

Analýza provedení bandáží čel rotorových vinutí synchronních generátorů ve společnosti TES.

Bc. Přemysl Pilčík

Diplomová práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Přemysl Pilčík**
Osobní číslo: **T12678**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Analýza provedení bandáží čel rotorových vinutí
synchronních generátorů ve společnosti TES**

Zásady pro vypracování:

- 1.Literární rešerše z dané problematiky.**
- 2.Analýza současných způsobů provedení rotorových bandáží u synchronních generátorů ve společnosti TES.**
- 3.Ověření deklarovaných vlastností bandážových pásek a bandáží.**
- 4.Vyhodnocení způsobu provádění bandáží v závislosti na typu stroje, provozních parametrech a typu vinutí na hlavních rotorech a budičích.**
- 5.Doporučení způsobu provádění rotorových bandáží pro společnost TES.**
- 6.Závěr diplomové práce.**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího diplomové práce.

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Soňa Rusnáková, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

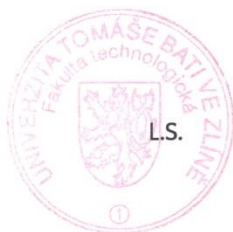
10. února 2014

Termín odevzdání diplomové práce:

12. května 2014

Ve Zlíně dne 10. února 2014


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

* Příjmení a jméno:

Obor:

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá analýzou tahových vlastností kompozitních bandážovacích materiálů, používaných k zajištění čel rotorových vinutí pro rotory synchronních generátorů, vyrábějících se ve firmě TES Vsetín a.s. Pro zajištění čel vinutí rotorů se používá technologie bandážování. Tato technologie se z hlediska na provedení uplatňuje jako strojní i ruční. Vzhledem ke složitosti tvarů se ve většině případů upřednostňuje provedení bandáží ruční metodou.

Teoretická část se zaměřuje na základní charakteristiku točivých elektrických strojů, zejména pak synchronního generátoru. Zobrazuje výrobní portfolio společnosti TES, která je ve výrobě elektrických strojů světově známá. Popisuje funkci bandáží a bandážovacích materiálů pro čela rotorových vinutí.

Praktická část se zabývá provedením bandáží, testováním deklarovaných vlastností bandážovacích pásek a následné porovnání jejich zaručených mechanických vlastností.

Klíčová slova: Bandážovací páska, rotorové vinutí, bandáž.

ABSTRACT

This thesis analyzes the tensile properties of composite bandage materials used to ensure the faces of the rotor windings of rotor synchronous generators, producing in the company TES Vsetin as To ensure the winding heads rotor technology is used bandaging . This technology is in terms of the design is applied as both machine and hand . Given the complexity of the shapes in most cases preferable embodiment bandage manual method .

The theoretical part focuses on the basic characteristics of rotating electrical machines , especially the synchronous generator. Displays the TES portfolio company that is in the manufacture of electrical machinery internationally known . Describes the bandages and bandage materials for the front rotor windings .

The practical part deals with making bandages , testing the declared properties bandage tape and then comparing their guaranteed mechanical properties.

Keywords :Banding Tape, rotor windings, bandage.

Tímto bych chtěl vyjádřit poděkování společnosti TES Vsetín, za poskytnutí materiálních i duševních prostředků při vypracovávání této práce. Dále bych chtěl poděkovat všem pracovníkům společnosti TES, kteří se na tomto projektu podíleli, a bez jejich pomoci by toto dílo nemohlo být dokončeno, zejména ing. Václavu Čalovi. Poděkování patří také vedoucí diplomové práce doc. Ing. Soni Rusnákové Ph.D. za odborné vedení.

Dále tímto děkuji pracovníkům fyzikální laboratoře firmy ITC Zlín, za poskytnutí laboratorních přístrojů při testování vzorků na tah. Zejména pak panu Hrdličkovi a paní ing. Bohatové.

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
ELEKTRICKÉ STROJE	13
1 ROZDĚLENÍ ELEKTRICKÝCH STROJŮ	14
1.1 PODLE PROUDOVÉ SOUSTAVY	14
1.2 PODLE ZPŮSOBU PŘEMĚNY MAGNETICKÉHO TOKU	14
1.3 PODLE VÝKONU.....	14
2 STEJNOSMĚRNÉ STROJE	15
2.1 STEJNOSMĚRNÉ GENERÁTORY (DYNAMA)	15
2.1.1 Těleso kostry	16
2.1.2 Rotor.....	16
2.1.3 Stator	16
2.1.4 Komutátor	16
2.1.5 Ventilace	17
2.1.6 Ložiskové štíty	18
2.2 DRUHY STEJNOSMĚRNÝCH GENERÁTORŮ (DYNAM).....	18
2.2.1 Dynamo s cizím buzením.....	18
2.2.2 Dynamo s derivačním (paralelním) buzením	18
2.2.3 Dynamo se sériovým buzením	19
2.2.4 Dynamo se smíšeným (kompaundním) buzením	19
2.3 STEJNOSMĚRNÉ MOTORY.....	20
2.3.1 Motor s cizím buzením.....	21
2.3.2 Motor s paralelním buzením	21
2.3.3 Motor se sériovým buzením.....	21
2.3.4 Motor s kompaundním buzením	21
3 SYNCHRONNÍ STROJE	22
3.1 FUNKCE SYNCHRONNÍCH STROJŮ	22
3.2 ČLENĚNÍ SYNCHRONNÍCH STROJŮ	22
3.2.1 Alternátory (generátory).....	22
3.2.2 Synchronní motory.....	22
3.3 KONSTRUKCE SYNCHRONNÍCH STROJŮ.....	23
3.3.1 Stator	23
3.3.2 Stroje podle konstrukce rotoru	24
3.3.3 Budič	25
3.4 VÝHODY A NEVÝHODY SYNCHRONNÍCH STROJŮ	25
4 ASYNCHRONNÍ STROJE	26
4.1 ČINNOST ASYNCHRONNÍHO STROJE	26
4.2 KONSTRUKCE ASYNCHRONNÍHO STROJE.....	26
4.3 ROZDĚLENÍ ASYNCHRONNÍCH MOTORŮ.....	27
4.3.1 Konstrukce motoru nakrátko.....	27
4.3.2 Konstrukce kroužkového motoru.....	28
5 SPOLEHLIVOST ELEKTRICKÝCH STROJŮ	30

6	BANDÁŽE ROTORŮ ELEKTRICKÝCH STROJŮ	31
7	VLÁKNY VYZTUŽENÉ MATERIÁLY – KOMPOZITY.....	33
7.1	OBECNÁ DEFINICE KOMPOZITNÍHO MATERIÁLU.....	33
7.2	VLASTNOSTI A SLOŽENÍ VLÁKNOVÝCH KOPMPOZITŮ	34
7.3	MATRICE.....	34
	Nenasycené polyesterové pryskyřice (UP-R).....	35
7.4	ÚLOHA VYZTUŽENÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	35
8	MECHANIKA KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	38
8.1	MIKROMECHANIKA KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	38
8.2	MAKROMECHANIKA KOMPOZITŮ.....	39
8.3	MECHANISMY PORUŠOVÁNÍ	39
8.4	ORTOTROPNÍ VRSTVA	40
8.5	ZKOUŠKY MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ	42
	8.5.1 Tahová zkouška.....	42
II	PRAKTICKÁ ČÁST	46
9	CÍLE PRÁCE	47
10	O SPOLEČNOSTI TES VSETÍN	48
10.1	VÝROBNÍ DIVIZE TEM	48
	10.1.1 Synchronní generátory GSH a GSV	48
	10.1.2 Asynchronní generátory GAK	49
	10.1.3 Asynchronní motory MAK	50
10.2	VÝROBNÍ DIVIZE TEC	50
	10.2.1 Výroba koster, štítů a hřídelů	50
	10.2.2 Výroba elektroplechů	51
	10.2.3 Statorové a rotorové pakety	51
10.3	VÝROBNÍ DIVIZE TED	51
	10.3.1 Středisko průmyslové automatizace.....	51
	10.3.2 Zkušební stanoviště	51
	10.3.3 Jednoučelové stroje	52
	10.3.4 Elektrické pohony	52
	10.3.5 Rozvaděče NN	52
11	BANDÁŽOVACÍ PÁSKA POLYGLAS® H200	53
11.1	OBECNĚ.....	53
11.2	POUŽITÍ	53
11.3	ZPRACOVÁNÍ	53
11.4	DALŠÍ TECHNICKÉ SPECIFIKACE OSTATNÍCH DRUHŮ PÁSEK POLYGLAS®	56
11.5	VÝPOČET VRSTEV BANDÁŽÍ ROTORU	58
12	TECHNOLOGICKÝ PŘEDPIS PRO BANDÁŽOVÁNÍ ROTOROVÝCH VINUTÍ PÁSKAMI POLYGLAS®.....	59

12.1	USTANOVENÍ.....	59
12.2	MATERIÁL PŘI BANDÁŽOVÁNÍ.....	59
12.3	ROTOR A BANDÁŽ.....	60
12.4	ZAŘÍZENÍ PRO BANDÁŽOVÁNÍ ROTORŮ.....	61
12.5	PŘÍPRAVA ROTORU PRO BANDÁŽOVÁNÍ.....	61
12.6	BANDÁŽOVÁNÍ ROTORŮ.....	61
12.7	DOKONČENÍ BANDÁŽE.....	62
12.8	VYTVRZENÍ BANDÁŽE.....	62
12.9	MEZIOPERAČNÍ KONTROLY.....	62
12.10	BEZPEČNOST A HYGIENA PRÁCE.....	63
12.11	POŽADAVKY EMS.....	63
13	NÁVRH A VÝROBA PŘÍPRAVKU PRO ZKOUMÁNÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ BANDÁŽÍ Z PÁSEK POLYGLAS®	64
13.1	VSTUPNÍ PARAMETRY.....	64
13.2	NÁVRH ROZMĚRŮ PŘÍPRAVKU.....	64
13.3	KONSTRUKCE PŘÍPRAVKU.....	65
14	VLASTNÍ VÝROBA PŘÍPRAVKU.....	72
15	VÝROBA BANDÁŽE NA PŘÍPRAVKU.....	76
15.1	VÝROBA STROJNĚ NAVÍJENÉ BANDÁŽE.....	77
15.2	VÝROBA RUČNĚ NAVÍJENÉ BANDÁŽE.....	78
15.3	DOKONČENÍ BANDÁŽÍ A VYTVRZENÍ.....	79
16	TESTOVÁNÍ BANDÁŽÍ NA TAH.....	82
16.1	TAHOVÉ VRSTVY JEDNOSMĚRNĚ VYZTUŽENÝCH KOMPOZITŮ POMOCÍ NOL- RING VZORKU.....	82
16.2	VLASTNÍ TESTOVÁNÍ VZORKŮ TYPU NOL-RING.....	82
16.3	VYHODNOCENÍ TAHOVÉ ZKOUŠKY BANDÁŽÍ RUČNĚ NAVINUTÝCH.....	84
16.4	VYHODNOCENÍ TAHOVÉ ZKOUŠKY BANDÁŽÍ STROJNĚ NAVINUTÝCH.....	85
16.5	STATISTIKA NAMĚŘENÝCH DAT.....	87
17	VÝROBA A TESTOVÁNÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ BANDÁŽÍ Z PÁSEK POLYGLAS® V PŘÍČNÉM SMĚRU	89
17.1	STATISTIKA NAMĚŘENÝCH DAT.....	93
18	ZÁVĚREČNÉ SHRNTÍ.....	94
	ZÁVĚREČNÉ SHRNTÍ A DOPORUČENÍ PRO VÝROBU.....	97
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	98
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	100
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	101
	SEZNAM TABULEK.....	104
	SEZNAM PŘÍLOH.....	105

ÚVOD

Po objevení prvního zdroje stálého elektrického proudu, kterým byl Voltův článěk v roce 1800, nastal v průběhu 19. století velký rozmach objevů v elektrotechnice. Do první poloviny 19. století byla prozkoumána většina elektrických vlastností látek za normálních podmínek, byly objeveny zákony platící v elektrotechnice a s tímto úzce spjatá souvislost elektřiny a magnetismu. Jako nejvýznamnější badatele můžeme zmínit Alessandro Volta, André Marie Ampér nebo Michael Faraday.

Období druhé poloviny 19. století se traduje jako doba objevů mnoha elektrických vynálezů, do nichž patří také objevení prvního primitivního elektromotoru Michaelem Faradayem před více než 180 lety. Netrvalo dlouho a rozmach vývoje elektrických točivých strojů začal nabírat na síle. Implementace těchto vynálezů do průmyslu, domácností a všude tam, kde bylo potřeba, poskytla lidstvu zcela nový potenciál.

Třetí fáze vývoje elektrotechniky koncem 19. a počátkem 20. století již zahrnovala plošnou elektrifikaci měst a obcí. To vedlo k masové výstavbě elektráren a největší uplatnění zde našly jak jinak, než elektrické točivé stroje.

Elektrické točivé stroje jsou dnes již neodmyslitelnou součástí lidského života. Aniž bychom je nějak hlouběji vnímali. Mohou pracovat jako generátory a vyrábí nám elektrickou energii za pomoci tepla, vody nebo větru. Prostřednictvím přeměny elektrické energie na mechanickou nám usnadňují namáhavou práci. Používáme je a vidáme denně v mnoha různých velikostech a konstrukčních provedeních.

Bez těchto strojů by dnes náš svět, jak jej známe, nemohl existovat. Proto je třeba brát zřetel na vývoj jejich účinnosti a šetrnost k životnímu prostředí.

Úvod práce je věnován základnímu rozdělení a charakteristice točivých elektrických strojů, funkci jednotlivých komponentů a používaných materiálů při jejich konstruování. Dále je věnována část práce uchycením vinutí prostřednictvím bandáží a jejich funkci.

I. TEORETICKÁ ČÁST

ELEKTRICKÉ STROJE

Elektrické stroje pracují v rozmanitých klimatických podmínkách, při různé teplotě a vlhkosti okolního prostředí, při různé nadmořské výšce, v prostředí obsahujícím různé, často chemicky agresivní látky a při jiných podmínkách, které se často velmi liší od podmínek normálních. Všeobecně pro návrh stavby elektrického stroje se považuje za normální podmínky: teplota okolního prostředí $+25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, vlhkost vzduchu 35 – 80 %, atmosférický tlak 84 – 106 kPa. Čím více se liší podmínky prostředí, ve kterých má stroj pracovat, tím více se odlišuje jeho konstrukce, vinutí, utěsnění a další atributy, které stroj odlišují od stroje běžné konstrukce.

Všeobecně lze říci, že konstrukční uspořádání elektrických strojů, pracujících pod vodou, pod zemí v obvyklých podmínkách, či v kosmu jsou velmi rozmanité.

Elektrické stroje jsou zařízení pro přeměnu elektrické energie. Aby se tak dělo, používají magnetický obvod s elektrickým vinutím. Elektrické stroje lze všeobecně rozdělit do základních skupin na točivé elektrické stroje – transformují elektrickou energii na mechanickou a naopak (motory, generátory) a stroje netočivé (transformátory). V této práci je teoretická rešerše věnována pouze strojům točivým.

1 ROZDĚLENÍ ELEKTRICKÝCH STROJŮ

1.1 Podle proudové soustavy

- Stejnoseměrné
- Střídavé – 1-, 3- a více fází (synchronní, asynchronní, komutátorové)
- Univerzální

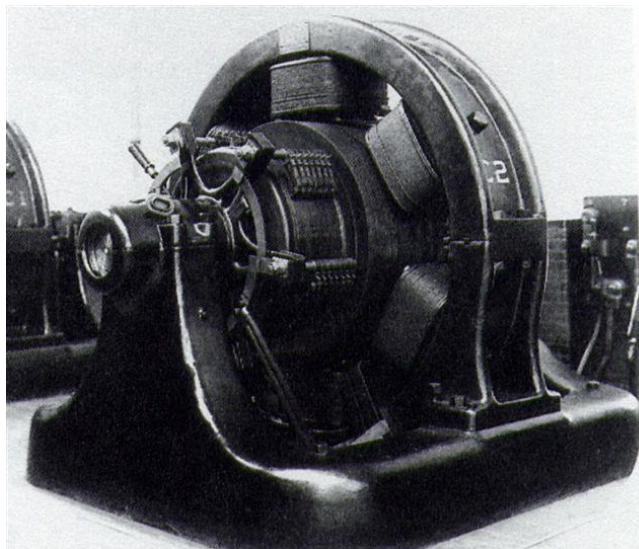
1.2 Podle způsobu přeměny magnetického toku

- Točivé – motory, generátory (stejnoseměrné - dynamy, střídavé - alternátory), měniče
- Netočivé – transformátory

1.3 Podle výkonu

Platí pro točivé elektrické stroje

- Drobné – do 0,5 kW, patří zde i domácí spotřebiče
- Malé – od 0,5 do 15 kW
- Střední – od 15 do 100 kW
- Velké – výkony nad 100 kW [1]



Obrázek 1 *Historický elektrický generátor* [2]

2 STEJNOSMĚRNÉ STROJE

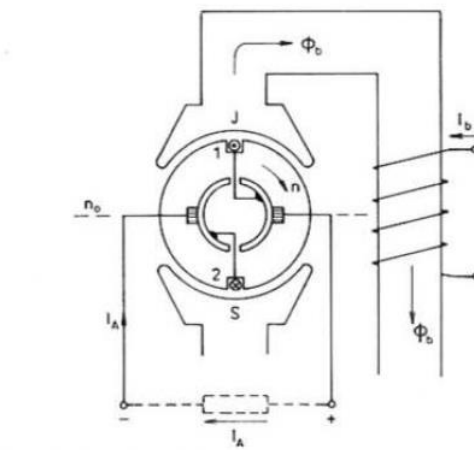
Jedná se o nejstarší druh točivých elektrických strojů. Jejich význam v minulosti klesl vzhledem na výhody střídavého proudu a použití střídavých motorů.

Od synchronních strojů se odlišují v podstatě tím, že mezi vinutím kotvy a sítí je zapojen komutátor. Nejobvyklejší konstrukční koncepce se vyznačuje magnetickými póly na statoru, zatímco kotvu tvoří rotor. Hlavními částmi statoru jsou hlavní a pomocné póly a prstenkové jho. Jho spojuje póly mechanicky i magneticky, bývá odlito z ocelolitiny nebo svařeno z válcované oceli. Póly jsou tvořeny jádrem pólu a pólovým nástavcem, zpravidla jsou složeny z vylisovaných plechů. Pomocné póly jsou buď plné, z válcované oceli nebo jsou složeny z plechů. Z důvodu průchodu střídavého magnetického toku rotorem, je složen s výlisků dynamového plechu. Po obvodu je rotor drážkován pro uložení cívek rotorového vinutí. Stejnosemřné stroje se používají jako generátory i jako motory. Generátory a motory jsou často odlišné konstrukce. Tyto konstrukční rozdíly vyplývají z rozdílných požadavků na jejich speciální použití.

V současnosti jejich praktické využití opět stoupá a to zejména z důvodu dobré regulovatelnosti otáček pomocí polovodičové techniky, kdy se jednoduše přemění střídavý proud na stejnosměrný. V současnosti mají největší uplatnění pro pohon válcovacích stolic, těžebních strojů, elektrických lokomotiv, trolejbusů. [3], [4]

2.1 Stejnosemřné generátory (dynama)

Princip práce dynama je založen na elektromagnetické indukci. Budící proud statorového vinutí vyvolá ve statoru magnetický tok. Ve vinutí rotoru se při jeho otáčení v magnetickém poli indukuje střídavé napětí, které se přeměňuje pomocí komutátoru, upevněném na hřídeli na stejnosměrné. Stejnosemřné napětí se z komutátoru odvádí pomocí kartáčů na svorkovnici stroje, kde je odebrán elektrický proud. [5]



Obrázek 2. Princip dynama s komutátorem [3]

2.1.1 Těleso kostry

Má tvar obvykle válcový, vyrábí se z ocelí na odlitky, popřípadě válcovaného materiálu 11 373.1. Ke kostře statoru, která tvoří součást magnetického obvodu, jsou pomocí šroubů připevněny hlavní a pomocné (komutační) póly s vinutím.

2.1.2 Rotor

Rotorový svazek se z důvodu menších ztrát vyrábí z elektrotechnických izolovaných plechů o tloušťce okolo 0,5 mm. Má tvar válce. U menších strojů jsou plechy rozloženy přímo na hřídeli, u větších strojů na rotorové hvězdici, tvořené soustavou žebér přivařených k hřídeli. Plechy jsou staženy mezi dvěma stahovacími kruhy. Hřídel je ocelový, odstupňovaný podle požadavků uložení svazku, komutátoru, ložisek a ventilátoru.

