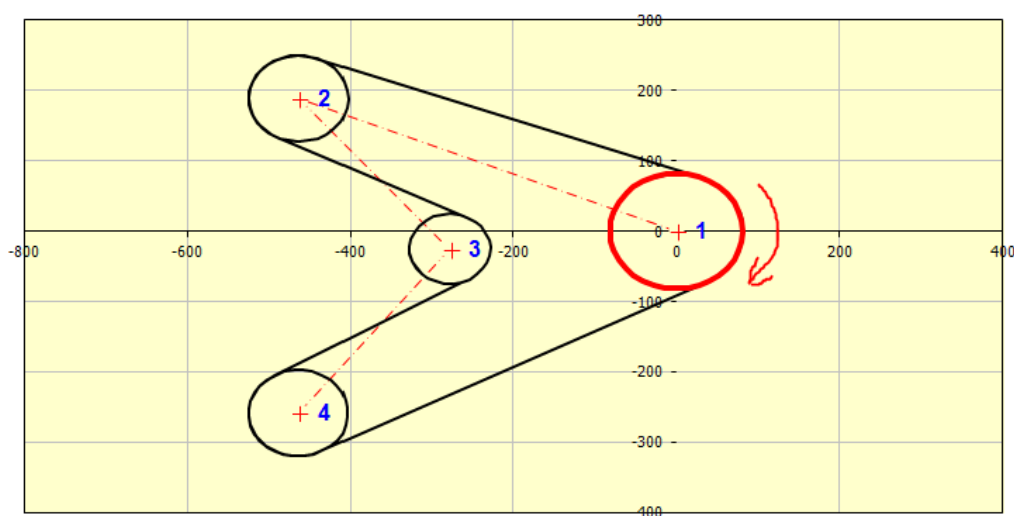
Maximální tah materiálu lze stanovit z přenosu krouticího momentu na navíjecí hřídele. Předpokládá se rovnoměrné rozložení odebíraného výkonu mezi hřídele a účinnost převodu 0,99.

$$M_{kN} = \frac{1}{2} \cdot M_k \cdot i_{N\dot{\gamma}} \cdot \eta_{\dot{\gamma}} = \frac{1}{2} \cdot 52,354 \cdot 0,75 \cdot 0,99 = 19,436 \text{ Nm} \quad (29)$$

Tahová síla odpovídá průměru náviny:

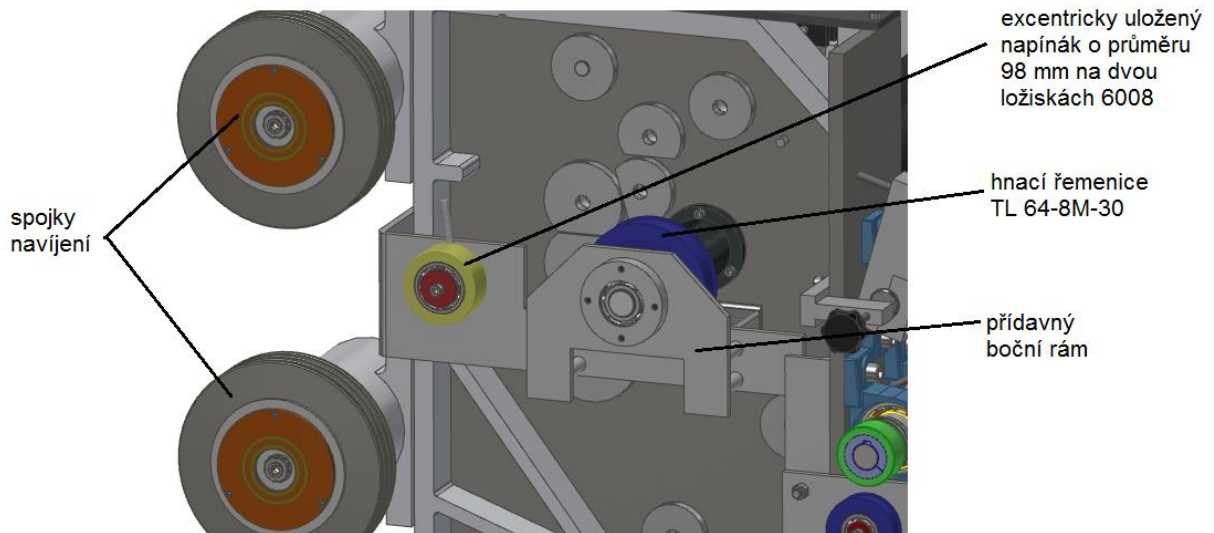
$$T = \frac{M_{kN}}{\frac{d_N}{2}} \quad (30)$$