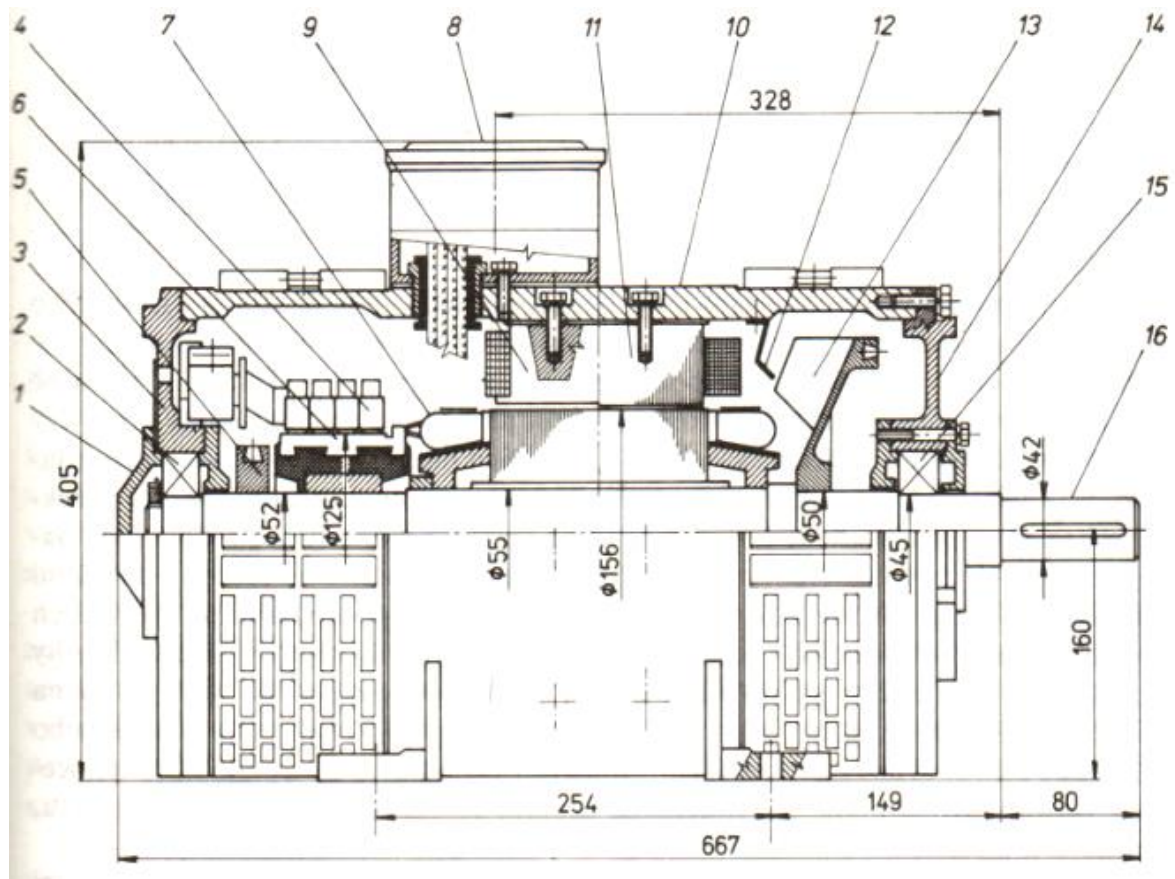
2.1.3 Stator

Bývá vyroben z jednoho kusu magneticky měkké oceli nebo poskládan z plechů o tloušťce 0,5 – 2 mm. Používá se materiál 11 330.21, jak na hlavní, tak i vedlejší póly. Ke statoru bývá upevněn mimo hlavní a vedlejší póly také sběrací ústrojí. Na jádrech hlavních pólů jsou osazeny cívky budícího vinutí, napájeny stejnosměrným proudem. Polarita se po obvodu statoru střídá severní s jižní a opět znovu. [6]

2.1.4 Komutátor

Je zařízení, sloužící k přepojení vodiče jednoho kartáče na druhý. Plní funkci usměrňovače, jelikož střídavé napětí indukované ve vinutí rotoru mění ve stejnosměrné. Skládá se z několika vzájemně izolovaných měděných lamel. Ke každé lamele vedou vodiče od dvou

různých cívek a vinutí rotoru je přes komutátor propojeno. Obecně platí, že čím větším množstvím lamel komutátor disponuje, tím je výstupní stejnosměrné napětí stabilnější. Převod proudu mezi vnějším obvodem a vinutím rotoru zabezpečuje sběrací ústrojí. N lamely komutátoru dosedají uhlíkové kartáče upevněny v držácích, které umožňují nastavení správné polohy. Počet kartáčů je takový, kolik je počet hlavních pólů generátoru. [5], [6]



Obrázek 3. Schéma stejnosměrného stroje [6]

1-víčko ložiska; 2-uzel předního ložiska; 3-přední ložiskový štít; 4-uzel sběracího ústrojí; 5-vyvažovací kroužek; 6-komutátor; 7-vinutí kotvy; 8-kryt svorkovnice; 9-pomocný pól s vinutím; 10-kostra statoru; 11-hlavní pól s vinutím; 12-difuzor; 13-ventilátor; 14-štít ložiska zadní; 15-uzel zadního ložiska ; 16-hřídel [3]

2.1.5 Ventilace

Je nasazena na hřídeli, obvykle na straně opačné, než je komutátor, tedy na straně spojky. Chladicí vzduch je nasáván přes žaluzie, umístěné na ochranném krytu na straně komutáto-

ru a po průchodu strojem je odfukován otvory v ochranném krytu na straně pohonu (volného konce hřídele). Z důvodu dobrého rozdělení vzduchu uvnitř stroje bývá vevnitř difuzor.

2.1.6 Ložiskové štíty

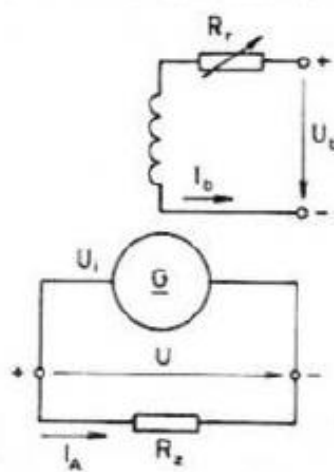
Jsou zde umístěna ložiska. Ty bývají kuličková nebo válečková, zakrytovaná.

2.2 Druhy stejnosměrných generátorů (dynam)

Rozlišujeme tyto druhy dynam.

2.2.1 Dynamo s cizím buzením

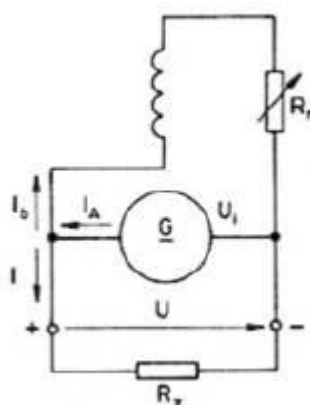
Umožňuje plynulé řízení napětí téměř od nuly až po napětí jmenovité. Jeho výhodou je malý pokles napětí při zatížení. Nevýhodou, jak z názvu vyplývá, je nutnost použít pro napájení hlavních pólů budiče samostatného zdroje. Buzení dynamu nezávisí na svorkovém napětí. Dynamo se používá hlavně v regulačních obvodech. [3], [5]



Obrázek 4 Schéma dynamu s cizím buzením [3]

2.2.2 Dynamo s derivačním (paralelním) buzením

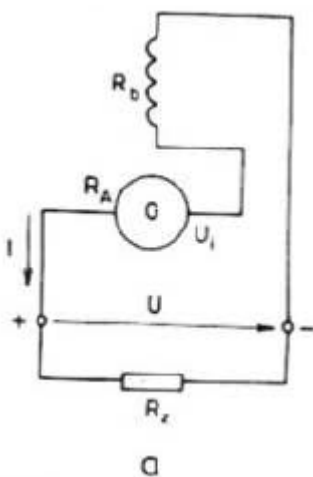
Nepotřebuje zdroj pro napájení buzení. Aby se dynamo při uvedení do chodu nabudilo samo, zajišťuje remanentní magnetismus magnetického obvodu. V otáčející se kotvě se vybudí malé napětí, které protlačí budícím vinutím malý proud. V případě správného zapojení se tímto proudem remanentní magnetický tok zvětší, což zapříčiní indukovaného napětí a tím také další zvětšení budícího proudu tak, že se za poměrně krátkou dobu dynamo nabudí na příslušné napětí.



Obrázek 5 Schéma dynama s derivačním buzením [3]

2.2.3 Dynamo se sériovým buzením

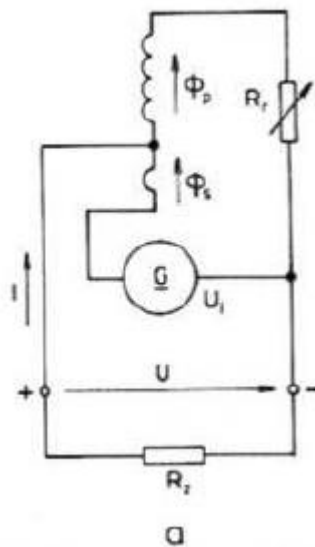
Budící vinutí hlavních pólů je zapojeno s kotvou sériově. Proud kotvy prochází budícím vinutím. Sériové buzení má malý počet závitů velkého průřezu a je úměrné zatížení stroje.



Obrázek 6 Schéma sériového dynama [3]

2.2.4 Dynamo se smíšeným (kompaundním) buzením

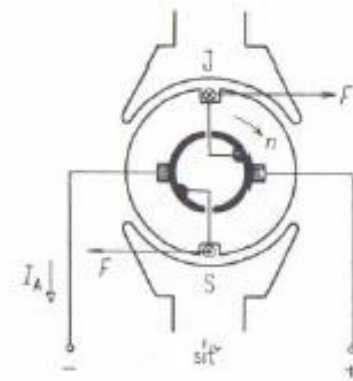
Vinutí kompaundního dynama je sdružené, obsahuje tedy jak derivační, tak sériové vinutí a to tak, že se jejich magnetické toky sčítají. V obvodu derivačního vinutí je zapojen derivační regulátor pro řízení napětí. [5]



Obrázek 7 Schéma kompaundního dynama [3]

2.3 Stejnoseměrné motory

Jak již bylo řečeno v úvodu, stejnosměrné stroje (motory, dynama) se sobě velmi konstrukčně podobají. Platí tedy, že motor může pracovat jako dynamo a naopak. Způsob činnosti stejnosměrného motoru jednoduše vystihuje obrázek níže.



Obrázek 8 Princip práce stejnosměrného motoru [3]

Po připojení závitu přes komutátor na zdroj jím začne proud v daném směru. Vodiče se nachází v magnetickém poli a působí na ně síla, která způsobuje moment a roztáčí rotor značeným směrem.

Komutátor v tomto případě způsobuje změnu stejnosměrného proudu na proud střídavý, zastává tedy funkci měniče. Stejnosměrný proud procházející kotvou by jí sice pootočil, ale zastavila by se v neutrální poloze. Z tohoto důvodu je nutné změnit směr proudu ve vodiči při přecházení z jednoho pólu na druhý. Platí také, že čím větší počet cívek má kotva stejnosměrného motoru, tím je průběh točivého momentu plynulejší. [3]

Stejně jako dynamo se i stejnosměrné motory rozdělují.

2.3.1 Motor s cizím buzením

Nejširší využití tohoto motoru je v obvodech automatického řízení, jelikož umožňuje řízení otáček v širokém rozpětí. Zapojení motoru se shoduje se zapojením dynamo, pouze v obvodu kotvy je zapojený tzv. spouštěč. [5]

2.3.2 Motor s paralelním buzením

Chová se téměř jako motor s cizím buzením, jelikož není rozhodující z jakého zdroje je budící vinutí napájeno. Pouze proud dodávaný ze sítě musí být konstantní, což v případě napájení ze sítě je splněno. Tyto typy motorů se používají tam, kde není třeba změna otáček ve velkém rozpětí, maximálně 1:3. [5]

2.3.3 Motor se sériovým buzením

Tyto motory se používají nejčastěji v elektrické trakci pro pohony jeřábů, lokomotivy nebo jako univerzální motory pro pohon elektrického nářadí.

2.3.4 Motor s kompaundním buzením

Motor má jak paralelní, tak i sériové buzení. [3]

3 SYNCHRONNÍ STROJE

Jsou značně méně rozšířeny, než stroje asynchronní. Synchronní motory jsou konstrukčně složitější a na výrobu nákladnější, než stroje asynchronní. Vykazují se také mimoto horšími rozběhovými vlastnostmi. Používají se k pohonu kompresorů, dmychadel apod. Mohou se používat jako motory a zároveň i generátory jalové energie, což je v tomto ohledu staví do značné výhody, oproti strojům asynchronním, které jsou spotřebiči jalové energie. [6]

Synchronní stroj lze také zjednodušeně definovat jako střídavý elektrický stroj, při kterém je indukované napětí přímo úměrné počtu otáček. Podle jejich účelu rozdělujeme na alternátory, motory a kompenzátory. [5]

3.1 Funkce synchronních strojů

Hlavní funkční části všech druhů synchronních strojů jsou shodné. Jednotlivé druhy se od sebe odlišují především parametry, které zohledňují jeho použití. Výkony synchronních strojů sahají od motorků s výkony tisíců Wattů pro pohon hodin, spínacích zařízení, až po mohutné motory s výkony v milionech wattů pro pohon čerpadel tepelných elektráren. Synchronní stroj může dále sloužit jako měnič střídavého proudu na stejnosměrný a naopak, tomuto zařízení se říká synchronní konvertor. [3]

Synchronní stroje jsou nejpoužívanějšími stroji při výrobě elektrické energie. Prudký rozvoj polovodičové a řídicí techniky se začínají používat i synchronní motory, zejména pak synchronní motory s permanentními magnety. [7]

3.2 Členění synchronních strojů

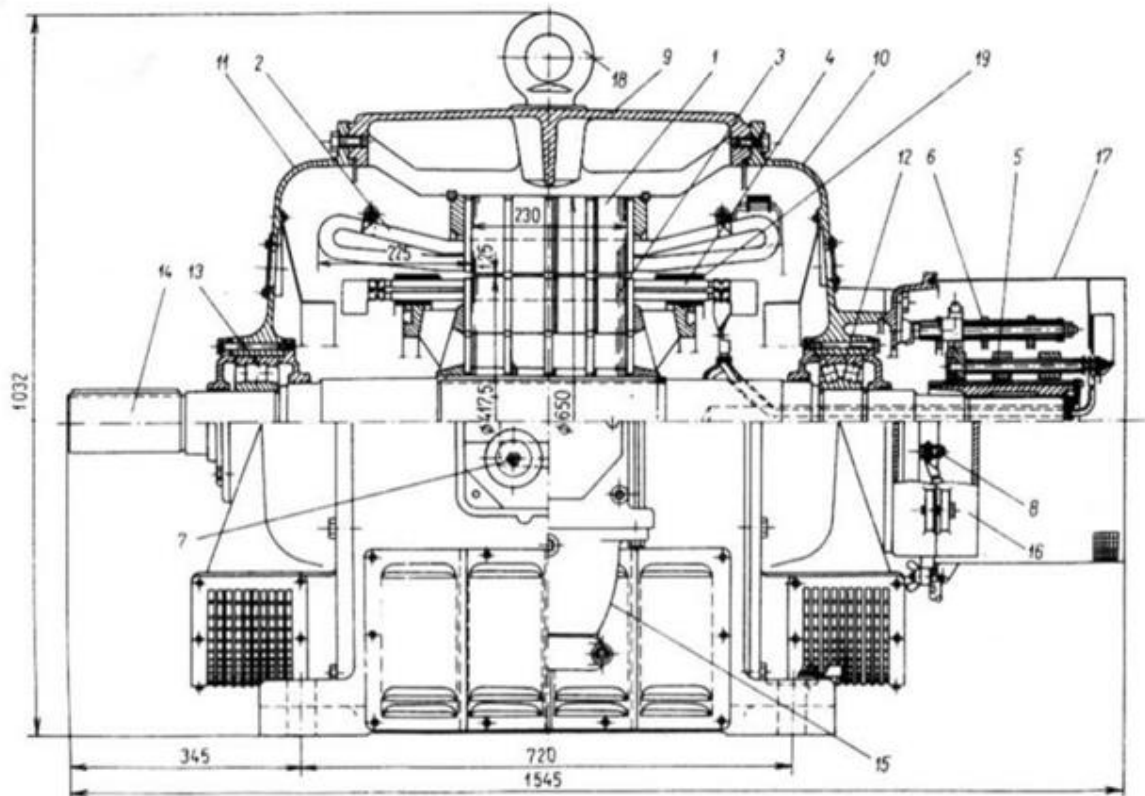
3.2.1 Alternátory (generátory)

Stroje určené pro výrobu střídavého proudu. Podle druhu turbíny se člení:

- a) **Turboalternátory** – jsou poháněny parní, či plynovou turbínou
- b) **Hydroalternátory** – jsou poháněny vodní turbínou

3.2.2 Synchronní motory

Přeměňují elektrickou energii v energii mechanickou při synchronních otáčkách, které jsou určeny frekvencí napájecího napětí. Použití nachází například pro pohony kompresorů, kulových mlýnů, vodních čerpadel, lodních šroubů atp. [5]



Obrázek 9 Třífázový alternátor s vlastním buzením.

1-statorový svazek; 2-Statorové vinutí; 3-Rotorový svazek; 4-Rotorové vinutí; 5-pólový nástavec; 6-Vinutí rotoru budící cívka; 8-sběrací ústrojí; 9,10-stator; 11-12-ložiskové štíty; 13-ložiska; 14-hřídel; 15-ventilátor; 16-svorkovnice; 17-budič; 18-závěsné oko [3]

3.3 Konstrukce synchronních strojů

Z konstrukčního hlediska je také nutno poznamenat, že v konstrukci není rozdíl mezi motorem a alternátorem. Každý z nich může být použit jako motor i generátor, tohoto se využívá například v přečerpávacích elektrárnách. [5]

3.3.1 Stator

Synchronní stroj je buzen stejnosměrným proudem. Konstrukce kotvy je stejná, jako u stroje asynchronního. Stator je složen z plechů tvaru mezikruží, které mají po vnitřním obvodu drážky. Do nich je vloženo vícefázové, obvykle třífázové, vinutí. Konce vinutí jsou vyvedeny na svorkovnici. [7]

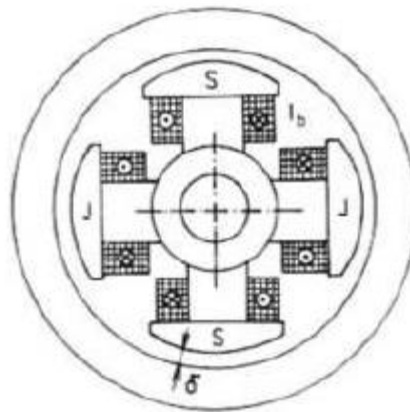
3.3.2 Stroje podle konstrukce rotoru

Z hlediska konstrukce rotoru rozlišujeme stroje.

a) S vyniklými póly

Na rotorovém hřídeli je nasazeno magnetové kolo s příslušným počtem pólů (4 a více). K omezení ztrát, způsobených pulzováním magnetického toku, se používají nejčastěji póly složené z plechů. K magnetovému kolu se připevňují nejčastěji šrouby nebo rybinovou drážkou. [5]

Stroje s vyniklými póly jsou stroje zpravidla pomaloběžné. Mají velký průměr a malou osovou délku. Ve funkci alternátoru se pohání většinou vodními turbínami, a proto se nazývají hydroalternátory. Často jsou konstruovány jako stroje vertikální. Mají hřídel přímo spojen s oběžným kolem turbíny. [3]

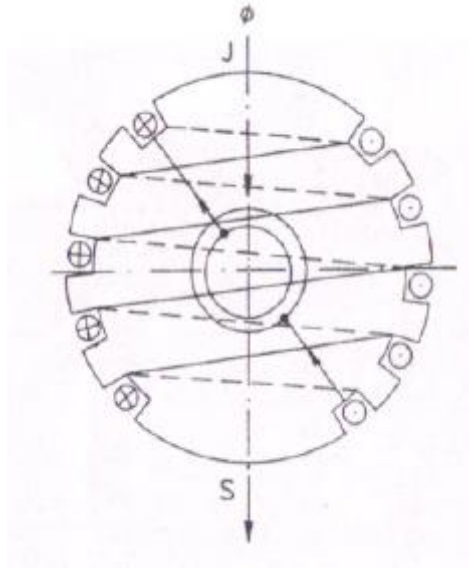


Obrázek 10 Rotor s vyniklými póly. [5]

b) S hladkým rotorem

Rotor se skládá z plného, ocelového hladkého válce, který je vykován z legované chrom-niklové oceli. Jsou konstruovány jako rychloběžné. Dvoupólové jsou pro otáčky $n = 3\,000 \text{ min}^{-1}$ a čtyřpólové pro $1\,500 \text{ min}^{-1}$. Ve funkci alternátoru jsou poháněny parními turbínami a nazývají se turboalternátory. Jejich konstrukce se vyznačuje menším průměrem a značnou osovou délkou. Na dvou třetinách obvodu jsou vyfrézovány drážky, v nichž je uloženo budící vinutí zhotovené z plochého měděného nebo hliníkového pásu. Vzhledem k velkým odstředivým silám jsou čela

vinutí stažena dvěma magnetickými obručkami. Přívod budícího proudu je přes dva kroužky nasazené na hřídel, na něž dosedají sběrací kartáče.



Obrázek 11 *Hladký rotor se dvěma póly.* [5]

3.3.3 Budič

Při práci synchronních strojů je za potřeby budiče. Většinou se jedná o dynamo, které je připevněno na hřídeli stroje, čímž je zabezpečen spolehlivý provoz a pohon. V současné době se namísto budičů používá spíše polovodičového usměrňovače. [3]

3.4 Výhody a nevýhody synchronních strojů

Výhody:

- Mají konstantní otáčky nezávislé na zatížení
- Mohou do sítě dodávat jalový proud
- Nereagují citlivě na změny napětí
- Jejich účinnost je větší, než stroje asynchronní

Nevýhody:

- Problematičtější spouštění
 - Pro rozběh je nutné další zařízení – budič
- Oobtížné řízení otáček [3]

4 ASYNCHRONNÍ STROJE

Asynchronní (Indukční) stroje patří mezi nepoužívanější elektrické stroje. Na vrchol žebříčku jich vynesly nesporně zajímavé vlastnosti. Vysoký hmotný výkon, nenáročná údržba, mohutnost a také jednoduchá konstrukce. Jako každý elektrický stroj může i stroj asynchronní měnit elektrickou energii na energii mechanickou a naopak, nejvíce se však používají jako asynchronní motory. Jako alternátory se uplatňují pouze výjimečně. V automatizovaných systémech se asynchronní stroje používají jako měniče.