Při změně navíjeného průměru v rozsahu (84 ÷ 400) mm potom maximální tah, který je stroj schopný vyvinout, klesá od hodnoty 462,77 N k minimu 97,18 N. Pokud je však nutné dosáhnout větších tahových sil, je toho možné dosáhnout při nestejném rozložení výkonu mezi navíjecí hřídele, v extrémním případě při navíjení pouze na jednu hřídel dokáže stroj vyvinout tahovou sílu v rozsahu od 925,54 N po minimálních 194,36 N. Maximální přenositelný krouticí moment, na který je třeba dimenzovat spojky, je tedy 37,87 Nm.



Obr. 61.: Schéma pohonu navíjení

Uspořádání řemenového převodu je vidět na Obr. 61. Jelikož se řemen nachází poměrně daleko od výdutě v bočnici, což by značně komplikovalo jeho napínání, na stroj se připevnil ještě přídatný boční rám (Obr. 62), který jednak nese napínací rolnu, a zároveň je k němu připevněno těleso s ložiskem pro lepší zachycení reakčních sil od řemenového převodu.



Obr. 62.: Přídatný boční rám

K výpočtu délky řemene a reakčních sil a stanovení polohy napínáku byl použit program MITCalc, zvolený řemen má délku 2 240 mm a 280 zubů.

7.5 Kontrolní výpočty

Těsné pero 8 x 7 x 40 mm mezi válcem a prodlužovacím čepem

Kontrola na kontaktní tlak:

$$p = \frac{4 \cdot M_k}{(n) \cdot d \cdot h \cdot (l - b)} = \frac{4 \cdot 52\,354}{(1) \cdot 25 \cdot 7 \cdot (40 - 8)} = 37,4 \text{ MPa} < 100 \text{ MPa} \quad (31)$$

Pero vyhovuje.

Uložení ozubených řemenic na kuželovém upínacím pouzdru Taper lock

Kontrola na přenos krouticího momentu:

Hnací ozubené řemenice TL 64-8M-30 a TL 44-8M-20 jsou uloženy na pouzdrech Taper Lock 2012 a 2517. První uvedené přenesou při odpovídajícím průměru díry krouticí moment 165 Nm, druhé pak 220 Nm, což je s velkou bezpečností nad hodnotou krouticího momentu tažného válce $M_k = 52,354 \text{ Nm}$.



Napínání řemene HTD 8M-30

Kontrola ložisek 2 x 6008:

Radiální zatížení obou ložisek: $F_r = 927,7 \text{ N}$

Otáčky ložiska: $n = 880 \text{ ot/min}$

Dynamická únosnost ložiska: $C = 17,8 \text{ kN}$

Vzorec pro určení trvanlivosti ložiska:

$$L_H = \left(\frac{C}{F}\right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} \geq 30\,000 \text{ hod} \quad (32)$$

po dosažení při rozložení síly mezi dvě ložiska:

$$L_H = \left(\frac{17,8}{0,9277 \cdot 0,5}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 880} = 1\,070\,270 \text{ hod} \geq 30\,000 \text{ hod} \quad (33)$$

Ložisko vyhovuje.