Výkony těchto strojů se pohybují od zlomků Wattů do tisíců kilo Wattů. [7]

4.1 Činnost asynchronního stroje

Magnetický obvod indukčního stroje je malou mezerou rozdělen na dvě části: stator a rotor. Obě části jsou opatřeny vinutím, kdy jedno vinutí (obvykle statorové) je připojeno na zdroj střídavého proudu a druhé (rotorové) je zapojeno nakrátko a proud v něm vzniká elektromagnetickou indukcí. Rotor indukčního motoru nikdy nedosáhne otáček točivého magnetického pole, neboť by se při těchto otáčkách neindukovalo napětí, rotorem by neprocházel proud a nevznikla by tažná síla. [5]

4.2 Konstrukce asynchronního stroje

Magnetický obvod asynchronního stroje obvyklé konstrukce nemá vyniklé póly, vzduchová mezera je rovnoměrná, její velikost závisí na výkonu stroje. Pohybuje se od zlomků mm do několika mm. Vinutí bývá trojfázové (nejčastěji), někdy jednofázové. [8]

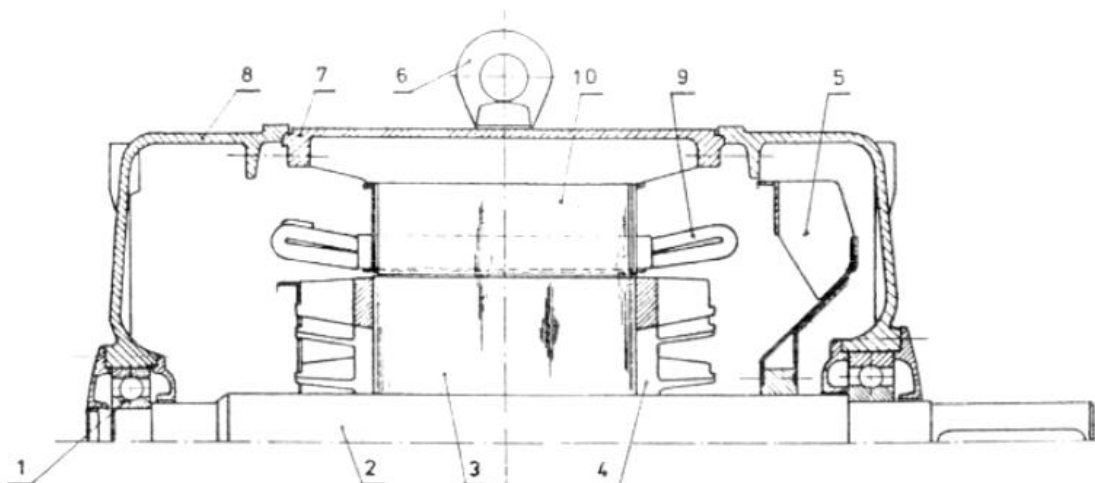
Stator je složený z vrstvených plechů ve tvaru mezikruží, drážkovaných z vnitřní strany. V drážkách je uloženo vinutí (obvykle trojfázové). [7]

Rotorová trojfázová vinutí jsou u malých strojů obvykle jednovrstvá vysypávaná uložená do lichoběžníkových nebo oválných drážek. Ve strojích velkých výkonů se používají dvouvrstvá tyčová vinutí. Nejrozšířenější jsou však klecová vinutí. Klece jsou buď jednoduché nebo dvojité s tyčemi různých průřezů z mědi, slitin mědi či hliníku. V klecových vinutích představuje každá tyč jednu fázi, jsou to tedy mnohofázová vinutí. [8]

4.3 Rozdělení asynchronních motorů

U asynchronních motorů rozlišujeme dva druhy podle konstrukčního řešení: nakrátko a motor kroužkový. Oběma druhům je společné, že mají nepatrně proměnlivou otáčivou rychlost, která se od synchronní otáčivé rychlosti liší pouze o několik procent. Tato odchylka se nazývá skluz a mění se zatížením, skluz bývá (3 - 5 %) jmenovitých otáček. S rostoucím zatížením se zvětšuje skluz, až se dosáhne tzv. momentu zvratu, při jehož překročení se potom motor rychle zastaví. Popsané chování platí pro oba typy motorů při chodu. Při rozběhu se však jejich chování značně liší. [4]

4.3.1 Konstrukce motoru nakrátko



Obrázek 12 Motor nakrátko [5]

1-ložisko; 2-hřídel; 3-rotorová klec; 5-ventilátor; 6-závěsné oko; 7-kostra; 8-ložiskový štít;
9-vinutí statoru; 10-stator

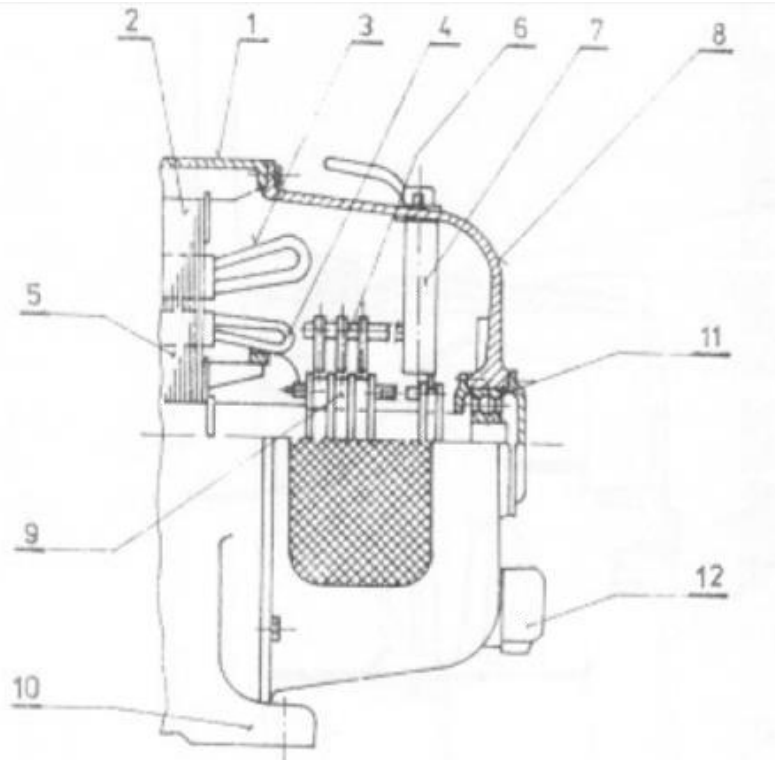
Hlavní části tvoří kostra, stator, statorové vinutí, ložiskové štíty, ložiska rotor s klecí nakrátko, ventilátor, hřídel a statorová svorkovnice.

V litinové kostře je nalisován statorový svazek z elektrotechnických plechů válcovaných za studena o tloušťce 0,5 mm, který tvoří mezikruží. V drážkách na vnitřním obvodu je vinutí. Konce vinutí jsou vyvedeny na svorkovnici. Rotor je podobně jako stator složen z elektrotechnických plechů s drážkami na vnějším obvodu, v nichž je pod tlakem odlita hliníková klec současně se spojovacími kruhy nakrátko a s lopatkami ventilátoru. U větších motorů jsou v drážkách uloženy tyče, které jsou na obvodu spojeny kruhy nakrátko. Roto-

rový svazek je nalisován na hřídel, u velkých motorů se používá klasického nosného prvku – rotorové nosné hvězdice. Na hřídel je připojen ventilátor. Hřídel se otáčí v ložiskách, které jsou upevněny v ložiskových štítech, jimiž je kostra rotoru uzavřena. Ložiskové štíty se vyrábí z šedé litiny, která má patřičné tlumicí vlastnosti a antivibrační vlastnosti. Tvar kostry a štítů musí být řešen tak, aby kolem vinutí a magnetického obvodu proudilo dostatečné množství vzduchu a stačilo motor chladit. Strana štítu, kde vyčnívá hřídel pro uchycení řemenice, či spojky se nazývá zadní, opačný konec se nazývá přední. Na základnu se motor připevňuje ke konstrukci patkami. [5]

4.3.2 Konstrukce kroužkového motoru

Velké motory, zejména pak ty, jejichž otáčky je nutno řídit rezistorem zapojeno do obvodu rotoru, mají místo klece umístěno v drážkách trojfázové vinutí. Toto vinutí je většinou trvale spojeno do hvězdy a jeho zbývající tři konce jsou vyvedeny na tři vodivé sběrací kroužky, které jsou izolovaně upevněny na hřídeli. Na kroužky dosedají uhlíkové kartáče, které jsou usazeny v drážkách. Kartáče jsou vodivé, připojeny na tři svorky rotorové svorkovnice, která je umístěna na předním ložiskovém štítu. K těmto svorkám je připojen reostat pro řízení nebo spouštění motoru. Motory mají spojovač nakrátko, který po rozběhu spojuje kroužky nakrátko a z obvodu je tak vyřazen přechodový odpor kartáčů a odpor přívodu ke spouštěči. Odklápěcím kartáčem lze zvednout kartáče nad kroužky, aby se neopotřebovávaly. Ztráty se tak za provozu zmenší. [5]



Obrázek 13 *Třířákový kroužkový motor* [5]

1-kostra; 2-stator; 3-vinutí statoru; 4-vinutí rotoru; 5-rotor; 6-kartáče; 7-odklápěč kartáčů; 8-ložiskový štít; 9-kroužky; 10-patka; 11-ložisko; 12-svorkovnice

Stator je řešen stejným způsobem jako u motoru nakrátko. [5]

5 SPOLEHLIVOST ELEKTRICKÝCH STROJŮ

Zvýšení spolehlivosti elektrických strojů je velmi důležitý úkol elektrotechnického průmyslu. Prodloužení životnosti a zvýšení spolehlivosti strojů často dávají poměrně větší ekonomický efekt, než zlepšení účinku a účinnosti.

Podle ČSN 01 0102 Názvosloví spolehlivosti v technice je *spolehlivost* definována jako vlastnost objektu, zahrnutá do jeho schopnosti plnit úkol v daných provozních podmínkách. [6]

Provozní spolehlivost elektrických strojů záleží hlavně na jakosti použitých izolačních materiálů jak vodičů, tak i mechanických dílů, která musí vydržet určité teploty a mechanická namáhání, musí odolávat vlhkosti, prachu, chemickým vlivům, otřesům, různé tepelné roztažnosti částí strojů a mít přiměřeně dlouhý život. Norma ČSN 34 0270 i IEC normy rozdělují izolační materiály do 7 tříd:

třída Y (do 90 °C) - neimpregnované látky - bavlna, hedvábí, papír, PVC, polyamidové vlákniny apod.

třída A (do 105 °C) - impregnované látky jako je bavlna, hedvábí, papír, folie z acetátu celulózy, vulkán, fibr

třída E (do 120 °C) - tvrzené bavlněné tkaniny, tvrzený papír, polyvinylformalové emailované dráty

třída B (do 130 °C) - slída, skleněné vlákniny, azbest, výlisky s minerálním pojivem

třída F (do 155 °C) - slída, skleněné vlákniny, azbest, upravené např. epoxidovými pryskyřicemi.

třída H (do 200 °C) - silikonové elastomery s pojivy jako silikonová pryskyřice.

třída C (nad 200 °C) - slída, porcelán, sklo a křemen ve spojení s anorganickými pojivy.

[1]

6 BANDÁŽE ROTORŮ ELEKTRICKÝCH STROJŮ

Cívky a čela cívek rotorových vinutí je nutné mechanicky zajistit proti účinkům odstředivých sil. Mechanickým zajištěním je nutné vyloučit nežádoucí posuvy všech částí rotorového vinutí. Následkem i zcela nepatrných posuvů v kombinaci s otáčkami a velkými odstředivými silami je nevyváženost, která se projeví zhoršením mechanického chodu stroje. Dokonce může dojít i k rozkmitání a následné destrukci stroje.

Toto zajištění se nazývá bandáž. Dříve se pro tyto účely používalo bandáží z ocelových drátů.

Odstředivá síla čel rotorových cívek se přenáší na bandáže, vinuté z drátu (dříve) nebo dnes používaných izolačních pásek, vyrobených ze skelných vláken, spojených impregnací reaktoplastickou pryskyřicí v jeden celek. Jedná se tedy o druh kompozitního konstrukčního materiálu.

Kompozitní bandáže ze skelných vláken skýtají oproti bandážím drátovým řadu výhod. Nevznikají v nich přídavné ztráty, při jejich použití odpadá izolace mezi vinutím a bandáží, rovněž náklady na materiál jsou menší a provedení bandáže je jednodušší. Hustota impregnovaných skelných vláken je menší, a tím se zmenší neužitečné zatížení odstředivou silou, způsobenou vlastní hmotností použitého bandážovacího materiálu. Nedostatkem při používání vláken vyztužených pryskyřicí je bezesporu nižší pevnost oproti ocelovému drátu, a také větší deformace, způsobené relativně malým modulem pružnosti. [6]

Stanovení pevnostních charakteristik bandáží při chodu stroje a působení odstředivých sil je nutné počítat pro nejvyšší otáčky n_{max} . Při výpočtu kompozitní bandáže ze skelných vláken je nutné volit dovolené napětí, závislé také na provozní teplotě, podle technických údajů dodávaných výrobcem pásek. Obvykle se používá pásek o tloušťkách 0,18 – 0,3 mm, vyráběná v šířkách 10, 15, 20 až 30 mm.

Jako příklad výpočtu při použití pásek vyztužených skelnými vlákny, lze vycházet z údajů v odborné literatuře od I. P. Kopylova. [6]

Dovolené napětí pro třídu izolace F: $\sigma_D = 130 \cdot 10^6$ Pa.

Ve volně rotující, nezátížené bandáži ze skelné pásky, o průměru D_2 [m] vznikne při otáčkách n_{max} [min^{-1}] normálové napětí.

$$\sigma_o = 0,51 D_2^2 \left(\frac{n_{max}}{1000} \right)^2 10^7 [Pa] \quad (1)$$

Počet závitů bandáže při průřezu pásky S_{pb} [m²] se určí vztahem

D_2 ... průměr rotoru	[m]
h_d ... hloubka drážky	[m]
σ_D ...dovolené napětí	[MPa]

$$N_{ba} = 0,9 \frac{m(D_2 - h_d)}{S_{pb}(\sigma_D - \sigma_0)} \left(\frac{n_{max}}{1000} \right)^2 \cdot 10^3 \quad (2)$$

Za m [kg] se dosazuje hmotnost určená z výpočtu pro stanovení přibližné hmotnosti čel vinutí m_{ζ} [kg] vztahem

t_p ... pólová rozteč	[m]
Q_2 ... počet drážek rotoru	[-]
S_V ... průřez jednoho vodiče	[m ²]
V_d ... počet vodičů v drážce	[-]

$$m_{\zeta} \cong 1,2 \cdot 0,7 \cdot 8,9 \cdot 10^3 \cdot S_V V_d Q_2 t_p \text{ [kg]} \quad (3)$$

Nebo lze také použít přesnějšího výpočtu

Q_2 ... počet drážek rotoru	[-]
l ... délka rotorového svzku	[m]

$$m_{vi} = m'_{vi} \cdot Q_2 \cdot l \text{ [kg]} \quad (4)$$

Kde m'_{vi} je dosazeno ze vztahu

$$m'_{vi} = [8,9 S_V V_d + 2,5(b_d h_d - S_V V_d)] \cdot 10^3 \text{ [kg.m}^{-1}] \quad (5)$$

S_V ... průřez jednoho vodiče	[m ²]
V_d ... počet vodičů v drážce	[-]
h_d ... hloubka drážky	[m]
b_d ... šířka drážky	[m]

[5]

7 VLÁKNY VYZTUŽENÉ MATERIÁLY – KOMPOZITY

7.1 Obecná definice kompozitního materiálu

Kompozitními materiály rozumíme heterogenní materiály složené ze dvou nebo více fází, které se vzájemně výrazně liší svými mechanickými, fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Tyto materiály se vyrábějí mechanickým mísením jednotlivých složek. Tímto se odlišují např. od slitin, které jsou rovněž heterogenní. Dalším charakteristickým jevem je synergismus, kdy se jedná o to, že vlastnosti těchto kompozitních materiálů jsou lepší, než součet vlastností jednotlivých komponent. Existence synergismu je velice významná, neboť vede k získání materiálů zcela nových vlastností. [9]

Největšími přínosy použití kompozitů jsou:

- vlastnosti ve směru orientace vláken
- vysoká tuhost a pevnost
- chemická a tepelná odolnost, ohnivzdornost a malá teplotní roztažnost [10]

Tabulka 1 Srovnání vlastností různých druhů materiálů [10]

Pevnost [MPa]	Modul pružnosti [GPa]
<ul style="list-style-type: none"> • Vyztužené plasty 250-900 • Hliník 290 • Oceli 480-600 • Nerez 630-650 	<ul style="list-style-type: none"> • Vyztužené plasty 17-45 • Oceli 206 • Nerez 210 • Hliník 69-75
Tepelná vodivost [W/K.m]	Hustota [g/cm ³]
<ul style="list-style-type: none"> • Vyztužené plasty 0,0-0,7 • Ocel 52-63 • Nerez 33 • Hliník 84-170 	<ul style="list-style-type: none"> • Vyztužené plasty 1,6-2,0 • Ocel 7,85 • Nerez 7,70 • Hliník 2,7

7.2 Vlastnosti a složení vláknových kompozitů

Vyztužením se rozumí zvýšení pevnosti a tuhosti, které vznikne uložení výztuže do základního materiálu (matice), přičemž musí být splněny tyto podmínky:

- Vyztužující vlákna musí být pevnější, než pevnost matrice:

$$\sigma_{fP} > \sigma_{mP} \quad (6)$$

- Vyztužující materiál musí mít větší tuhost než matrice:

$$E_f > E_m \quad (7)$$

- Matrice se nesmí porušit dříve než vlákno:

$$\varepsilon_{mP} > \varepsilon_{fP} \quad (8)$$

σ_{fP} ... pevnost vlákna

σ_{mP} ... pevnost matrice

E_f ... modul pružnosti v tahu vlákna

E_m ... modul pružnosti v tahu matrice

ε_{mP} ... mezní prodloužení – tažnost - matrice

ε_{fP} ... mezní prodloužení – tažnost – vlákna [11]

Důsledkem velmi široké oblasti použití kompozitů v různých odvětvích, druhů používaných materiálů (matric a výztuží) a jejich členění je v této práci směřováno pouze na oblast používání těchto materiálů pro bandáže cívek rotorových vinutí elektrických strojů.

7.3 Matrice

Pod pojmem matrice rozumíme materiál, kterým je prosycen systém vláken a partikulárních komponent tak, že po zpracování vznikne tvarově stálý výrobek-kompozit.

Primárním úkolem matrice je:

- Zafixování geometrického tvaru
- Ochrana vláken
- Přenos sil
- Zajištění stálosti výrobku

V současnosti se používají matrice v největší míře reaktoplastické. Objevují se také termoplastické pryskyřice, které poskytují jisté výhody oproti termosetům. Pryskyřice se použí-

vají nejvíce nenasyčené polyestery (UP), vinylestery (VE), epoxidy (EP) a fenolické pryskyřice (PR) pro kompozity se značně potlačenou mírou hoření. Z celkové produkce vláknových kompozitů připadá asi 75% na nasycené polyestery, 20% na vinylestery a asi 5% na epoxidy, polyamidy a fenolické pryskyřice. [12]

Nenasycené polyesterové pryskyřice (UP-R)

Jednou jejich složkou je nenasyčená karbonová kyselina (zpravidla vícesytná) a alespoň jednou další komponentou je alkohol (zpravidla vícemocný). Pryskyřice se rozpouští v monomerním rozpouštědle (může být styren), přičemž je současně kopolymerizována.

- Nevýhodou je velké smrštění při zpracování (6-9%)
- Velká variabilita při zpracování, možnost volby obsahu jednotlivých složek-styrenu a katalyzátoru/urychlovače
- Odolává dobře povětrnostním podmínkám
- Levné, spolehlivé a mnohostranně použitelné licí pryskyřice
- Velké nároky na životní prostředí vlivem působení styrenu

7.4 Úloha vyztužení kompozitních materiálů

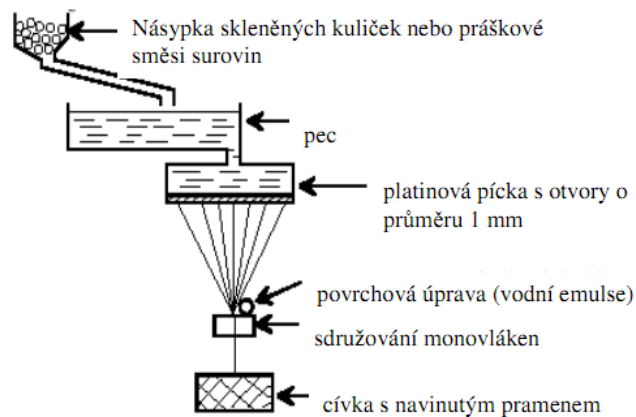
Výztuž kompozitního materiálu má za úkol zajistit mechanické vlastnosti materiálu, což je pevnost a tuhost. Důležité jsou pro praktické využití také elektrické vlastnosti.

Nejdostupnějším užívaným typem výztuže je skelné vlákno, dále uhlíkové vlákno a kevlarové vlákno. Skleněná vlákna dávají kompozitům patřičné mechanické vlastnosti s nízkými náklady na výrobu. Zajišťují elektrickou izolaci i elektromagnetickou transparentnost. Uhlíková vlákna dodávají vysokou tuhost za výrazně vyšší cenu, tato vlákna zajišťují elektrickou vodivost profilů. Kevlarová vlákna umožní, aby výrobek odolal rázům.

Skleněná vlákna

Skleněná vlákna mají silikátový základ (SiO_2). Vyrábějí se tažením taveniny směsi oxidů Si (s příměsí oxidů Al, Ca, Mg, Pb a B) s velice malým podílem oxidů alkalických kovů Na a K. Potřebného průměru jednotlivých vláken se docílí dloužením proudu skla tekoucího skrze trysky (průměry trysek 1 mm) ve zvláknovací hlavě. Konečný průměr vlákna je dán rozdílem mezi rychlostí vytékání tekutého skla a rychlostí odtahování „monovláken“.

Tyto monovlákná se po povrchové úpravě, která se nazývá sizing, shlukují do pramenců a jsou navíjena na cívku. Sdružením pramenců vzniká roving.



Obrázek 14 Schéma výroby skleněných vláken [13]

V kompozitech jsou používána vlákna ze skloviny E, S, C (kyselinám odolná vlákna), ACR (vlákna odolná alkáliím), L vlákna (se zvýšeným obsahem olova a křemenná vlákna).



Obrázek 15 Roving skelného vlákna [16]

- Textilní skelná vlákna (GF-Glass fiber) jsou tenká isotropní vlákna amorfní struktury, mají kruhový průřez o průměru 3,5 - 24 μm .
- Modul pružnosti v tahu E skla má přibližně třetinovou hodnotu modulu pružnosti ocelí, hodnotu modulu E u hliníku je na téměř shodné hodnotě
- Pevnost v tahu je mnohem vyšší, než pevnost v tahu oceli
- Odolávají dlouhodobému tepelnému namáhání okolo 250 $^{\circ}\text{C}$ bez výrazného poklesu mechanických vlastností

- Skelná vlákna jsou nehořlavá
- Součinitel teplotní délkové roztažnosti mají nižší, než většina konstrukčních materiálů.
- Vlákna jsou vynikajícími elektrickými izolanty.[11]

8 MECHANIKA KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ

Za největší výhodu vláknových kompozitů se považuje možnost měnit jejich elastické vlastnosti a pevnost změnou prostorového uspořádání výztuže, jejího druhu (rohož, tkanina atd.), poměru mezi obsahem výztuže a pojiva a také druhem technologie výroby. Za použití shodných komponent v základu (vlákno, pryskyřice) lze velmi efektivně vyrobit širokou škálu vlastnostmi se odlišujících materiálů. Tyto možnosti u běžně používaných materiálů např. ocel, dřevo, aluminium jsou zcela vyloučeny nebo velmi limitovány.

Charakter struktury:

Heterogenní – jde o materiál, který se skládá z více komponent nebo fází stejné komponenty. Běžně jsou jednotlivé komponenty kompozitních materiálů tvořeny chemicky odlišnými jednofázovými (homogenními) látkami. Komponenty mohou být také dvou i vícefázové.

Homogenní - označuje jednofázovou, jednokomponentní látku, jejíž fyzikální vlastnosti jsou ve všech místech tělesa stejné.

Další charakteristickou vlastností kompozitů, která je také odlišuje od většiny konstrukčních materiálů, je symetrie jejich fyzikálních vlastností.

Izotropní materiál – vlastnosti materiálu jsou ve všech směrech stejné

Ortotropní materiál – tři na sebe kolmé roviny symetrie materiálových vlastností

Anizotropní materiál – vlastnosti nevykazují žádných rovin symetrie

Kvaziizotropní materiál – jde o druh kompozitního materiálu, který v makroskopickém měřítku (v rámci celku) lze považovat jako izotropní v rovině vláknové výztuže, mikroskopicky je však takovýto materiál anizotropní.