8 Rekonstrukce navíjení

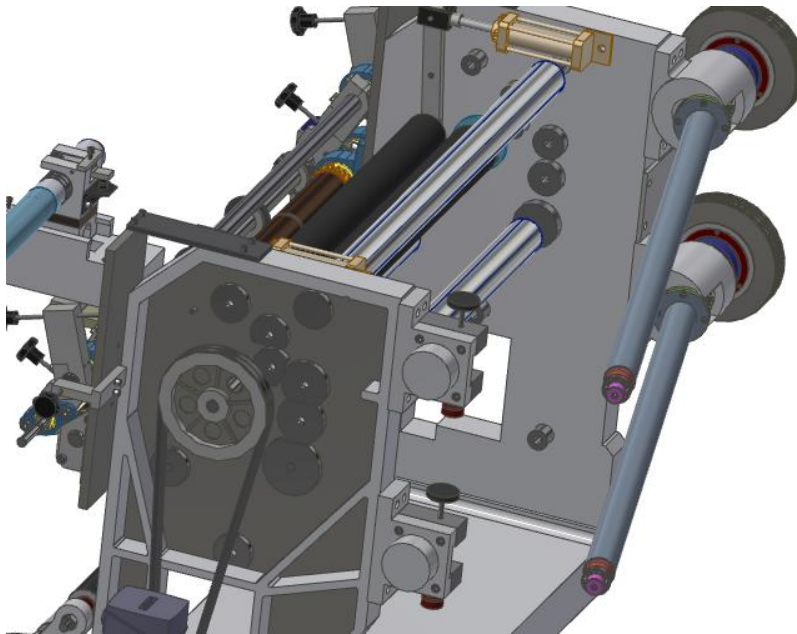
Navíjecí část stroje prošla kompletní přestavbou. Z původního provedení zůstala pouze tělesa rámu, ve kterých je uložena hřídel, prakticky všechny ostatní komponenty jsou navrženy nově. Provedené úpravy jsou dobře vidět v návrhovém výkresu (Příloha 2). Návrh vychází z několika základních požadavků. Prvním z nich je nutná výměna stávajících práškových spojek, které jsou na hranici, ne-li již za hranicí životnosti. Dalším kritériem je nový řemenový pohon navíjecí sekce, který by na stávající provedení nebylo bez úprav možné namontovat, a posledním požadavkem je záměr vedení firmy vybavit navíjecí sekci vyměnitelnými frikčními navíjecími hřídelemi pro diferenční navíjení, jejichž montáž na stroj má být, pokud možno, co nejjednodušší a ideálně s určitým „modulárním“ připojovacím prvkem, aby bylo možné je v případě potřeby vyměnit za pneumatické rozpínací hřídele.

Základem konstrukčních úprav bylo navržení řemenového pohonu a jeho napojení na novou elektromagnetickou práškovou spojku. Návrhu pohonu se věnuje předchozí kapitola, kde byl zároveň stanoven moment, který musí navíjecí spojky bezpečně přenést. Hodnota tohoto momentu je přibližně 38 Nm, proto byla zvolena spojka schopná přenést nejbližší vyšší krouticí moment: elektromagnetická prášková spojka Eleflex C.651.R, která dokáže přenést moment až 65 Nm a zároveň je vybavena žebrovým chlazením, neboť největší výkony přenáší při největším prokluzu a u nechlazené spojky by hrozilo přehřátí a ztráta brzdného účinku.

Důležitým požadavkem bylo zachování stávajícího systému vyklápění hřídelí pro nasazování dutinek (Obr. 63). Koncový čep musí být ve spojnici umístěn pevně, návrh ale vychází z původního provedení, kde je mezi koncový čep a samotné tělo navíjecí hřídele vložen křížový kloub, který při provozu funguje pouze jako prodloužení a spojovací prvek, zároveň však umožňuje po zastavení stroje vyklonit navíjecí hřídel a volně manipulovat s kotouči a dutinkami. Dostatečnou únosnost při vyklopení hřídele zajišťuje trojice ložisek 6208.

Navržená úprava navíjení v sobě zahrnuje poměrně unikátní způsob přívodu tlakového vzduchu k zajištění upínací funkce hřídelí. Zatímco běžná praxe vyžaduje, aby obsluha stroje na začátku každé operace připojila k ventilu na hřídeli přívod vzduchu a zajistila vysunutí upínacích elementů, nové provedení vychází z trvalého připojení ventilu s rotačním přívodem vzduchu v ose koncového

čepu. Tlakový vzduch proudí vrtáním v čepu až ke křížovému kloubu, kde je vyveden ventilkem do hadičky omotané kolem kloubu a přiveden do navazujícího čepu. V něm je další vrtání, které vede až k připojení upínací hřídele. Samozřejmostí je utěsnění vzájemného spoje čepu a hřídele pomocí O-kroužků.



Obr. 63.: Vyklopení navíjecích hřídelí

Připojování hřídelí je navrženo s ohledem na snadnou zaměnitelnost jednotlivých hřídelí a rychlou výměnu. Koncový čep je opatřen přírubou, ke které tvoří příruba hřídele odpovídající protikus. Příruby jsou k sobě spojeny šrouby, při montáži (centrování) čepu do díry je nutné pouze dohlédnout, aby nedošlo k poškození těsnicích kroužků.