8.1 Mikromechanika kompozitních materiálů

Zabývá se výpočty vlastností kompozitních vrstev (lamin) z daných vlastností jednotlivých komponent a z informací o geometrii, orientaci struktury, uspořádání, mezifázové adhezi a objemovému procentu výztuže. Mikromechanické výpočty jsou nejdůležitějším prvkem odhadování materiálových vlastností a umožňují spočítat limitní faktory při zlepšování

vlastností kompozitů. Srovnání vlastností provedených experimentálním zkoumáním s teoretickými limitami umožňuje smysluplně zjistit, zda daný kompozit dosáhl svého maxima užitných vlastností (blíží se horní limitě) nebo jeho potenciál nebyl zcela využit (je od horní limity patřičně vzdálen).

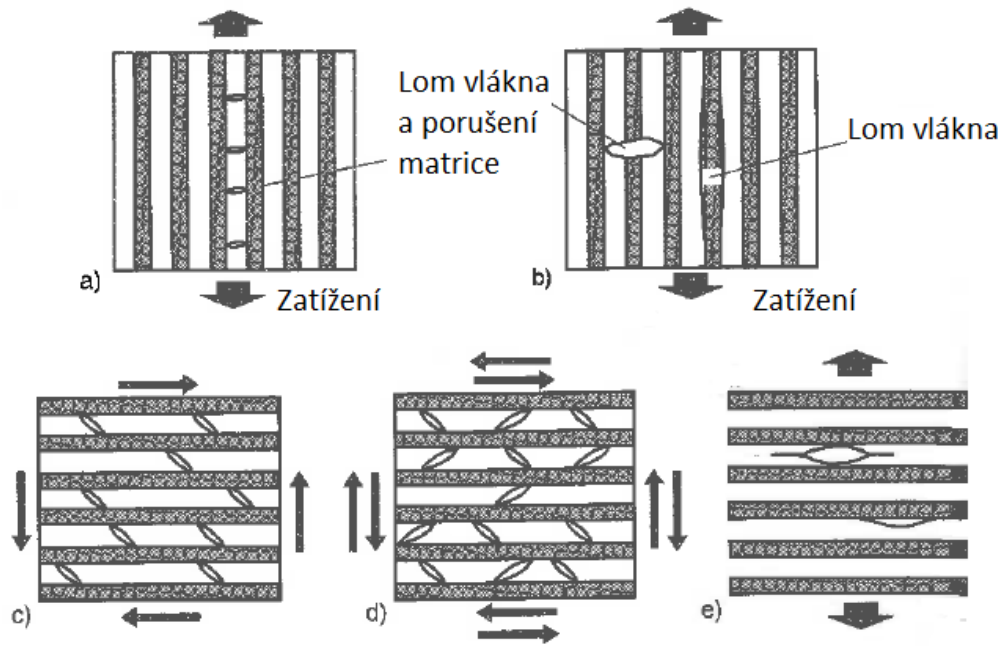
8.2 Makromechanika kompozitů

Umožňuje na základně podložených znalostí jednotlivých vrstev (lamin) vypočítat vlastnosti vrstveného kompozitu tzv. „laminátu“ z údajů o počtu, orientaci, tloušťce a uspořádání vrstev (lamin), při čemž je zanedbána mikrostruktura (heterogenita) kompozitu a jednotlivé vrstvy jsou považovány za homogenní a ortotropní. Makroskopické výpočty se tedy vztahují buď k tzv. „transformované lamině“ nebo ke konkrétnímu tvaru dílce či kompozitního profilu a převládajícímu způsobu jeho namáhání (laminát). Makromechanické výpočty umožňují dopředu eliminovat materiálové varianty nevhodné pro řešení konkrétního problému a navrhnout optimální počet vrstev a jejich orientaci vůči působícímu – zpravidla víceosému – namáhání. [12]

8.3 Mechanismy porušování

U laminátů namáhaných kombinovaným zatížením je riziko vzniku *mezivláknového poškození větší*, než při namáhání jednosměrné výztuže ve směru vláken. Vliv poškození závisí na druhu zatížení. Nepravidelnosti vláken, nedostatky v adhezním spojení, vzduchové bubliny, to vše se projevuje na koncentraci protažení a napětí. Vznik různých typů trhlin lze očekávat podle druhu zatížení. Nejvhodnější příklad porušení je interpretován na jednosměrně vyztuženém kompozitním materiálu.

Mechanismy poškození jednosměrně vyztužených laminátů jsou popsány na následujícím obrázku.



Obrázek 16 Trhliny v matrici v jednosměrně vyztužené struktuře kompozitu [11]

- Tahové zatížení podél vláken, vrubový násobný lom matrice při $\varepsilon_{mP} < \varepsilon_{fP}$
- Tahové zatížení podél vláken, lom vláken při $\varepsilon_{mP} > \varepsilon_{fP}$
- Mezivláknové trhliny pod úhlem 45° při namáhání smykem, zastavené u vláken nebo působící jako příčina mikroodtržení podél vláken
- Mezivláknové trhliny pod úhlem $\pm 45^\circ$ při střídavém smykovém napětí vedou k rychlejšímu rozvolnění
- Mezivláknové trhliny a následné odtržení vlákna od matrice v rozhraní při zatížení tahem ve směru kolmo na směr vláken [11]

8.4 Ortotropní vrstva

U vyztužených kompozitních materiálů se setkáváme s projevem značné nehomogenity a anizotropie. Tyto kritéria musí být zohledněna nejen při vyšetřování jejich vlastností, ale také při výrobě zkušebních těles. Pro svoji vysokou pevnost jsou vyztužené plasty vhodné zejména tenkostěnné konstrukce stavu tzv. rovinné napjatosti. Tato napjatost existuje například v desce, která je zatížena silami působícími v její rovině. V pravoúhlém souřadném systému s osami (o_x, o_y) je přetvoření popsáno *normálovými deformacemi* ($\varepsilon_x, \varepsilon_y$) a *zkosem* (γ_{xy}), které jsou vyvolány napětími ($\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$). Hookeův zákon vyjadřuje lineární závislost

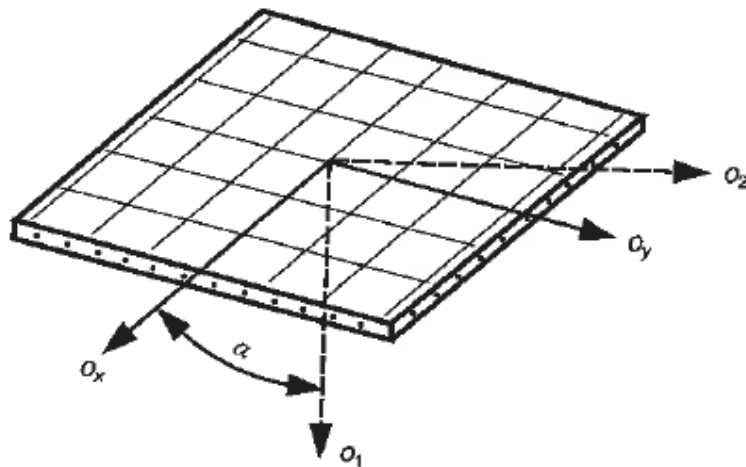
mezi složkami přetvoření a napětí. U kompozitů se jedná nejčastěji o *ortotropii* (*ortogonální anizotropii*).

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E_x} - \frac{\mu_{xy}}{E_y} \sigma_y \quad (9)$$

$$\varepsilon_y = \frac{\sigma_y}{E_y} - \frac{\mu_{yx}}{E_x} \sigma_x \quad (10)$$

$$\mu_{xy} = \frac{1}{G_{xy}} \tau_{xy} \quad (11)$$

Rovinná *ortotropní vrstva* je charakterizována čtyřmi charakteristikami. Třemi moduly pružnosti E_x , E_y , G_{xy} a Poissonovým číslem μ_{xy} (x znamená směr kontrakce vyvolané zatížením ve směru y). Pro obecný systém souřadnic o_1, o_2 je nutný větší počet elastických veličin, ty však lze stanovit pomocí zmíněných čtyř základních elastických charakteristik a úhlu α (viz obr. níže).



Obrázek 17 Znárodnění hlavních os (o_x, o_y) ortotropního materiálu [11]

Při neuspořádaném uložení vláken v polymerní matrici (při kterém nedochází k orientaci vláken v některém směru), což je případ laminátů vyztužených rohoží, jsou elastické charakteristiky při rovinné napjatosti směrově nezávislé. Tyto v rovině izotropní materiály jsou potom dostatečně charakterizovány dvěma elastickými veličinami, např. E a μ . [11]

8.5 Zkoušky mechanických vlastností

Základní rozlišení zkoušek mechanických vlastností materiálů je dlouhodobé a krátkodobé zkoušení. Další kritérium rozdělení je potom jednorázové a cyklické zkoušení. Z hlediska velmi různorodého složení jak chemického, tak morfologického nelze jednoznačně určit pro všechny materiály jednotné podmínky, při kterých se mají dané zkoušení uskutečňovat a příslušné normy upravují tyto podmínky jen obecně. Výběr podmínek pro konkrétní druh materiálu a zkoušku je zahrnut buď směrnici normy, nebo je problematika ponechána na kvalifikovaném specialistovi a jeho odborných znalostech a zkušenostech. Nejdůležitějším faktorem je uvážení, jakým způsobem bude daný výrobek při jeho používání namáhán.

Nejrozšířenější skupinu zkušebních postupů na testování mechanických vlastností jsou bezpodmínečně zkoušky, zkoumající vliv působení vnějších sil na deformaci daného tělesa. Mezi takovou zkoušku patří také zkouška tahem. [14]

8.5.1 Tahová zkouška

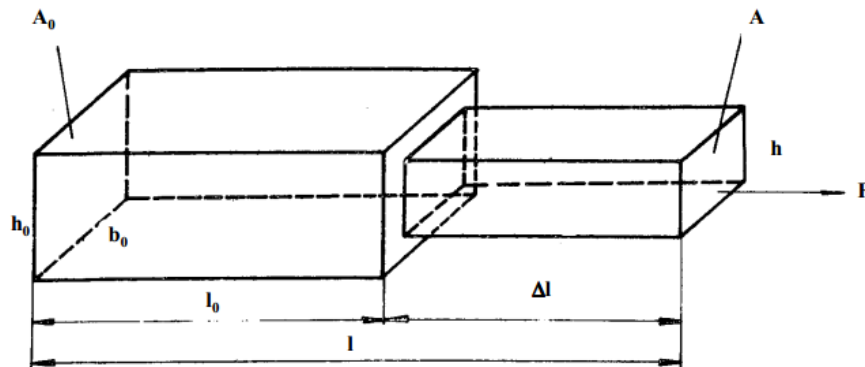
Princip zkoušky je takový, že na zkušební těleso působí síla až do jeho přetržení, přičemž se snímá síla a deformace v různých stádiích zkoušení. Základní parametry vyhodnocení jsou pevnost, prodloužení při přetržení a moduly.

Při tahové zkoušce se těleso upne do čelistí zkušebního trhacího stroje, postupně je konstantní rychlostí natahováno, přičemž roste deformace s růstem zatěžující síly, která je potřebná pro udržení konstantní rychlosti posunu čelistí. S rostoucí silou roste napětí a síla vztažená na jednotku průřezu zkušebního vzorku.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (12)$$

Graf závislosti napětí na velikosti deformace je nazýván tahová křivka a její tvar je závislý od typu namáhaného (zkoušeného) materiálu.

Při sestavování tahových křivek a výpočtech napětí v okamžiku dané deformace nastává problém, jelikož vlivem deformačních změn dojde také ke změně průřezu zkoušeného tělesa.



Obrázek 19 Změna geometrie průřezu při tahové zkoušce [14]

Legenda:

l_0 ...původní délka zkoušeného tělesa

b_0 ...původní šířka zkoušeného tělesa

h_0 ...původní výška zkoušeného tělesa

l, b, h ...veličiny po deformaci

Vlivem působení síly dojde k deformaci tělesa, přičemž se těleso prodlouží na délku l , výška se sníží na hodnotu h a šířka na hodnotu b . Důsledkem změny výšky a šířky vzorku se původní průřez vzorku $A_0 = b_0 \cdot h_0$ změní na průřez $A = b \cdot h$, přičemž se zvyšuje napětí oproti původnímu průřezu A_0 . Relativní změna délky zkoušeného tělesa se nazývá relativní prodloužení ε_l .

$$\varepsilon_l = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (13)$$

Relativní změna průřezu je vyjádřena obdobným způsobem, relativním zkrácením šířky ε_b a změnou výšky vzorku podle rovnic.

$$\varepsilon_b = \frac{\Delta b}{b_0} \quad (14)$$

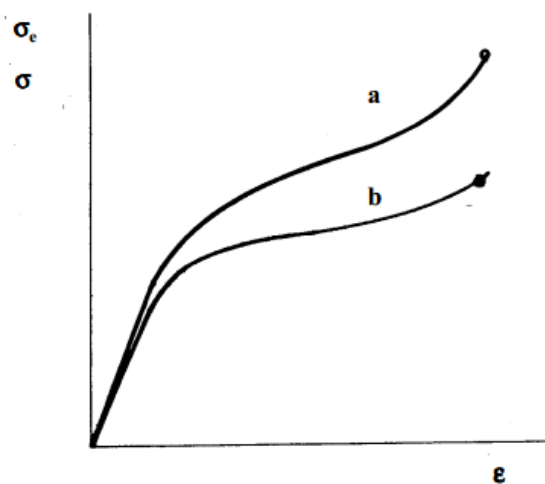
$$\varepsilon_h = \frac{\Delta h}{h_0} \quad (15)$$

Vztah mezi relativním prodloužením a relativním zkrácením se nazývá *Poissonův poměr* μ rovnice.

$$\mu = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_l} = \frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_l} \quad (16)$$

Z hlediska chování deformace vzorku při tahové zkoušce se nejčastěji vyhodnocuje relativní prodloužení v procentech původní délky pracovní části tělesa.

Při malých deformacích vzorku (malých hodnotách relativního prodloužení) je možné změny v průřezu vzorku zanedbat, avšak při vyšším stupni deformace dochází k odchylkám efektivního napětí (σ_e) od smluvního napětí σ . Smluvní napětí je definováno jako poměr působící síly na původní průřez vzorku před zkouškou (A_0) a efektivní napětí jako poměr působící síly na skutečný průřez vzorku odpovídajícímu danému stupni deformace. Rozdíl v tvaru tahové křivky vypočítané pro smluvní a skutečný průřez vzorku – obrázek 20.



Obrázek 20 Průběh tahových křivek: a-efektivní napětí; b-smluvní napětí [14]

Snímání okamžitého průřezu vzorku v průběhu měření je obtížné, přesto se tahové křivky sestavují a vyhodnocují pro smluvní napětí, tj. do úvahy se bere jenom původní průřez tělesa. Nejmodernější přístroje jsou schopny snímat kontinuální změny rozměrů průřezu tělesa. V souvislosti se stanovením Poissonova poměru je snímání změny průřezu vzorku zakotveno i v normách.

Nejčastěji stanovované napětí, které se z tahových křivek stanovuje je napětí při přetržení nazývaní se *pevnost v tahu* a relativní prodloužení při přetržení nazývané v běžné praxi jako *tažnost*. Počáteční část tahové křivky je možno pokládat za lineární nebo jí lineárně

aproximovat. Z této části lze vyhodnotit konstantu úměrnosti mezi napětím a deformací, která se nazývá Youngův modul pružnosti E , jenž je definován podle Hookeova zákona.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (17)$$

Z Hookeova zákona se dá odvodit jednotka modulu pružnosti, která je totožná s jednotkou napětí – MPa. Hodnota modulu pružnosti vyjadřuje tuhost materiálu. Čím je hodnota Youngova modulu vyšší, tím je materiál tužší, to znamená, že na malé změny v prodloužení je potřeba vyvinout vysoké napětí. Tyto stanovující kritéria jsou v případě kompozitních materiálů důležité v konstrukčních návrzích. [14], [15]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

9 CÍLE PRÁCE

Společnost TES Vsetín je již několik let mým pravidelným zaměstnavatelem v době studijního volna. Za čas strávený v této celosvětově známé společnosti, která se zabývá výrobou elektrických točivých strojů a komponentů, jsem nasbíral mnoho cenných zkušeností, seznámil se s mnoha lidmi, kteří mi podali pomocnou ruku a byli nakloněni mému nápadu napsat tuto diplomovou práci, spojenou s řešením problematiky týkající se výroby elektrických strojů. Po nabídce a následné konzultaci na téma Analýzy bandáží čel vinutí rotorových cívek s vedoucími pracovníky technických oddělení, jsem byl rozhodnut se tomuto tématu věnovat. Velkým přínosem je zkušenost seznámit se a moci konzultovat danou problematiku s odborníky přímo v praxi.

Cílem práce je analyzovat chování sklo-polymerní kompozitní bandáže namáhané specifickým tahovým napětím při práci elektrického stroje. Pro zajištění čel rotorových cívek je použito speciálních bandážovacích pásek, vyvinutých pro tyto účely. Práce tedy obsahuje tyto základní stanovení cílů.

1. Seznámení se společností TES Vsetín a jejím výrobním portfoliem.
2. Technická specifika a způsoby manipulace s bandážovacími páskami Polyglas®.
3. Konstrukční návrh a výroba přípravku pro testování tahových vlastností kompozitních bandáží.
4. Výroba bandáží s navrženým počtem návinů strojní i ruční metodou.
5. Experimentální testování bandáží jednosměrně vyztužených podle zkušební metody **ASTM D 2290**.
6. Experimentální testování bandáží v příčném směru podle normy **ČSN ISO 527-5 Plasty - stanovení tahových vlastností**.
7. Porovnání výsledků tahové zkoušky mezi strojně navíjenou a ručně navíjenou bandáží.
8. Shrnutí dosažených výsledků, doporučení pro výrobu.

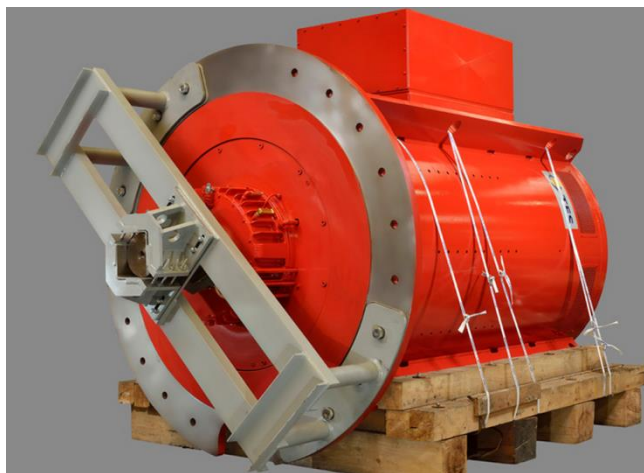
10 O SPOLEČNOSTI TES VSETÍN

Společnost TES Vsetín a.s. je společností v srdci Valašska s mezinárodní působností, která patří mezi přední výrobce elektrických strojů, pohonů a komponentů. Ve svém výrobním areálu o rozloze 100 000 m² s rozsáhlým výrobním parkem zaměstnává téměř 750 zaměstnanců. Vlastní vývoj a výrobu šitou na míru požadavkům zákazníků zabezpečuje svými konstrukčními kapacitami ve Vsetíně, Brně a Praze. Staví na stoleté tradici i aktivním přístupu k dalšímu rozvoji. Investuje do rozšiřování výrobních kapacit i možností. Prostřednictvím spolupráce s externími odborníky i realizací vlastních interních projektů zavádí nové metody řízení výroby, obchodu a organizace práce.

Výrobní program společnosti staví na třech základních výrobních divizích TED, TEC a TEM.

10.1 Výrobní divize TEM

Zahrnuje výrobu elektrických točivých strojů.



Obrázek 21 Synchronní generátor TES typ GSH [17]

10.1.1 Synchronní generátory GSH a GSV

Patří mezi nejprodávanější produkty divize TEM. Jsou vhodné pro všechny typy turbín s výkony do 20 00 kVA. Výrobkem je generátor navržen podle specifických parametrů a požadavků zákazníka.

Malé vodní elektrárny – GSH, GSV

Generátory pro malé vodní elektrárny se vyznačují robustní konstrukcí s vynikající účinností. Vyznačují se vysokou spolehlivostí v kombinaci s ekonomicky výhodným řešením. Nová konstrukce generátorů GSV s vyniklými póly dosahuje výkonu až 20 000 kVA.

Větrné elektrárny – GSV, GSP

Synchronní generátory po optimalizaci pro výkony do 20 000 kVA jsou velmi vhodné pro provoz ve větrných elektrárnách. Novinkou jsou také generátory s permanentními magnety do výkonu 4 000 kVA. Tento typ stroje má až o 30 % menší hmotnost, než stroje s vinutým rotorem. To nasvědčuje větší životnosti ložisek, prodloužení servisních intervalů a lepší ekonomičnost provozu.

Lodní doprava – GSH, GSV, GSP

Generátory vhodné pro tankery, zásobovací lodě a víceúčelové lodě a trajekty. Používají se pro napájení sítě, řídicích systémů, pomocných řídicích nebo nouzových pohonů lodí. Stroje jsou určeny pro paralelní provoz nebo ostrovní provoz.

10.1.2 Asynchronní generátory GAK

Asynchronní generátory řady GAK odpovídají specifickým požadavkům na generátory pro vodní elektrárny. Vyznačují se robustní konstrukcí a dostatečným dimenzováním všech částí. Tyto generátory jsou určeny pro paralelní provoz se sítí. Provedení, variant a příslušenství je celá řada, a lze proto splnit prakticky všechny požadavky odběratelů. Díky svým parametrům je tento typ stroje vhodný zejména pro vodní turbíny s výkony do 1 500 kW.



Obrázek 22 *Asynchronní generátor TES typ GAK [17]*

10.1.3 Asynchronní motory MAK

Motory řady MAK s kotvou na krátko jsou dodávány zejména do aplikací v těžkém průmyslu. Pro každou aplikaci je nadefinována konstrukce motoru speciálně. Výroba motorů pro hutní průmysl, jako například válcovny ocelí, hutě, cementárny a vápenky, papírny atp. Motory pohání válcovací linky, nůžky, brzdy, čerpadla, mlýny aj. V lodním průmyslu nachází motory MAK využití především pro svá specifika, umožňující přesnou regulaci otáček, rychlou reverzaci a vysokou proudovou i momentovou přetížitelnost.



Obrázek 23 *Asynchronní motor TES typ MAK* [17]

10.2 Výrobní divize TEC

Výroba elektrických komponentů pro výrobce elektrických strojů.



Obrázek 24 *Výrobní divize TEC* [17]

10.2.1 Výroba koster, štítů a hřídelů

Zakázková výroba dle výkresové dokumentace zákazníka. Předmětem produkce jsou díly motorů a generátorů a další mechanické součásti. Svařování a obrábění dílů.

10.2.2 Výroba elektrolechů

Rotorové plechy do průměru 2 000 mm, plechy statorů do průměru 1 200 mm. Segmenty plechů 30°, 45° a 60°. Lisování malé i velké série elektrolechů. Produkce je podrobena kontrole a měření el. mag. vlastností.

10.2.3 Statorové a rotorové pakety

Předmětem produkce jsou pakety částí elektrických strojů. Pakety rotoru, statoru a budiče složeny s elektrolech nebo s vloženým vinutím. Možné také impregnované pryskyřicí UL2002T odpovídající telené třídě H (200°C).

10.3 Výrobní divize TED

Jedná se o výrobní program produkující elektrické pohony.



Obrázek 25 Výrobní divize TED [17]

10.3.1 Středisko průmyslové automatizace

Řešení zahrnující širokou oblast různého stupně automatizace výrobních procesů. Předmětem výroby jsou plně automatické výrobní stroje. Stroje pro výrobu, montáž, dopravu, čištění a mnoho dalších výrobních procesů.

10.3.2 Zkušební stanoviště

Zahrnuje vozidlové zkušebny, zkušebny spalovacích motorů, zkoušení převodovek. Produkce zkušební techniky se opírá o dlouholetou praxi v konstrukci a výrobě elektrických pohonů s dynamometry. Objekty testování mohou být spalovací motory, elektrické točivé stroje, ventilátory, čerpadla, převodovky, kompresory i celá vozidla. Dodávají se komplexní zkušební stanoviště. Vozidlové zkušebny pro testování motorů automobilů přímo na kolech.



Obrázek 26 *Středisko automobilové techniky* [17]

10.3.3 Jednoúčelové stroje

Vývoj a výroba jednoúčelových strojů a výrobních linek podle specifikací zákazníka. Stroje nakonfigurované do výroby tak, aby byly schopny pracovních úkonů od jednoduchých po sofistikované výrobní procesy. Jednoúčelové stroje je možné aplikovat v různých provozech automobilového, strojírenského, potravinářského a jiného průmyslu. Provoz v oblastech manipulace, obrábění, tváření, montáže, kontroly s možností CCD kamery atd.

10.3.4 Elektrické pohony

Elektrické pohony jedno a vícemotorových pracovních strojů a linek. Zpracování projektu, výroba a instalace zařízení včetně kabelů, ovládacích prvků, snímačů a čidel. Lze vyrábět zcela nové, či renovovat starší zařízení.

10.3.5 Rozvaděče NN

Výroba rozvaděčů na zakázku pro konkrétní aplikaci zařízení v elektrických pohonech, výrobních linkách, dynamometrických stanovištích a jednoúčelových strojích.

11 BANDÁŽOVACÍ PÁSKA POLYGLAS® H200

Pro zafixování vyložení čel vinutí rotoru je použito bandážovací pásky. Bandážovací páska Polyglas H200 se skládá z podélných skelných vláken, před-impregnovaných speciální termosetickou polyesterovou pryskyřicí. Tato pryskyřice byla vyvinuta pro použití materiálu při vysokých teplotách. K hlavním vlastnostem materiálu Polyglas H200 patří vysoká tepelná odolnost až 200°C a vysoká odolnost proti vlhkosti.

11.1 Obecně

Použití bandážovací pásky Polyglas® H200 nahrazuje konvenční, dříve používanou bandáž z ocelových drátů. Oproti těmto zastaralým bandážovacím metodám přináší páska Polyglas řadu výhod.

- Nedochozí ke vzniku vířivých proudů a tím k místnímu přehřátí bandáže a izolačních materiálů pod bandáží.
- Nedochozí k roztržení bandáže jako u ocelových drátů při dosažení meze únavy.
- Páska je elektroizolační, nedochází tedy k přeskokům elektrických výbojů, jako mezi vinutím a ocelovou bandáží.
- Dochází k úspoře izolačních materiálů, protože páska má vynikající izolační vlastnosti.
- Dochází k úspoře ostatních použitých materiálů.
- Doba bandážování se zkracuje a tím dochází k úspoře výrobních časů.

11.2 Použití

Složení materiálu Polyglas® H200 a jeho relativně jednoduché zpracování umožňuje univerzální použití pro všechny druhy motorů, zejména pro trakční motory v tepelné třídě H a obecně pro všechny motory, které pracují ve ztížených provozních podmínkách, při vysoké teplotě a vysoké vlhkosti prostředí.

11.3 Zpracování

Ke zpracování pásky a zajištění předpětí pásky při navíjení bandáže (bandážování) by mělo být použito vhodné bandážovací zařízení. Páska se přednostně při aplikaci navíjí na předeřhřátý podklad (rotor) nebo je předeřhřívána infračervenou lampou. Při zpracování pásky touto metodou za tepla si vyrobená bandáž zachovává zbytková napětí, která tvoří asi 60% z napětí předpětí, na kterém byla navíjena. Po navinutí předepsaného počtu poloh se zajistí

(zažehlí) konec pásky a navinutá bandáž se vytvrzuje při stanovené teplotě po dobu stanovenou technickým listem. Navíc je nutno připočítat dobu, která je potřebná k ohřevu stroje na požadovanou teplotu.

Tabulka 2 *Doba zpracovatelnosti pásky, závislost času na teplotě vytvrzování.*

Doba	[hod]	2,5	3	5	14	20
Teplota	[°C]	160	150	135	120	115

Vlastnosti v surovém stavu.

Tabulka 3 *Parametry pásky Polyglas® H200 v surovém stavu*

Vlastnost	Jednotka	Hodnota
Tloušťka	mm	0,3
Hmotnost pásky délky 100m a šířky 10 mm	kg	0,56
Obsah pryskyřice	[hm%]	26±0,2
Počet vláken v šířce 10 mm	-	30±1
Tolerance šířky pásky	[%]	±10
Pevnost v tahu	[N/cm]	2000
Předpětí při aplikaci	[N/cm]	≤1000

Vlastnosti po zpracování – vytvrzení při dané zpracovatelské teplotě.

Tabulka 4 *Parametry pásky Polyglas® H200 vytvrzené*

Vlastnost	Jednotka	Hodnota
Tepelná třída	°C	200
Tloušťka	mm	0,25

Mechanické vlastnosti po vytvrzení.Tabulka 5 *Mechanické vlastnosti pásky Polyglas® H200 vytvrzené*

Vlastnost	Jednotka	Hodnota
Pevnost v tahu jedné vrstvy pásky při 20°C	N/cm	2500
Pevnost v tahu jedné vrstvy pásky při 180°C	N/cm	1800

Tabulka 6 *Mechanické vlastnosti pásky Polyglas® H200 vytvrzené*

Vlastnost	Jednotka	Hodnota
Pevnost v tahu vztažená na průřez bandáže při 20°C	MPa	1100-1300
Pevnost v tahu vztažená na průřez bandáže při 180°C	MPa	900-1000
Prodloužení při přetržení $\varepsilon_{př}$ 20°C	%	1,6
Prodloužení při přetržení $\varepsilon_{př}$ 180°C	%	2,0
Modul pružnosti E vztažen na průřez pásky při 20°C	MPa	60 000
Modul pružnosti E vztažen na průřez pásky při 180°C	MPa	50 000

Bandážovací páska Polyglas® H200 je dodávána v několika provedeních o různých šířkách a metrážích. Společnost TES pro svou výrobní potřebu nejhojněji využívá pásek o šířkách 10 mm a 20 mm z důvodu lepší manipulace a zajištění alespoň částečného předpětí při ručním bandážování, oproti páskám šířky 30 mm, které vyžadují vyvinutí větší fyzické námahy pracovníka. [Příloha PVIII]

11.4 Další technické specifikace ostatních druhů pásek Polyglas®

Tabulka 7 Specifikace pásek řady Polyglas® v surovém stavu

Vlastnosti v surovém stavu		P30	H200	H220	K220
Tloušťka	mm	0,3±0,03	0,3±0,03	0,3±0,03	0,3±0,03
Celková hmotnost	g/m ²	600±60	600±60	600±60	600±60
Obsah pryskyřice	%	26±2	26±2	26±2	28±3
Počet vláken výztuže	n	30±1	30±1	30±1	26±1
Minimální napětí v tahu	N/cm	2000	2000	2000	4000
Předpětí při navíjení	N/cm	≤1000	≤1000	≤1000	≤2000

Tabulka 8 Specifikace pásek řady Polyglas® - po vytvrzení

Vlastnosti ve vytvrzeném stavu		P30	H200	H220	K220
Tepelná odolnost (teplotní třída)	°C	155 (F)	200 (H)	200 (C)	220 (C)
Tloušťka	mm	0,25±0,02	0,25±0,02	0,25±0,02	0,31±0,02
Minimální napětí v tahu (20°C)	N/cm	2500	2500	2500	3500
Minimální napětí v tahu (daná teplotní třída)	N/cm	1800	1800	1800	2500
E modul (20°C)	N/mm ²	62 000	62 000	62 000	80 000
E modul (teplotní třída)	N/mm ²	50 500	52 000	50 500	65 000
prodloužení při přetržení (20°C)	%	1,6	1,6	1,6	0,6
prodloužení při přetržení (teplotní třída)	%	1,4	1,4	1,4	0,5

Polyglas® P30 je základní páska použitelná v teplotní třídě F (155 °C). Používána pro bandáž rotorů, vyložení a bandážování olejových transformátorů.

Polyglas® H200 je standardní bandážovací páska teplotní třídy H (200 °C) proti vlhkosti odolná bandáž, která se používá hlavně pro bandáž rotorů a vyložení čel vinutí.

Polyglas® H220 je bandážovací páska vylepšená pro teplotní třídy C (220 °C) odolná proti vlhkosti. Páska, která se používá zejména pro bandážování rotorů trakčních motorů, sběračů a vyložení čel vinutí.

Polyglas® K220 je nejvyšší řada pásek třídy C (220 °C) proti vlhkost odolná bandážovací páska. Používá materiál výztuže Kevlar®, která se používá hlavně pro bandáže po lepení rotorů permanentními magnety, pro vysokorychlostní startéry a vysokootáčkové točivé stroje, kde nelze z konstrukčních důvodů použít pásek předchozích typů.



Obrázek 27 Páska Polyglas® v balení (200m)

11.5 Výpočet vrstev bandáží rotoru

Pro výpočet uchycení rotorového vinutí pomocí bandážovacích pásek Polyglas® se používá následujících vztahů.

Pro stanovení tangenciální síly F [kg], pro kterou musí být bandáž dimenzována je vztah:

$$F = \frac{P.R.N^2}{5,6.10^6} \quad (18)$$

Kde:

F... odstředivá síla [kg]

P... hmotnost čel vinutí (vyložení) rotoru, které je vystaveno odstředivé síle [kg]

N... počet otáček [ot.min⁻¹]

R... maximální vzdálenost mezi těžištěm vinutí a osou rotace [mm]

Počet vrstev pásky Polyglas® je dále stanoven podle vztahu:

$$X = \frac{F.K_s}{C.L} \quad (19)$$

Kde:

X... počet vrstev pásky

F... odstředivá síla (viz rovnice 18) [kg]

K_s... používaný bezpečnostní faktor (doporučení výrobce K_s = 5)

C... pevnost v tahu pásky Polyglas po vytvrzení, při provozní teplotě [kg/cm]

L... šířka vybrané pásky Polyglas [mm]

[viz příloha PIX]

12 TECHNOLOGICKÝ PŘEDPIS PRO BANDÁŽOVÁNÍ ROTOROVÝCH VINUTÍ PÁSKAMI POLYGLAS®

12.1 Ustanovení

Předpis zohledňuje určení sledu operací a technické podmínky, které musí být dodrženy při bandážování rotorových vinutí kompozitními sklo-polymerními bandážovacími páskami.

12.2 Materiál při bandážování

Páska Polyglas® H200 vyžaduje při bandážování, z důvodu zaručení požadovaných mechanických vlastností při své funkci, určitého specifického předpětí. Toto předpětí lze dosáhnout na speciálním bandážovacím zařízení, které je pro tuto funkci navijení kalibrováno.

Tabulka 9 Předpětí při navijení pásky dané šířky

Vlastnost	Jednotka			
Šířka pásky	mm	10	15	20
Předpětí	N	500-1000	1000-1500	1500-2000

Jelikož se jedná o prepreg (před-impregnovanou výztuž pryskyřicí), musí být dodržena skladovací lhůta daná výrobcem.

Tabulka 10 Skladovací teploty a trvanlivost skladování pásek

Vlastnost	Měsíců	Teplota
Skladovací doba	6	do 20°C
	9	do 15°C
	12	do 10°C

Po navinutí pásky následuje vytvrzovací proces v peci při teplotách popsaných v tabulce níže. Doba potřebná pro vytvrzování zohledňuje i velmi silné vrstvy bandáže, které je potřeba prohřát, proto se toto specifikum může lišit s časy uvedenými v technických listech bandážovacích materiálů.

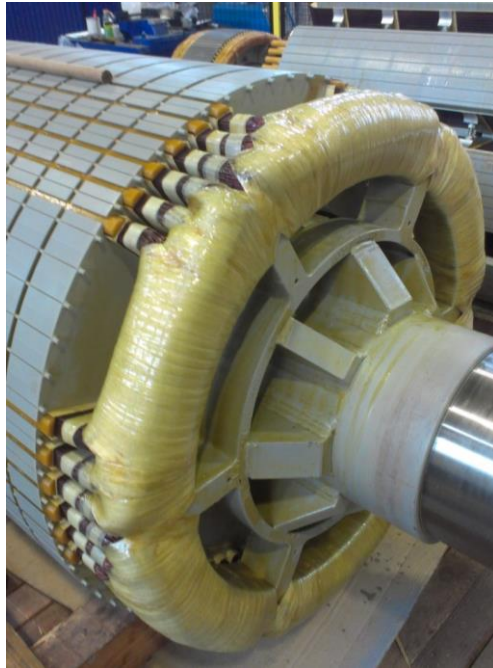
Tabulka 11 *Tabulka vytvrzovacích časů v závislosti na teplotě*

Vlastnost	Čas	Teplota
Vytvrzovací proces	3 hod	170°C
	5 hod	150°C
	12-15 hod	135°C
	24 hod	120°C

12.3 Rotor a bandáž

Skladbu materiálů pro provádění bandáží určuje konstrukce s ohledem na tvar čel vinutí. Stanovuje počet závitů bandáže, rozměr pásky a úpravu povrchu bandáže. Povrch čela cívky pod bandáží nesmí mít žádné ostré hrany a přechody. Větší nerovnosti musí být vytmeleny. Samotné navíjení je možné provádět dvěma způsoby. Prvním způsobem je navíjení pásky na styk – stoupání závitů se rovná šířce pásky. Tento způsob je využíván zcela výjimečně. Druhým způsobem je navíjení s polovičním překrytím. Při navíjení je hlavní podmínkou dodržet konstantní napětí jednotlivých vláken bandážovací pásky.

Kvalitní bandáž je možné vytvořit pouze na tuhém čele vinutí, které je dáno řešením podpěry a také tvarem vinutí. Tuhým čelem se rozumí takové technologické řešení vinutí, které po zkouškách maximálních otáček stroje nevykazuje nadměrné chvění.



Obrázek 28 *Ruční bandáž čel vinutí šestipólového rotoru generátoru typu GSH*

12.4 Zařízení pro bandážování rotorů

Bandážovací zařízení pro navíjení bandáží ze sklo-polymerních pásek Polyglas musí být vybaveno napínacím zařízením umožňujícím plynulou regulaci tahu v rozsahu 0 – 3 000 N a musí být kalibrováno. Zařízení musí mít možnost plynulého oboustranného posuvu pásky v rozsahu 0 – 30 mm a možnost navíjení na jednom místě. Dále musí být zařízení vybaveno počítadlem závitů. Dále musí umožňovat stupňovitou regulaci otáček od min. 5.min⁻¹ do max. 60.min⁻¹.

12.5 Příprava rotoru pro bandážování

Bandážovací páska musí být navíjena na předehřátý rotor. Doporučená teplota předehřátí rotoru je stanovena na teplotu 90 °C až 120 °C. Rotor je předehříván v peci po dobu nejméně 10 hodin.

12.6 Bandážování rotorů

Pomocí upínacího háčku se uchytí bandážovací páska na paketu rotoru. Na místo začátku bandáže se najíždí se sníženým tahem cca 500 N. Po seřízení daného navíjecího předpětí se navíjí na styk nebo s polovičním překrytím (častější) do požadovaného počtu závitů. Nutné dodržovat skladbu materiálu, teplotu rotoru, která nesmí klesnout pod 80 °C, napínací sílu,

odtahovou rychlost a otáčky. Po navinutí potřebného počtu závitů se konec pásky zažehlí páječkou. Při nastavování pásky, pásku původní zajistit a novou pásku navíjet na místě přerušení. Při přetržení pásky ihned zajistit konec zažehlením a poradit se s odpovědným vedoucím o tom, zda stávající bandáž odstranit a vyrobit novou nebo pokračovat v navíjení.

Ruční navíjení bandáže

V případě ručního navíjení záleží kvalita ovinů na zkušenostech pracovníka. Jedná se vždy o pracovníka střediska navijárny. Je zřejmé, že v případě ručního navíjení nelze dosáhnout technickým listem požadované velikosti předepjaté síly vyvinutou na pásku. V tomto případě je pracovník nucen utahovat jednotlivé závity, dle jeho fyzických možností.

12.7 Dokončení bandáže

Z povrchu bandáže škrabkou odstranit přebytek polyesterové pryskyřice. V případě hlazené bandáže nasadit ocelový pocínovaný plech a přivinout jej bandážovací páskou původním tahem. Provést vytvrzení bandáže podle příslušných tabulkových dat.

12.8 Vytvrzení bandáže

Bandáž vytvrzovat v peci (sušárně) s nuceným oběhem vzduchu při dané teplotě po daný čas uvedený v tabulkách. Rotor musí být uložen tak, aby se na žádném místě bandáž nedotýkala cizích předmětů. Po vytvrzení odstranit pocínovaný plech a „nátěky“ pryskyřice. Zajistit hladkost bandáže po celé ploše.

12.9 Mezioperační kontroly

Namátková kontrola kvality vyrobených bandáží, v případě hlazených bandáží kontrolovat kvalitu povrchu. Měřidly kontrolovat rozměry. Na poklep musí mít bandáž správně kovový zvuk. Návin musí být proveden pečlivě, rovnoměrně, závit po závit. Plocha bandáže by měla být válcovitá. Pečlivě provedené musí být zažehlení konců, odstávající konce a přetoky pryskyřice musí být odstraněny. Bandáž nesmí vykazovat známky jakéhokoliv mechanického poškození, či prasklin. Nesmí být narušena skelná vlákna. Za závadu se nepovažují podélné trhlinky v pásce, pokud nejsou narušena vlákna, toto neovlivní mechanické vlastnosti.

12.10 Bezpečnost a hygiena práce

Pro všechny předešlé operace je nutné obsluhu řádně a pravidelně školit. Je nutné provádění průběžné kontroly těchto prací nadřízeným pracovníkem, zda se dané návody a předpisy pro tyto úkony platné dodržují. Pracovníci musí dodržovat bezpečnostní předpisy doporučené výrobcem dle návodů a musí používat patřičné ochranné pomůcky.

12.11 Požadavky EMS

Prostřednictvím vedoucí osoby je nutno seznámit se s environmentálními aspekty a dopady činností s ohledem na životní prostředí.

Odpady se likvidují podle daných směrnic Řízení odpadového hospodářství. Likvidaci odpadu zajišťují oprávněné firmy. Odpady jsou zaměstnanci povinni shromažďovat pouze na místech tomu určených.



Obrázek 29 *Strojově vyráběná bandáž rotoru budiče*

13 NÁVRH A VÝROBA PŘÍPRAVKU PRO ZKOUMÁNÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ BANDÁŽÍ Z PÁSEK POLYGLAS®

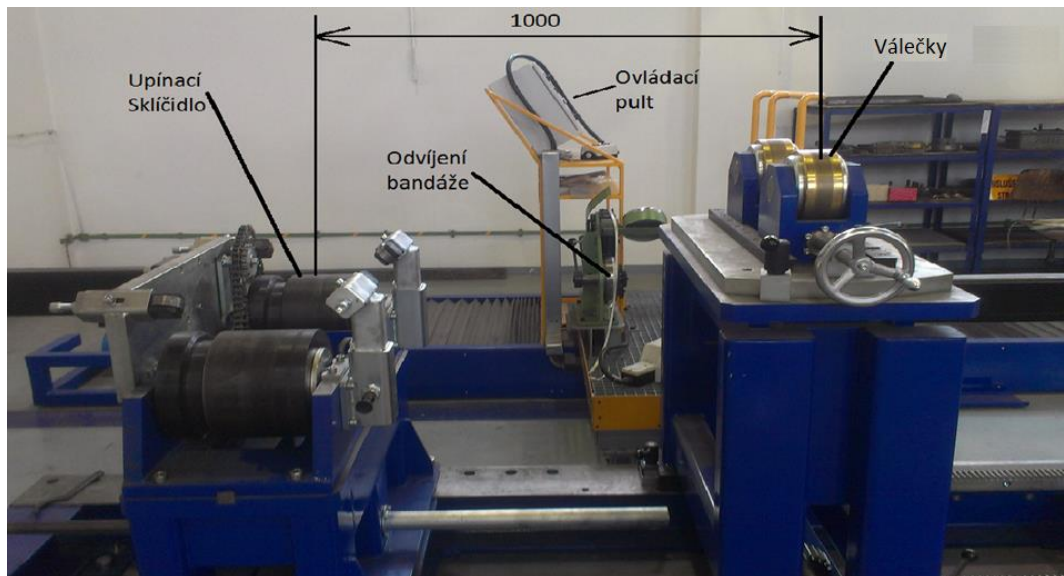
Z důvodu zjištění mechanických vlastností ručních a strojních bandáží a snaze co nejvíce přiblížit simulaci reálného mechanického namáhání tahem, bylo rozhodnuto vyrobit speciální přípravek pro zkoumání tahových vlastností. Jedná se modifikovanou zkušební metodu ASTM D 2290 vyvinutou námořní laboratoří NOL (Naval Ordnance Laboratory) v USA.

13.1 Vstupní parametry

Z důvodu nutnosti zajistit předpětí pásky při strojním navíjení o velikosti 600 – 1000 N na centimetr šířky pásky, bylo potřeba nejprve navrhnout, jakým způsobem se bude daná bandáž nejlépe testovat. S ohledem na možnosti zatížení laboratorního trhačního stroje v laboratořích ITC ve Zlíně, které připouští maximální trhačí sílu 100 000 N, bylo ve spolupráci s konstruktéry vývojového oddělení TES dohodnuto, že bandáž bude obsahovat 10 ovinů 10 mm širokou bandážovací páskou Polyglas® H200, která po vytvrzení bude, dle technického listu disponovat předpokládanou tahovou pevností 2 x 25 000 N.