9 Závěr

V rámci této práce byly popsány metody podélného i příčného zpracování tenkých materiálů a s využitím získaných teoretických i praktických poznatků posléze navrženy a popsány konstrukční úpravy řezačky „Číny“, původně podélné řezačky fólie žiletkovými noži, nyní mnohem univerzálnějšího řezacího stroje schopného zpracovávat širokou škálu materiálů od papírů po netkané textilie. Je evidentní, že rekonstrukce celého stroje je značně komplexní problém a úpravy každé jednotlivé části zařízení by při podrobné analýze konkrétní problematiky vystačily na samostatnou práci. Všechny úpravy, které rekonstruovaný stroj za dobu jeho životnosti postihly, včetně těch popisovaných v této práci, odpovídají zaměření a vlastní podobě této řezačky – jednoduchému, ale univerzálnímu stroji. Cílem práce nebylo vytvořit dokonalý, ve všech ohledech odladěný a špičkový stroj pro velkosériovou výrobu, ale zajistit dobrou funkčnost stávajícího zařízení a rozšířit jeho možnosti. Mnohdy značně předimenzované prvky stroje ani nebylo nutné pevnostně kontrolovat, jelikož se však jedná o univerzální stroj, je naopak žádoucí, aby nebyl omezen přesně stanovenými výkony a zatížením, ale bylo možné ho využívat v širokém rozsahu provozních schopností. Navržené úpravy vycházejí z potřeb zadávající firmy a odpovídají provozním parametrům stroje. Jednoduchý řezací mechanismus umožňuje obsluhu stroje snadnou manipulací a přitom splňuje všechny požadavky na přesnost. Úprava pohonného systému představuje ztišení chodu stroje a zajišťuje dostatečnou čistotu. Použití nových spojek a brzdy umožňuje mnohem přesněji regulovat tahy materiálu, zvýšené odvíjení umožňuje zpracovávat role metrového průměru a nová konstrukce navíjení umožní snadno zaměňovat navíjecí hřídele a navíjet na dutinky rozdílných průměrů.

Seznam použitých zdrojů

- [1] GOOD, J. K. a David R. ROISUM. *Winding: machines, mechanics and measurements*. Lancaster: DEStech, c2008. ISBN 978-1-932078-69-5.
- [2] LEŠIKAR, Miloš. Řezání – základní operace zpracování materiálu. *Svět tisku* [online]. Úvaly: Svět tisku, ©2004 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: http://www.svettisku.cz/buxus/generate_page.php?page_id=7009&buxus_svettisku=
- [3] *Stepa: Přesné a ostré řezání* [online]. Lanškroun: Stepa, ©2015 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://www.stepa.cz/>
- [4] MACHÁŇ, Josef. *Výroba obalů: Technologické postupy zpracování papíru a lepenek*. 3., opr. vyd., na SOŠ a VOŠ obalové techniky ve Štětí 2., opr. vyd. Štětí: Střední odborná škola a Vyšší odborná škola obalové techniky, 1999. ISBN 8086343014.
- [5] MUSHIRI, Tawanda, Godfrey MASHANA a Charles MBOHWA. *Design of a paper slitting and rewinding machine for a developing country, Zimbabwe* [online]. Michigan: IEOM Society International, September 23 – 25, 2016 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <http://ieomsociety.org/ieomdetroit/pdfs/344.pdf>
- [6] Řezání-Log slitting. *LAGA: Lepící pásy* [online]. Borohrádek: LAGA, ©2018 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <http://www.laga.cz/rezani-log-slitting>
- [7] *Cevenini: Specialist in Log Slitting Machines* [online]. Concorezzo: CMC Converting Machinery Cevenini Srl [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://www.log-slitting-machine.com/>
- [8] *Slitting Techniques: A Basic Guide. Parkinson Technologies: manufacturer of web processing equipment* [online]. Woonsocket: Parkinson Technologies, ©2018 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z:

- <https://www.parkinsonstechnologies.com/blog/slitting-techniques-a-basic-guide>
- [9] PRINCIPLES OF SHEAR SLITTING. In: *Burriss Machine Company* [online]. Hickory: Burriss Machine Co., ©2011 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: http://www.burrismachineco.com/pdfs/Principles_of_shear_slitting_burriss.pdf
- [10] Guide to Winding & Slitting. In: *ASHE: Slitter Rewinders and Converting Equipment* [online]. United Kingdom: Ashe, ©2018 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://www.ashe.co.uk/ASHE/media/Downloads/pdf/maintenance/winding.pdf>
- [11] FORDHAM, Keith. Shear Slitting Can Provide Advantages. *Paper, Film & Foil CONVERTER* [online]. Fort Dodge: PFFC, ©2018 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <http://www.pffc-online.com/ar/2590-shear-slitting-advantages>
- [12] CHAMRAD, Jakub. *POROVNÁNÍ TECHNOLOGIÍ ŘEZÁNÍ VODNÍM PAPRSKEM A LASEREM* [online]. Brno, 2014 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=85158. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [13] Řezání papíru a kartónu: Řezání, rýhování, nasekávání a perforace laserem Trotec. *Megaflex* [online]. Praha: MEGAFLEX, ©2011-2018 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://www.megaflex.cz/lasery/material/rezani-papiru-a-kartonu/>
- [14] Laserové řezání a gravírování papíru, kartonu a lepenky. *Eurolaser: Vysoce výkonné laserové stroje* [online]. Lüneburg: eurolaser, ©2015-2018 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://www.eurolaser.com/cz/materialy/papir-lepenka-karton/>



- [15] Paper Cutting & Slitting with Waterjet. *KMT Waterjet* [online]. Baxter Springs: KMT Waterjet, ©2018 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://www.kmtwaterjet.com/kmt-paper-cutting-and-slitting.aspx>
- [16] Řezání výrobků z papíru vodním paprskem. *Flow Waterjet: Stroje pro řezání vodním paprskem* [online]. Flow International Corporation, ©2018 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://www.flowwaterjet.cz/Aplikace/Vyrobky-z-papiru>
- [17] Řezání ultrazvukem. *Ultratech* [online]. Liberec: Ultratech, ©2014 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <http://ultratech.cz/ultrazvukove-aplikace/rezani-ultrazvukem/>
- [18] Ultrazvukové řezání. *Wiretech: Ultrazvuková technologie* [online]. Brno: Wiretech [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://www.wiretech.cz/c/ultrazvukova-technologie/ultrazvukove-rezani>
- [19] Shear Cut Slitter. *Biko Meccanica: Progettazione e costruzione* [online]. Pramaggiore: Biko Meccanica, ©2011-2018 [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: http://www.biko.it/products_rollslitters_at1shear.php
- [20] TR slitter rewinder with rotary knives. *PASQUATO cutting machines* [online]. Venice: Pasquato cutting machines, ©2015 [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: <http://pasquato.com/project/slitter-rewinder-with-shear-knives-cutting-machines/>
- [21] Multi-purpose slitter-rewinder / for paper / compact / single-shaft RS-R. *Direct Industry* [online]. Direct Industry, ©2018 [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/baeumer-gmbh-converting-machines/product-182869-1813839.html>
- [22] *Reelton: Winding technic* [online]. Mrklov (Benecko): Reelton, ©2018 [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: <http://www.reelton.com/>



- [23] *Golpretech* [online]. Brno: Golpretech, ©2017 [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: <http://www.golpretech.cz/>
- [24] ČERMÁK, František a Bedřich PASKER. *Modernizace papírenských strojů*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1971. Řada chemické literatury.
- [25] ELEFLEX electromagnetic brakes. *Re: Pneumatic brakes, load cells, tension control, web guide and more* [online]. Milano: Re Controlli Industriali, ©2016 [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: <https://www.re-spa.com/en/dettaglio/electromagnetic-brakes-eleflex.aspx>
- [26] TECL, Pavel. *Automatická regulace tahu na převíjecích strojích*. Brno, 1995. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Ústav mikroelektroniky.
- [27] *Haberkorn* [online]. Mokrý Lazce: Haberkorn [cit. 2018-07-13]. Dostupné z: <http://www.haberkorn.cz/>