13.2 Návrh rozměrů přípravku

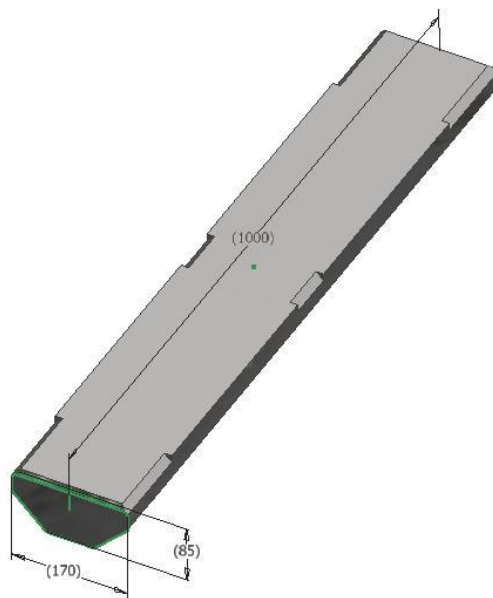
Při návrhu rozměrů přípravku pro bandážování bylo nutno vycházet z parametrů bandážovacího zařízení. Zařízení je primárně uzpůsobeno pro navíjení bandáží na rotory uchycené na hřídelích o hmotnostech stovek a tisíců kilogramů. Bylo nutno vycházet z nejmenší délky pro upnutí rotačního tělesa do sklíčidla bandážovacího stroje, která činí 1000 mm. Průměr kruhové tyče pro navíjení byl stanoven v rozsahu od 150 mm do 170 mm. Dalším faktorem, který bylo potřeba předem promyslet, bylo zajištění navíjecí tyče na obou koncích. Jeden konec je fixován ve sklíčidle, druhý konec je volně položen na dvou seřizovatelných válečkách. V případě navíjení těžkého rotou podepření válečky vyhovuje, jelikož síla předpětí pásky 600 N - 3000 N neohrozí ztržení rotoru z válečků. V našem případě, vzhledem k hmotnosti navíjecí tyče 120 kg, by tahová síla od bandážovacího zařízení navíjecí tyč z válečků vytrhla, bude tedy nutné tyč zatížit nasazením volně otáčejícího se sklíčidla, které bude improvizovat závaží.

Obrázek 30 *Bandážovací stroj*Obrázek 31 *Skličidlo pro upínání rotorů určených ke strojní bandáži*

13.3 Konstrukce přípravku

Konstrukce testovacího přípravku vycházela z nutnosti uskutečnit tahovou zkoušku bandáží navinutých na kruhové tyči. Aby se takováto zkouška dala provést, bylo nutné namyslet jakým způsobem přípravek zhotovit a jak jej upevnit do upínacích čelistí zkušebního zařízení. Zprvu bylo jasné, že je nutné, aby kruhová tyč byla rozdělena na dvě poloviny. Řezání tyče o průměru 150 mm v délce 1000 mm napříč, na dvě poloviny, by z technologického

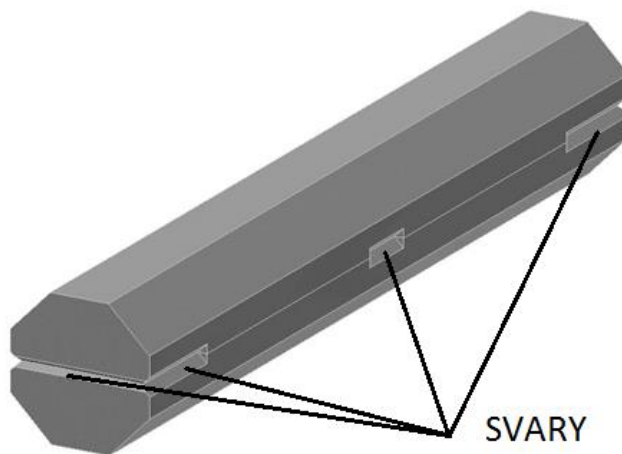
hlediska bylo riskantní již z důvodu zkroucení tyče. Proto bylo nutné stanovit polotovar co nejekonomičtěji a zároveň co nejsnáze opracovatelný. Nejprve proběhlo vymodelování v programu Autodesk Inventor 2014.



Obrázek 32 Vymodelovaná polovina tyče – výchozí polotovar pro svaření

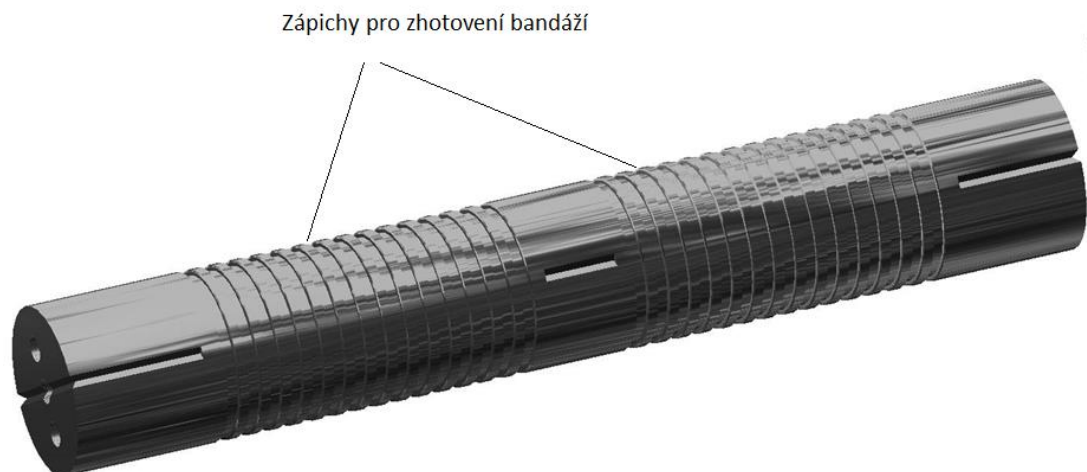
Prvním modelem byl polotovar pro svařenou tyč. Nejvhodnější řešení bylo vypálení tlustého ocelového plechu o rozměrech 170 mm x 90 mm – 1000 mm. Následně opracování do podoby dané výkresem. [viz příloha PI]

Následoval model svařence dvou opracovaných polovin. [viz příloha PII]



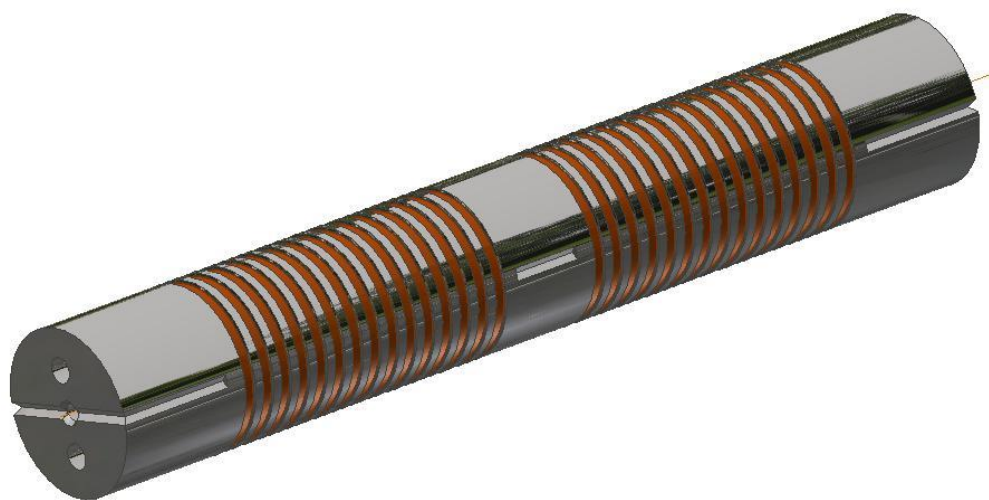
Obrázek 33 Model svařeného přípravku

Další fází bylo namodelování opracovaného svařence do podoby tyče určené k navinutí bandáže



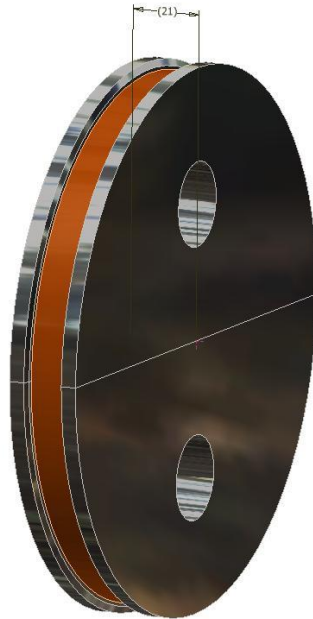
Obrázek 34 Tyč opracovaná, určená k navíjení bandáží

Na modelu opracované tyče je zhotoveno na každé polovině 15 drážek pro navinutí bandáží. V každé polovině tyče je vyvrtána díra o průměru 20 mm pro upnutí do trhačického stroje. [viz příloha PIII]



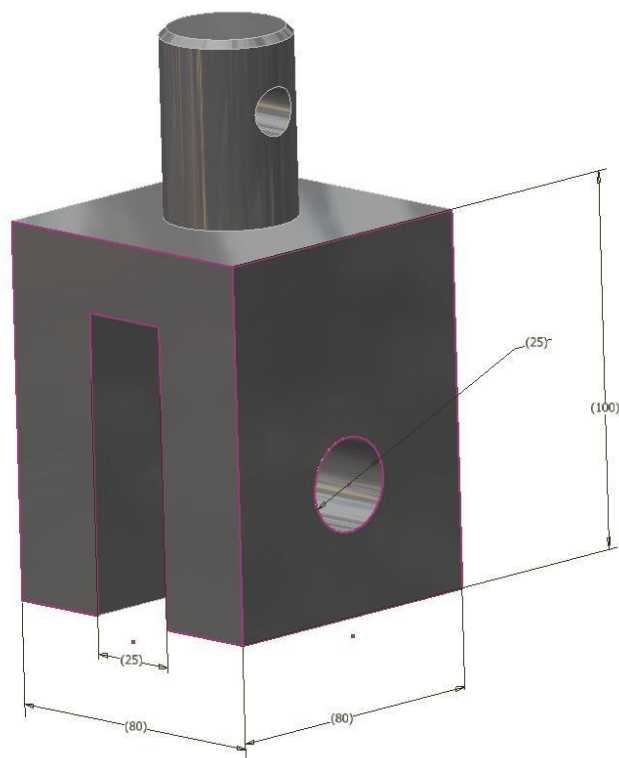
Obrázek 35 Model tyče po navinutí bandáží – 15 ručních, 15 strojních

Model tyče po opracování a následném navinutí bandáží v počtu 15 ručních a 15 strojních na každé polovině tyče. [viz příloha PIV]



Obrázek 36 Model přípravku po rozřezání, určený k tahové zkoušce

Následovalo namodelování přípravku, určeného ke zkoušce, řezaného na tloušťku 21 mm. Tento přípravek typu NOL-Ring je upnut na trhací stroj pomocí upínacího přípravku tvaru kostky.



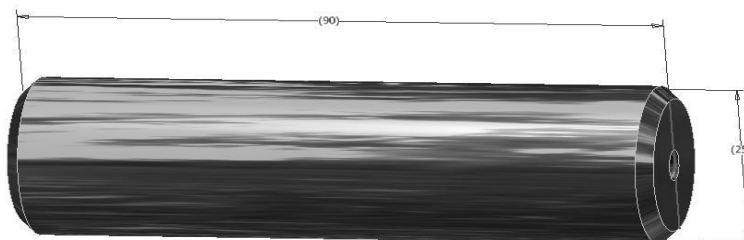
Obrázek 37 Upínací přípravek pro uchycení bandáží do trhacího stroje

Pro zajištění uchycení nařezané tyče s navinutou bandáží na trhací stroj, bylo nutno zkonstruovat upínací přípravek, který bude nainstalován do upínacího zařízení trhacího stroje. Pro tuto funkci byl namodelován přípravek ve tvaru kostky s drážkou uprostřed pro bandážovací tyč, dvěma dírami pro zasunutí upínacího čepu a na horní straně zhotoveno válcové osazení, určené k upnutí, zajištěné kolíkem o průměru 13 mm do trhacího stroje. [viz příloha PV]

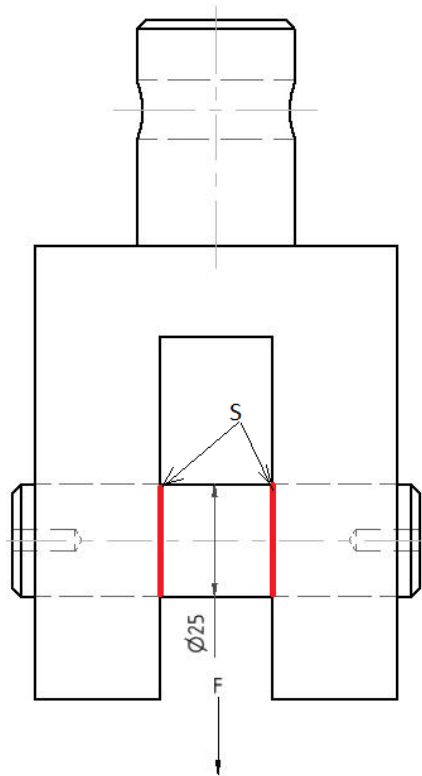


Obrázek 38 *Upínací kostka s čepem pro uchycení nařezané bandážovací tyče*

Čep byl navržen z polotovaru 11 600 a bylo jej potřeba zkontrolovat výpočtem na smyk. Výpočet byl proveden pro jistotu pro nejvyšší možné zatížení trhacího stroje, které činí 100 000 N. Předpokládaná působící síla, při testování bandáží na tah, byla stanovena na poloviční hodnotu, tedy 50 000 N. [viz příloha PVI]



Obrázek 39 *Čep zajištění tyče v přípravku*

Obrázek 40 *Střižná plocha čepu*

Nejmenší dovolené napětí ve smyku τ_{ds} (ocel 11 600) = 120 MPa

Průměr čepu $\text{Ø}D = 25 \text{ mm}$

Maximální dovolené zatížení trhačky $F = 100\,000 \text{ N}$

$$\tau_s = \frac{F}{S} \quad (20)$$

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (21)$$

Dosazení:

$$\tau_s = \frac{50\,000}{2 \cdot \frac{\pi \cdot 25^2}{4}} = \underline{102 \text{ MPa}} \quad (22)$$

Navržený spoj vyhovuje pevnostní podmínce.

Legenda:

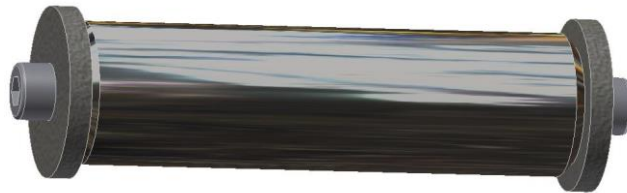
τ_{ds} ... Napětí ve smyku dovolené [MPa]

F... Střižná síla působící na čep [N]

S... Plocha průřezu čepu [mm²]

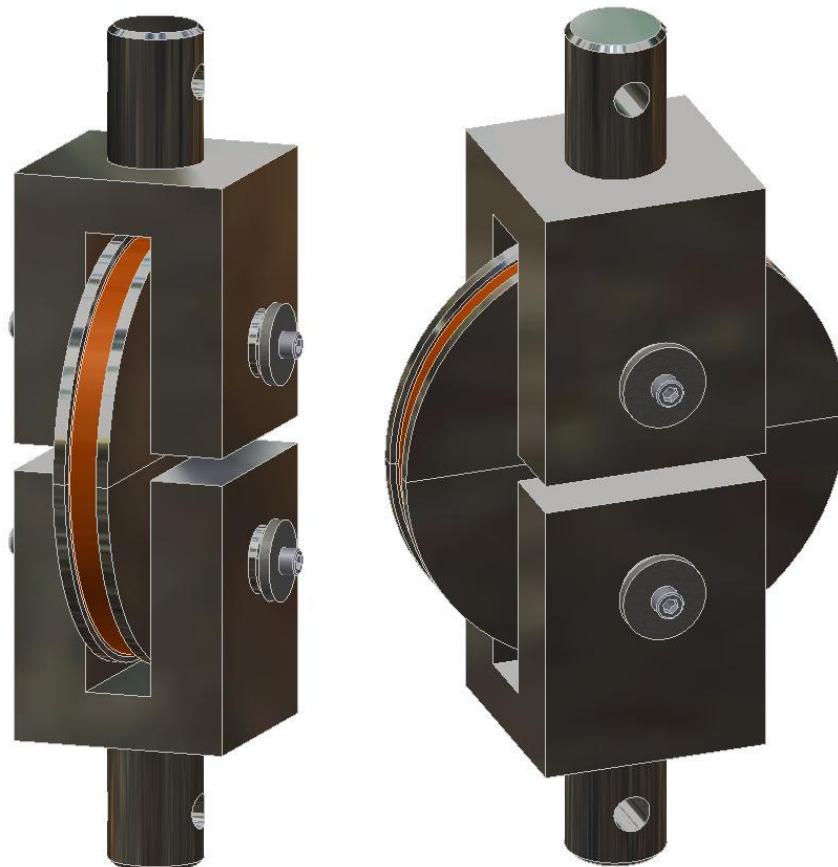
D... průměr čepu [mm]

K zajištění čepu proti axiálnímu posunu přípravku v trhacím stroji slouží podložky, umístěné po stranách, které jsou zajištěné šrouby.



Obrázek 41 Čep s podložkami

Po sestavení kompletního modelu přípravku pro testování mechanických vlastností bandáží a odsouhlasení výroby technologií, byla zhotovena výkresová dokumentace a po odsouhlasení byla výroba přípravku zahájena.



Obrázek 42 Sestava přípravku pro testování bandáží

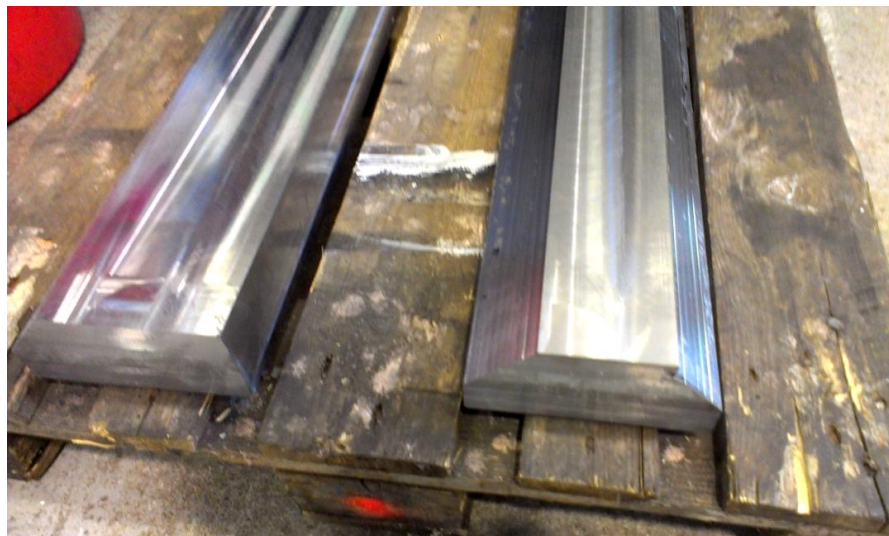
14 VLASTNÍ VÝROBA PŘÍPRAVKU

V první části výroby byl uřezán polotovar o rozměrech (90 x 180 - 1000) mm z tlustého plechu konstrukční oceli se zaručenou svařitelností třídy 11 523. (Příloha PX)



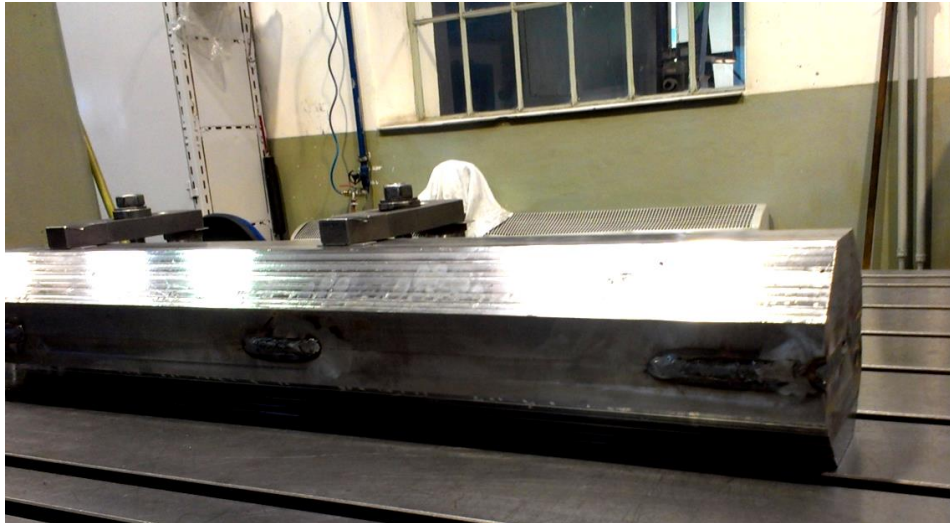
Obrázek 43 *Polotovary tlustého plechu*

Další fází bylo hrubé opracování těchto polotovarů dle výkresové dokumentace (příloha PI) na horizontální frézce.



Obrázek 44 *Hrubé opracování polotovaru*

Následoval přesun polotovarů do svařovny, kde bylo nutné obě poloviny svařit dle výkresu svařence (příloha PII).



Obrázek 45 *Svařený polotovár*

Takto svařený polotovár byl následně opracován podle výkresové dokumentace (příloha PIII).



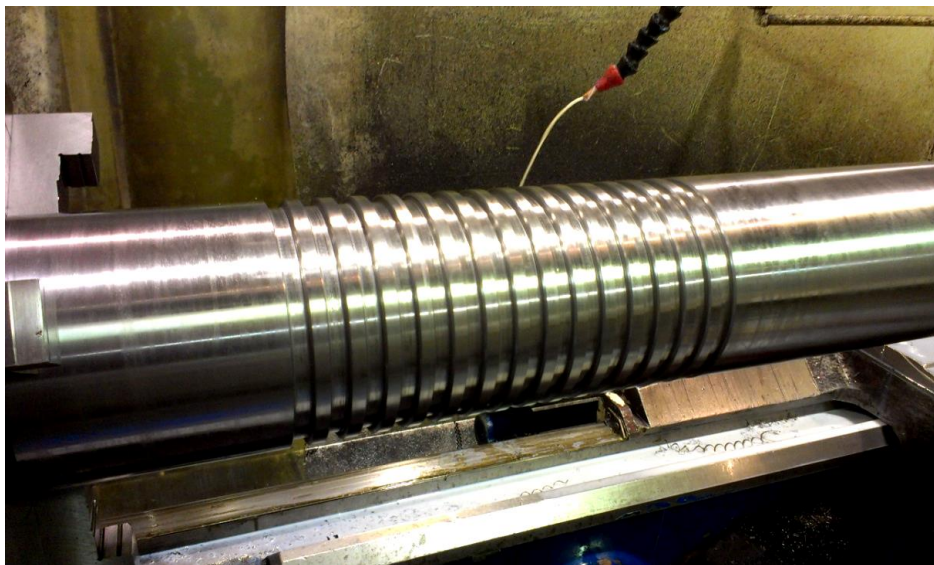
Obrázek 46 *Výroba děr*

Byly předvrtány díry pro upínání do trhačky a vyrobeny středící důlky se závity. Po dokončení vrtacích operací na horizontální vyvrtávače byl polotovár přemístěn na univerzální soustruh, kde byl zhotoven zbytek obráběcích operací.