Seznam obrázků

Obr. 1.: Řez a stříh plochými nebo kruhovými noži [4]	2
Obr. 2.: Podélné řezání [5]	3
Obr. 3.: Log slitting [6]	4
Obr. 4.: Konvenční způsoby podélného řezání [8].....	5
Obr. 5.: Řez žiletkovým nožem [4].....	6
Obr. 6.: Řez kruhovým nožem [4][9].....	7
Obr. 7.: Držáky kruhových nožů [4]	8
Obr. 8.: Efekt stříhu kruhovými noži [5].....	9
Obr. 9.: Soustava kruhových nožů [4]	9
Obr. 10.: Wrap slitting X Tangent slitting [9]	11
Obr. 11.: Podélné řezání vodním paprskem [15].....	14
Obr. 12.: Řezání ultrazvukem [18].....	15
Obr. 13.: Stříh skloněnými noži [4].....	16
Obr. 14.: Dvoustranný sklon bříty nože [4]	16
Obr. 15.: Stříh pákovým nožem [4].....	17
Obr. 16.: Řezací mechanismy příčných řezaček [4]	17
Obr. 17.: Rovinný pohyb horního nože proti spodnímu noži [4].....	18
Obr. 18.: Rovinný pohyb horního nože při kmitavém pohybu řezací stanice [4] ...	18
Obr. 19.: Rotační pohyb horního nože proti nepohyblivému spodnímu noži [4] ...	19
Obr. 20.: Rotační pohyb horního i spodního nože [4]	19
Obr. 21.: Kmitavý pohyb nožů [4]	20
Obr. 22.: Schéma převíjecí řezačky [5]	21
Obr. 23.: Wrap slitting, nože ve svěrných držácích [19]	23
Obr. 24.: Tangenciální řezání, nože v pneumatických držácích [20]	24
Obr. 25.: Způsoby navíjení [1]	25
Obr. 26.: Řezačka s jedním navíjecím hřídelem [21].....	27
Obr. 27.: Řezačka s dvojitým navíjením [5]	28
Obr. 28.: Tažné válce [4]	29
Obr. 29.: Banánový válec [23]	31
Obr. 30.: Upínací hlavice [22]	32
Obr. 31.: Upínací hřídele s výstupními segmenty [22].....	32
Obr. 32.: Hřídel s upínacími pásy [23].....	33
Obr. 33.: Hřídel s upínacími lištami [22][23].....	33
Obr. 34.: Frikční hřídel [22][23].....	34
Obr. 35.: Navíjení kotoučů různých průměrů na frikční hřídel [22].....	34
Obr. 36.: Elektromagnetická prášková spojka [25]	36
Obr. 37.: Řezačka Čína	39
Obr. 38.: Původní řezací mechanismus „Číny“	39
Obr. 39.: Schéma původního uspořádání Číny	40
Obr. 40.: Ovládací pult Číny	41
Obr. 41.: Převod klínovým řemenem	42
Obr. 42.: Řetězový pohon navíjení	43
Obr. 43.: Vyklopení odvíjecí a navíjecí hřídele	44
Obr. 44.: Přídavný odvíjecí stojan	45
Obr. 45.: Valivé uložení odvíjení.....	45
Obr. 46.: Změna uspořádání stroje.....	46
Obr. 47.: Zvýšení polohy osy odvíjení	47
Obr. 48.: Valivé uložení vyklápěného konce odvíjecí hřídele	48

Obr. 49.: Otáčivé uložení odvíjecí hřídele s osovým posuvem a novou brzdou ...	48
Obr. 50.: Model desek – nosník spojitě zatížený	50
Obr. 51.: Ohybové namáhání desek.....	50
Obr. 52.: Doplnkový řezací mechanismus	51
Obr. 53.: Sklápění horních nožů do záběru	52
Obr. 54.: Horní kruhový nůž na držáku.....	53
Obr. 55.: Ozubená kola nožových hřídelů	56
Obr. 56.: Elektromotor a převod klínovým řemenem	57
Obr. 57.: Přítlačný válec	59
Obr. 58.: Schéma pohonu řezacího zařízení – opačný smysl otáčení řemenic....	60
Obr. 59.: Schéma pohonu řezacího zařízení – stejný smysl otáčení řemenic	61
Obr. 60.: Řemenice pohonu řezání	62
Obr. 61.: Schéma pohonu navíjení	64
Obr. 62.: Přídavný boční rám	65
Obr. 63.: Vyklopení navíjecích hřídelí.....	68

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1.: Převod ozubenými koly.....</i>	55
---	----

Seznam příloh

Příloha 1 – Uložení pogumovaného válce – SESTAVA

Příloha 2 – Navíjení – SESTAVA s frikčním hřídelem

Pozn.: Výkresová dokumentace odpovídá zvyklostem firmy Stepa s.r.o. a může se lišit od aktuálních platných norem ISO.