Obrázek 47 *Soustružení přípravku*

Čela byly zarovnány minimálně, aby nedošlo ke snížení pevnosti svarových spojů a soudržnosti svařence při obrábění soustružením. Bylo vyrobeno osazení pro upnutí obrobku do sklíčidla.



Obrázek 48 *Soustružení zápichů*

Po obrobení válcové plochy byly zhotoveny zápichy dle výkresové dokumentace (příloha PIII).

Další úlohou zhotovení trhacího přípravku byla výroba upínacích kostek. Pro tento upínací prvek byl stanoven polotovar tlustého plechu o rozměrech 85 mm x 80 mm – 155 mm jakosti materiálu 11 523. Tento polotovar byl opracován na konvenční frézce na čistý rozměr 80 mm x 80 mm – 150 mm. Po zúhlování polotovaru byla vyrobena drážka šířky 25 mm pro upnutí nařezaných kotoučů s bandáží a díry pro upínací čep dle výkresové dokumentace (příloha PV).

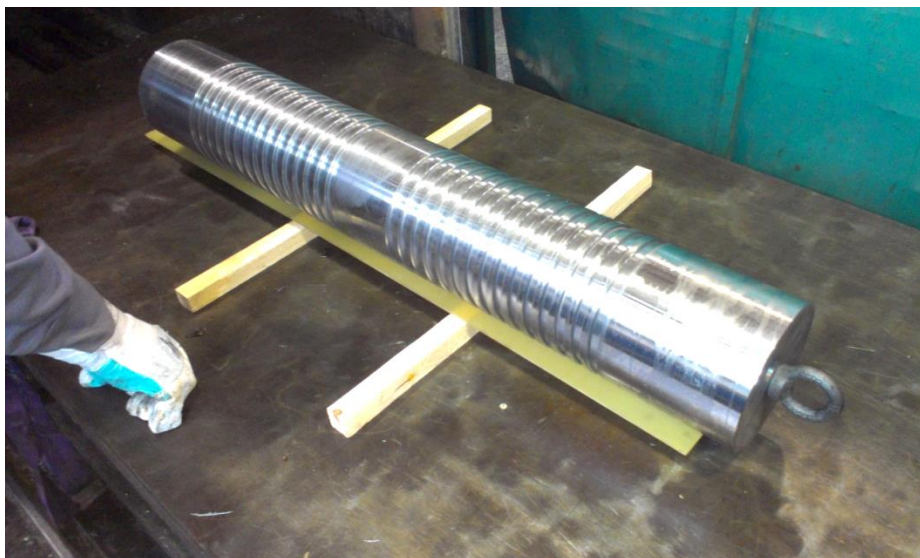


Obrázek 49 *Upínací kostka*

Po ofrézování bylo na soustruhu vyrobeno válcové osazení pro upnutí kostek do upínačů trhacího stroje a následně vyvrtán otvor v tomto válcovém osazení, který slouží k zajištění přípravku v trhacím stroji prostřednictvím válcového kolíku.

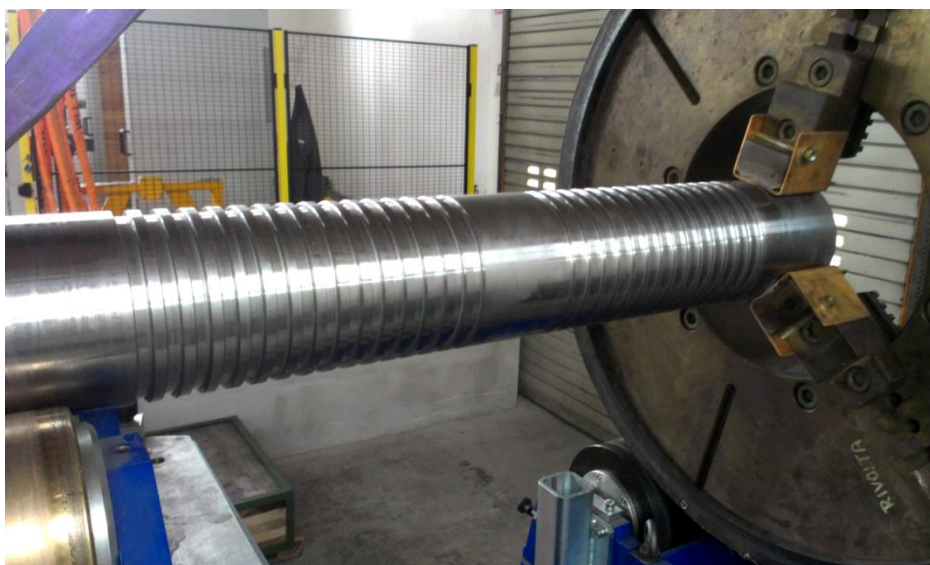
15 VÝROBA BANDÁŽE NA PŘÍPRAVKU

Po vyrobení tyče, určené k navíjení bandáží, byl přípravek přesunut do sekce skýtající označení impregnace. V této sekci se impregnuje jak satorové a rotorové vinutí točivých elektrických strojů, tak cívky i budiče. Pro naši potřebu bylo nejprve nutné podle technologického postupu, předehřát přípravek na teplotu nutnou k aplikování bandáže. Přípravek byl v peci předehříván na teplotu 100 °C po dobu 10 hodin.



Obrázek 50 *Předehřívání tyče v peci*

Po vytažení z pece byl přípravek pomocí jeřábové techniky přesunut k bandážovacímu zařízení.



Obrázek 51 *Osazování přípravku k navinutí bandáží*

Po osazení do sklíčidla bandážovacího stroje započala obsluha navíjet bandáž do zápičů.

15.1 Výroba strojně navíjené bandáže

Stanovený počet ovinů – 10 ovinů v jednom zápichu

Druh pásky – Polyglas® H200

Šířka pásky – 10 mm

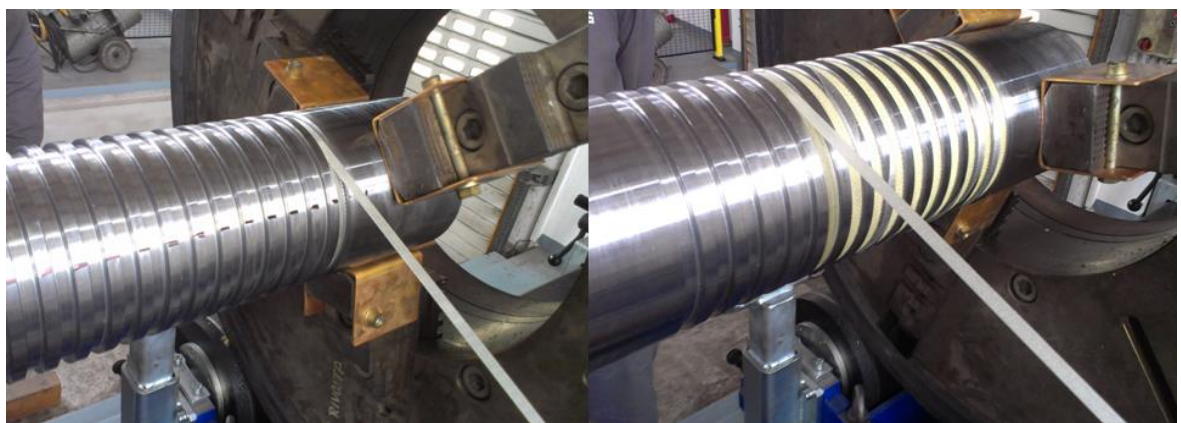
Stanovené předpětí pásky – 650 N

Rychlost otáčení přípravku při bandážování - 20 ot/min



Obrázek 52 Nastavení otáček a předpětí pomocí kalibrované brzdy

Po nastavení parametrů mohla začít obsluha navíjet pásku do zápichů.

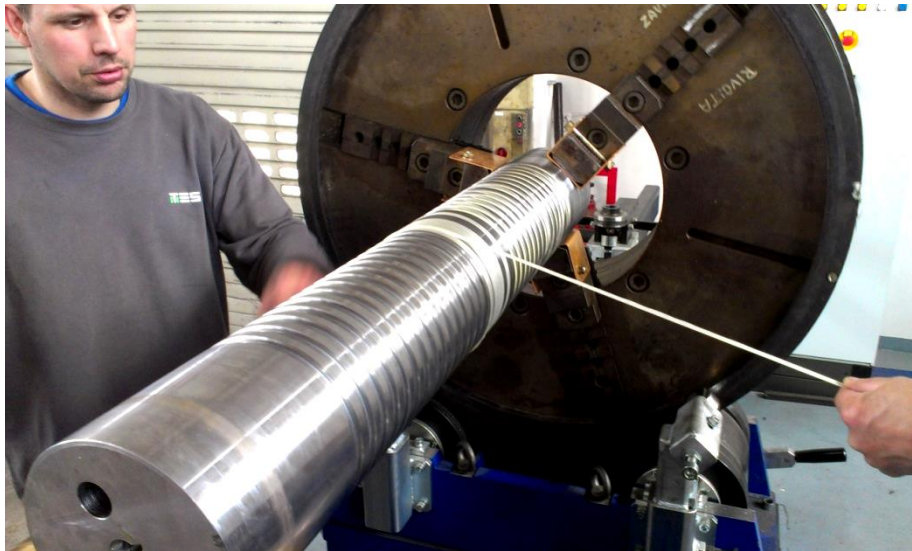


Obrázek 53 Navíjení strojní bandáže na přípravek

Bandážovací zařízení je vybaveno CNC řízením otáček, síly předpětí, počítadlem ovinů pásky a posuvu pásky. Po navinutí pásky do zápichu v počtu 10 ovinů pracovník obsluhy

plynule přešel do vedlejšího zápichu a vynuloval počítadlo ovinů, tak zabezpečil konstantní sílu předpětí a stanovený počet ovinů v jednom zápichu.

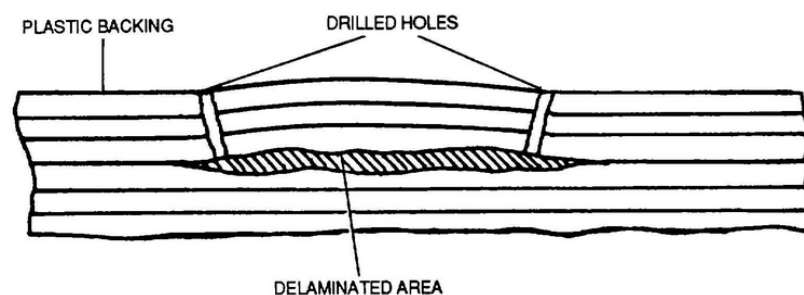
Po zhotovení strojní bandáže pracovník pásku zažehllil a přerušil nůžkami.



Obrázek 54 Zažehlení a přerušení pásky

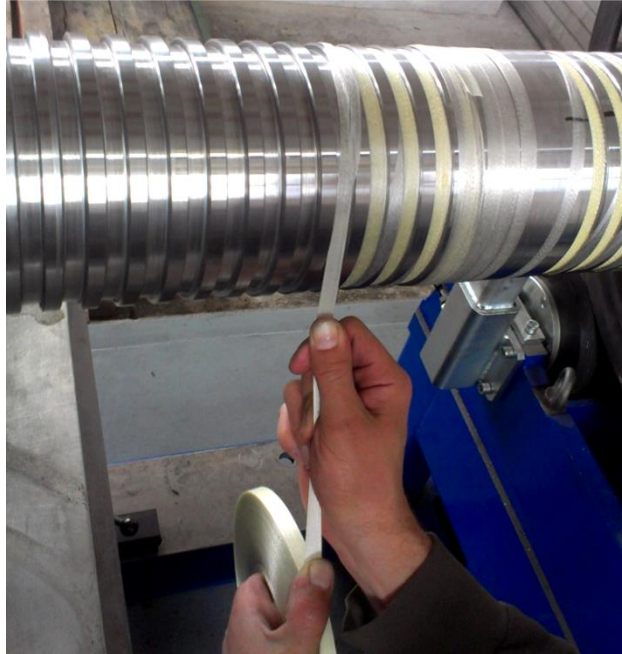
15.2 Výroba ručně navíjené bandáže

Při výrobě ruční bandáže nepůsobí na bandážovací pásku konstantní síla předpětí, při aplikaci pásky je zohledněn lidský faktor chyby ve smyslu malého utážení pásky. Malé utážení pásky má za následek malou lisovací sílu jednotlivých vláken při vrstvení pásky na sebe. Mohou tedy vznikat určitá kritická místa uvnitř bandáže, kde se může objevit vzduchová kapsa, která je nebezpečná po vytvrzení bandáže. Nebezpečí spočívá v uzavření vzduchové kapsy mezi jednotlivými vlákny, kde může dojít k jevu delaminace a snížení mechanických vlastností v tomto inkriminovaném místě (viz. teoretická část – mikromechanika kompozitů)



Obrázek 55 Ilustrační obrázek delaminace vrstev [18]

Ruční navíjení probíhalo stejným způsobem s tím rozdílem, že pracovník obsluhy držel kotouč s bandážovací páskou v ruce a ručně jí navíjel do zápichů a podle svých fyzických schopností přitahoval.



Obrázek 56 *Ruční navíjení bandáží*

15.3 Dokončení bandáží a vytvrzení

Za krátký čas po navinutí bylo patrné, že tahová síla od bandážovacího zařízení a teplo, přecházející z horkého přípravku do pásky, začaly pryskyřici v prepregu tavit a pryskyřice začala vzlínat na povrch vlivem tepla a lisovací síly.



Obrázek 57 *Vlevo strojní bandáž, vpravo ruční bandáž*

V případě strojní bandáže pryskyřice na povrch vystupovala výrazněji, než v případě ruční bandáže.



Obrázek 58 Hotová navinutá ruční i strojní bandáž na přípravku

Následovalo vložení navinutých bandáží na přípravku k vytvrzení do pece.



Obrázek 59 Vložení bandáží do vytvrzovací pece

Teplota vytvrzování byla nastavena na hodnotu 135 °C po dobu 13 hodin. Technický list specifikuje teplotu vytvrzování bandáží při teplotě 135 °C po dobu 5 hodin. Podle zkušeností pracovníků střediska impregnace, je ale pro lepší zabezpečení síťovacích procesů během vytvrzování čas prodloužit alespoň po dobu 13 hodin. Pryskyřice se tak dokonale vytvrdí.

Po vytvrzení bandáží následoval přesun přípravku na pásovou pilu, kde byl přípravek nařezán na kotouče o tloušťce $21 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$.



Obrázek 60 Řezání kotoučů s bandáží

Po nařezání byly kotouče odjehleny od otřepů a byly připraveny k testování.



Obrázek 61 Nařezané kotouče, určené k odjehlení

16 TESTOVÁNÍ BANDÁŽÍ NA TAH

16.1 Tahové vrstvy jednosměrně vyztužených kompozitů pomocí NOL-Ring vzorku

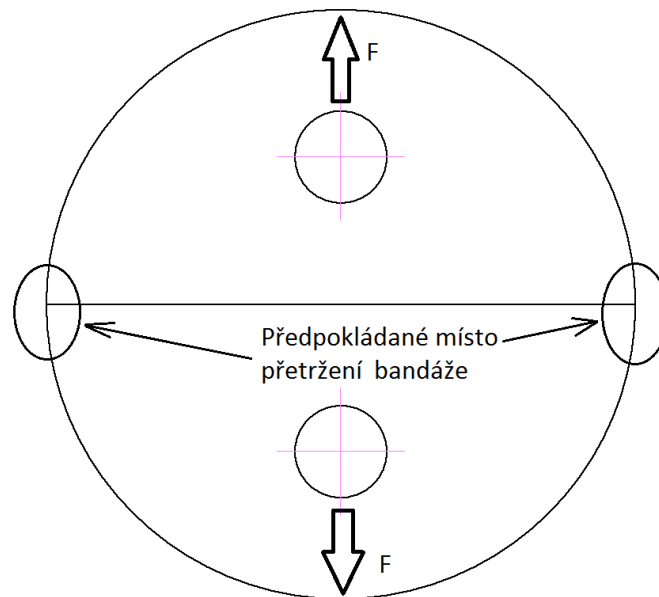
Zjištění tahových vlastností jednosměrně vyztuženého kompozitu, který je navíc navíjen s předpětím, je zkušebně – technickým problémem. Malá odchylka orientace vláken od směru zatížení nebo ne zcela souvisle probíhající vlákna po celé délce, přetvoření při upnutí, změna průřezu v zesíleném místě, to vše vyvolává rušivé vlivy a může vést k předčasné poruše. Jako eliminování těchto negativních vlivů byly navrženy zkušební vzorky tvaru kroužku podle zkušební normy ASTM D 2290, které se zkouší různým způsobem.

Tento způsob testování se velmi hodí pro díly vyráběné navíjením, což je případ bandáží z pásek Polyglas®. Tuto metodu testování vyvinula americká námořní laboratoř NOL (Navy Ordnance Laboratory), odkud tyto vzorky přebraly název NOL-Ring. Princip spočívá v odtahování dvou segmentů od jejich dělicí roviny. Zkoušení těles metodou NOL-Ring slouží především ke kontrole kvality a k posouzení technologických vlivů. Vlivu předpětí a povrchové úpravy jednosměrně orientovaných vláken na výrobek. [11]

16.2 Vlastní testování vzorků typu NOL-Ring

Testování navinutých bandáží probíhalo v laboratořích Institutu pro testování a certifikaci ve Zlíně na trhacím stroji Instron 5500R, jehož maximální trhací síla je 10 kN. Měřené veličiny byly maximální síla při přetržení bandáže a prodloužení při přetržení v milimetrech. Pro testování bylo vybráno 10 kusů bandáží na přípravku ručně vyrobených a 10 kusů bandáží na přípravku strojně vyrobených. Naměřená data zaznamenává software Bluehill.

Princip zkoušky tahem je v tomto případě tah skořepinového jednosměrně vyztuženého tělesa na válcové ploše. Lze předpokládat tření mezi povrchem přípravku a kompozitní bandáží a napětím po celém obvodu stejné, které ale lze v tomto testu nebrat v potaz. Tečnou složkou napětí jsou místa styku dvou polovin přípravku, kde lze s největší pravděpodobností očekávat roztržení. (viz. obrázek). V případě této zkoušky je nutno počítat s pevností v tahu se dvěma průřezy bandáže.



Obrázek 62 Předpoklad roztržení bandáže

Nejprve bylo nutné ustavit trhací přípravek do stroje, seřídít zdvih a zajistit vystředění osové vzdálenosti mezi čepy upínače. Po ustavení následovalo usazení kotoučů s bandážemi, určenými k trhací zkoušce.



Obrázek 63 Ustavený přípravek na stroji

Po kontrole zajištění čepy a kolíky zkušební technik započal testování. Podle předpokladů došlo k roztržení bandáže v jednom z míst, kde působí tečná napětí.



Obrázek 64 *Bandáž po přetržení*

Teplota při testování: 22°C

Vlhkost: 44%

Testovací zařízení: INSTRON 5500R

Přesnost stroje: $\pm 1\%$

16.3 Vyhodnocení tahové zkoušky bandáží ručně navinutých

Šířka zkušebních vzorků = 10,6 mm

Tloušťka zkušebních vzorků = 2,8 mm

$l_0 = 480$ mm (počáteční délka tělesa je brán obvod středního průměru kroužku bandáže)

Vyhodnocované veličiny:

F... maximální síla při přetržení bandáže [N]

Δl ... prodloužení při přetržení [mm]

σ_{\max} ... maximální naměřené napětí v tahu zkušebního vzorku [MPa]

ε ... poměrné prodloužení při přetržení [%]

Tabulka 12 *Naměřené parametry ručně navinutých bandáží*

Číslo vzorku	F [N]	Δl [mm]	σ_{\max} [MPa]	ε [%]
1	59 917	8,68	1009,4	3,62
2	59 005	8,67	994,0	3,62
3	55 633	8,91	937,2	3,72
4	51 308	8,12	864,4	3,38
5	61 089	9,07	1029,1	3,78
6	61 470	8,99	1035,5	3,74
7	60 762	8,88	1023,6	3,7
8	61 226	8,76	1031,4	3,66
9	62 134	8,98	1046,7	3,74
10	52 434	8,77	883,3	3,66

16.4 Vyhodnocení tahové zkoušky bandáží strojně navinutých

Šířka zkušebních vzorků = 10,7 mm

Tloušťka zkušebních vzorků = 2,6 mm

l_0 = 479,4 mm (počáteční délka tělesa je brán obvod středního průměru kroužku bandáže)

Vyhodnocované veličiny:

F... maximální síla při přetržení bandáže [N]

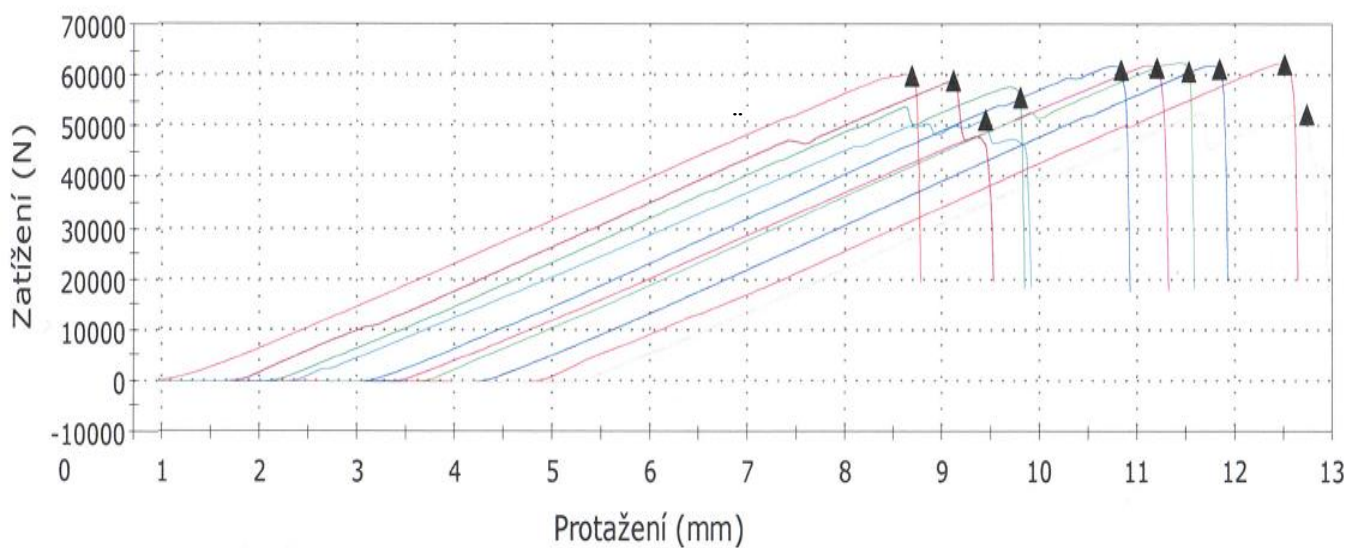
Δl ... prodloužení při přetržení [mm]

σ_{\max} ... maximální naměřené napětí v tahu zkušební vzorku [MPa]

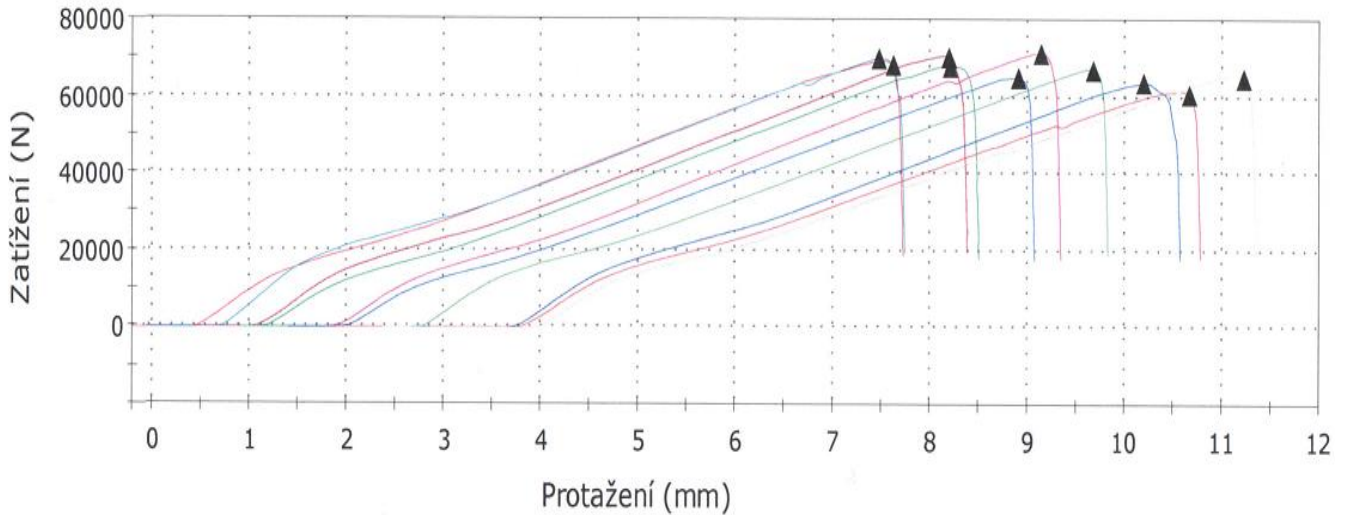
ε ... poměrné prodloužení při přetržení [%]

Tabulka 13 Naměřené parametry strojně navinutých bandáží

Číslo vzorku	F [N]	Δl [mm]	σ_{\max} [MPa]	ε [%]
1	68122	9,62	1224,3	4,02
2	70152	9,7	1260,8	4,04
3	67662	9,23	1216,1	3,86
4	69843	8,01	1255,3	3,34
5	64879	8,96	1166,0	3,74
6	71125	8,7	1278,3	3,62
7	66852	8,75	1201,5	3,66
8	63637	8,78	1143,7	3,66
9	60593	8,77	1089,0	3,66
10	64833	8,84	1165,2	3,68



Obrázek 65 Graf průběhu tahové křivky při testování ručně navinutých NOL-Ringů



Obrázek 66 Graf průběhu tahové křivky při testování strojně navíjených NOL-Ringů

16.5 Statistika naměřených dat

Tabulka 14 Statistika dat měření ruční metody navíjení

Ruční n=10	F [N]	Δl [mm]	σ_{\max} [MPa]	ε [%]
\bar{X}	58 498	8,783	985,46	3,66
s	3948	0,269	63,08	0,11
v	6,8	3,063	6,41	3,01

Tabulka 15 Statistika dat měření strojní metody navíjení

Strojní n=10	F [N]	Δl [mm]	σ_{\max} [MPa]	ε [%]
\bar{X}	66770	8,936	1200,0	3,73
s	3296	0,488	59,23	0,21
v	4,9	5,371	4,93	5,49

Legenda:

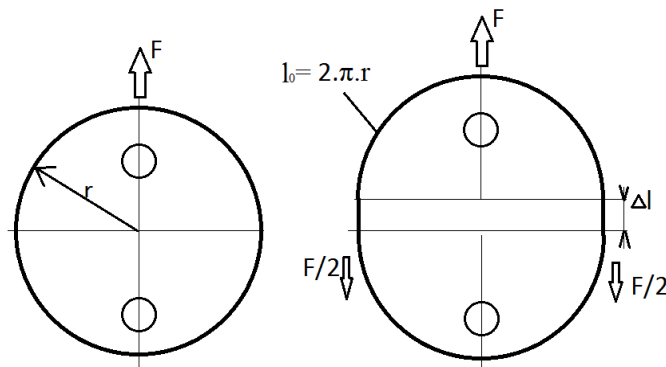
\bar{X} ... odhad aritmetického průměru

s... směrodatná odchylka

v... variační koeficient

Výpočet poměrného prodloužení

Vzhledem k tomu, že při zkoušce je vlivem působící síly rovnoměrně prodlužována celá délka, respektive obvod NOL-Ringu a čelisti trhacího zařízení se pohybují přímočaře, je nutno přepočítat poměrné prodloužení ε [%] na dvojnásobnou hodnotu. Viz schéma a výpočet níže.



Obrázek 67 Schéma principu vyhodnocení tahové zkoušky NOL-Ringů

$$\sigma_{max} = \frac{F}{2.S} \quad (23)$$

Kde:

σ_{max} ... maximální naměřené napětí v tahu zkušební vzorku [MPa]

F... maximální dosažená síla při přetržení [N]

S... průřez vzorku NOL-Ringu

Potom tedy v případě poměrného prodloužení platí:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{2.\pi.r + 2.\Delta l - 2.\pi.r}{2.\pi.r} \quad (24)$$

Po úpravě pak tedy:

$$\varepsilon = \frac{2.\Delta l}{l_0} = \frac{2.\Delta l}{2.\pi.r} \quad (25)$$

Kde:

ε ... poměrné prodloužení [%]

Δl ... absolutní prodloužení vzorku [mm]

l_0 ... počáteční délka vzorku

π ... Rudolfovo číslo [rad]

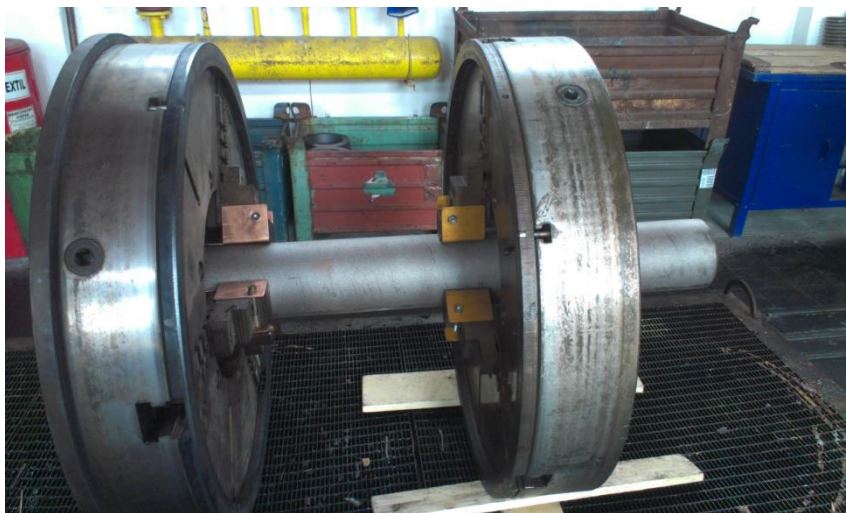
r... poloměr střednice vzorku

17 VÝROBA A TESTOVÁNÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ BANDÁŽÍ Z PÁSEK POLYGLAS® V PŘÍČNÉM SMĚRU

Výrobce pásek Polyglas® v technických specifikacích neudává mechanické vlastnosti bandážovacích pásek v příčném směru.

Odborná literatura říká, že pevnost v příčném směru jednosměrně vyztužených kompozitních materiálů je menší, než vlastní pevnost samotné matrice tohoto kompozitního materiálu. Pevnost čisté nevyztužené polyesterové pryskyřice v tahu je podle odborné literatury okolo 50 MPa.

Pro zjištění těchto parametrů bylo nutné provést strojní navinutí bandáže. Pro tento test byla provedena strojní bandáž na kruhové tyči o průměru 180 mm v délce 300 mm páskou Polyglas® H200 o šířce 20 mm.



Obrázek 68 *Upnutí tyče do sklíčidel*

Bylo potřeba upnout tyč do sklíčidel, jedno sklíčidlo slouží jako hnací, druhé slouží jako závaží, z důvodu použití pásky o šířce 20 mm a předpětí téměř 1500 N, které by mohlo vytrhnout tyč z podpěr.

Takto upnutá tyč byla předehřátá na teplotu 100 °C a upnuta do bandážovacího stroje.

Pod bandáž byla vložena separační fólie, aby nedošlo k zatečení pryskyřice do pórů tyče a tím se znesnadnilo její vyjímání po vytvrzení.



Obrázek 69 Navíjení pásky na separační fólii.

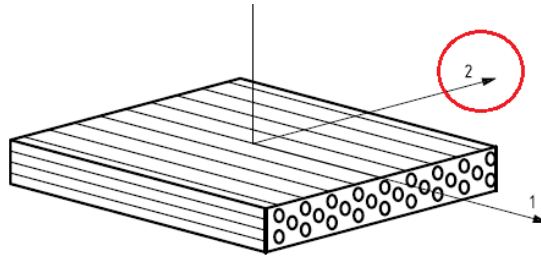
Počet vrstev pásky byl stanoven na 4 vrstvy s polovičním překrytím. Vycházela tedy rovnoměrná vrstva bandáže s počtem 8 vrstev.



Obrázek 70 Navinutá bandáž

Takto navinutá bandáž se vytvrzovala v peci při teplotě 135 °C po dobu 13 hodin. Při vytvrzovacím procesu se ve výztuži uvolňuje napětí, jehož hodnota však podle technického listu klesne maximálně o 40% oproti napětí při navíjení. Lze tedy předpokládat, že se tímto vlivem také rovnoměrně uvolní i vlákna v bandáži a vznikne monolit.

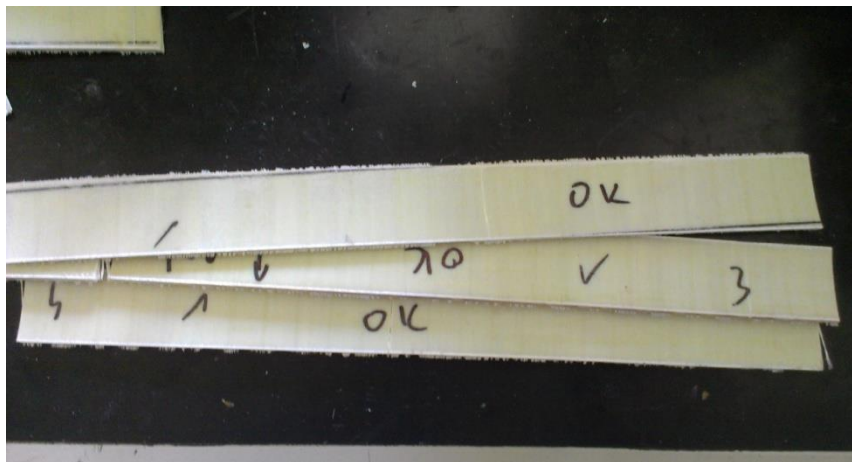
Po vytvrzení bandáže následovalo sejmutí a nařezání zkušebních tělísek podle normy ČSN ISO 527-5 Plasty - stanovení tahových vlastností.



Obrázek 71 Test mechanických vlastností v příčném směru dle normy ISO 527-5

Pro tuto zkoušku bylo vyrobeno 10 tělísek o rozměrech 250 mm – 25 mm tloušťky 2 mm.

Testování bylo prováděno na zkušebním trhačím zařízení Zwick 1456 v laboratořích Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Každý zkoušený vzorek je vyhodnocen do tabulky. Vyhodnocení zkoušky je prováděno pomocí programu TestXpert.



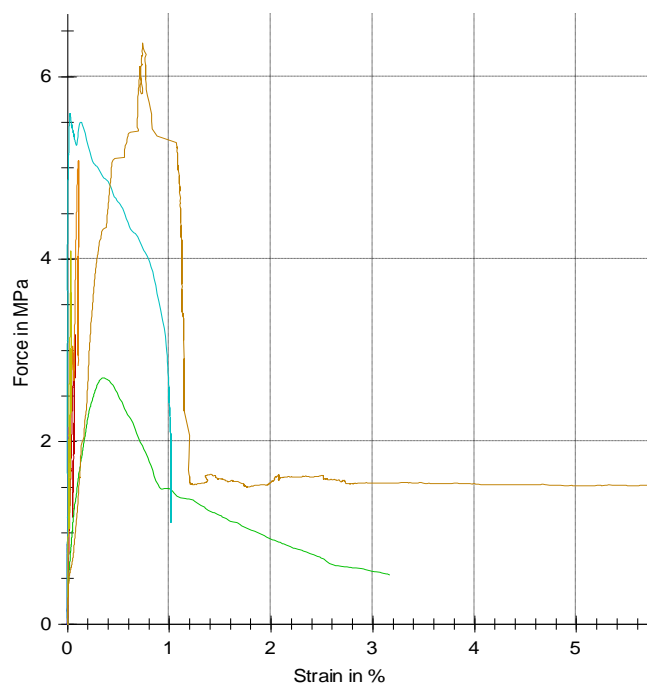
Obrázek 72 Zkušební tělíska bandáže v příčném směru vláken

Rozměry: a_0 – tloušťka a b_0 – šířka měřeného tělíska. Maximální naměřené napětí v tahu σ_m , prodloužení při přetržení ϵ_{Break} .

Teplota při zkoušení: 20 °C

Tabulka 16 Naměřené hodnoty zkoušky bandáží v příčném směru

číslo měření	a ₀ [mm]	b ₀ [mm]	σ _m [MPa]	ε _{Break.} [%]
1	2,1	24,8	3,17	0,1
2	2,0	24,5	2,70	0,3
3	2,3	24,1	2,41	0,1
4	2,0	24,6	5,08	0,2
5	2,1	24,5	2,61	0,1
6	2,3	24,9	5,59	0,2
7	2,3	25	4,09	0,1
8	2,1	24,6	3,65	0,2
9	2,0	24,3	2,83	0,2
10	2,3	24	3,31	0,1



Obrázek 73 Graf hodnot ze zkoušky bandáží v příčném směru

17.1 Statistika naměřených dat

Tabulka 17 Statistika dat měření tahu v příčném směru vláken

Příčný směr n=10	a ₀ [mm]	b ₀ [mm]	σ _m [MPa]	ε _{Break} [%]
\bar{X}	2,15	24,53	3,54	0,16
s	0,14	0,33	1,08	0,07
v	6,51	1,34	30,5	43,75

Legenda:

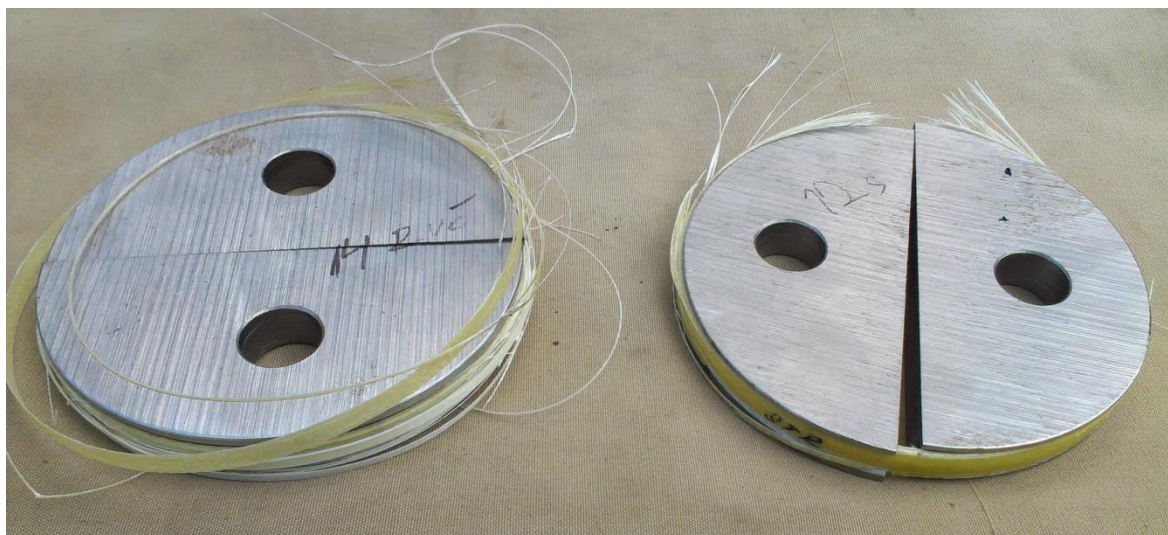
\bar{X} ... odhad aritmetického průměru

s... směrodatná odchylka

v... variační koeficient

18 ZÁVĚREČNÉ SHRnutí

Již v průběhu zkoušky bylo patrné odlišné chování materiálu při destrukci. Zatímco bandáž navíjená strojně zůstala kromě místa porušení celistvá, při zkoušení ručně navinutých vzorků docházelo ve všech případech ke značné delaminaci vrstev pásky.



Obrázek 74 Vlevo ručně navíjený NOL-Ring po destrukci; vpravo strojně navíjený

Při strojním navíjení dochází vlivem předpětí k dostatečnému lisovacímu tlaku jedné vrstvy pásky na druhou. Předpětí má velmi pozitivní vliv z hlediska vytlačování vzduchových bublin mezi jednotlivými vrstvami. Tyto vrstvy se pak, díky dokonalému přilnutí na sebe, při vytvrzování spojí v jeden kompaktní celek a pryskyřice obklopí vyztužující vlákna po celé ploše.

U ručně navíjených NOL-Ringů, vlivem nestejněměrné přitlačné síly lidské ruky, dochází patrně k částečnému uzavření vzduchových bublin mezi jednotlivými vrstvami pásky (lamin). Tyto bubliny zůstanou při tepelném zpracování (vytvrzení) uzavřeny v okolí vyztužujících vláken a nedojde tak k dokonalému kompaktnímu propojení vlákna s pryskyřicí. Tomuto jevu také přisuzují delaminaci jednotlivých vrstev v takové míře, jakou je možno vidět na následujícím obrázku. Jedná se o kroužky sejmuté z přípravku. Vlevo ručně navíjený, vpravo strojně navíjený.



Obrázek 75 Vlevo ručně navíjený NOL-Ring; vpravo strojně navíjený

Výsledky tahové zkoušky NOL-Ringů vypovídají, že v případě použití strojní metody výroby bandáží lze dosáhnout mechanických vlastností, které zaručuje výrobce pásek Polyglas®. Musí však být dodržen technologický postup při výrobě. Důležitou roli hraje také teplota povrchu tělesa při navíjení bandáží. Vlivem teploty a tlaku se pryskyřice v prepregu stává tekutou a tím se zabezpečuje vytlačení vzduchu.

Testováním bylo zjištěno, že strojně vyráběná bandáž disponuje maximální pevností v tahu 1200 MPa. Tato hodnota potvrzuje parametry udávané výrobcem pásek Polyglas®, který v technickém listu pro typ pásek Polyglas® H200 garantuje zaručenou pevnost v tahu po vytvrzení 1100 až 1300 MPa.

V případě ručně navíjené bandáže byla naměřená hodnota pevnosti v tahu 984,46 MPa. Předpokládaná příčina poklesu tahové pevnosti o téměř 216 MPa je způsobena technologií výroby. Jak již bylo výše popsáno, hlavním z důvodů je nedefinovaná utahovací síla předpětí, kterou páska při aplikaci vyžaduje z důvodu vytlačení vzduchových bublin mezi vrstvami a tímto znemožnění synergického efektu, který je materiál schopen vytvořit.

Hodnota poměrného prodloužení vyšla v obou případech takřka totožná. Hodnota ručně navíjené bandáže 3,66 % a 3,73 % v případě strojně navíjené bandáže. V porovnání s údaji, udávaných výrobcem v technickém listu, podle kterého páska Polyglas® H200 disponuje poměrným prodloužením ε 1,6 %, je naměřená hodnota poměrného prodloužení NOL-Ringů po přepočítání více, než dvojnásobná. S ohledem na typ zkoušky lze předpo-

kládat, že v místech radiálního namáhání mohlo dojít k určité deformaci a posunutí středního poloměru zakřivení. Pro ověření hodnoty poměrného prodloužení by byla nejvhodnější zkušební metoda testování rovných tělísek ve tvaru tyčinky, upnuté do čelistí trhacího stroje. Takto vyrobitelné zkušební tělíska se skladbou deseti vrstev pásky se stejným předpětím je však z technologického hlediska velmi složitá.

V případě testování tahových vlastností na vzorcích v příčném směru bylo vyhodnoceno výsledné napětí pouhých 3,54 MPa. Materiál tedy nesmí být namáhán napětím ve směru kolmém na směr vláken.

ZÁVĚREČNÉ SHRNUÍ A DOPORUČENÍ PRO VÝROBU

Testováním bylo zjištěno, že za použití vhodné technologie je páska Polyglas® H200 schopna v tahu přenést napětí s hodnotou 1200 MPa. Jedná se o strojně navíjenou bandáž s definovaným konstantním předpětím. Bandáž navíjená ručně vykazuje pokles napětí v tahu oproti strojní o téměř 216 MPa. Proto bych doporučoval zaměřit se na provádění bandáží s definovaným předpětím.

V případě hodnoty poměrného prodloužení vykazala bandáž při zkoušce dvojnásobek hodnoty udávané výrobcem. Tento faktor by mohl při použití v praxi způsobit komplikace při konstruování elektrických strojů. Je potřeba brát v potaz, že mezery mezi rotorovými částmi, na které působí odstředivá síla a částmi statickými, jsou v některých případech velmi malé. Pokud by došlo k takovému případu a konstruktér počítal s deformací bandáže, kterou udává výrobce, mohly by být následky při provozu stroje velmi negativní. V případě používání pásek Polyglas® H200, bych proto doporučoval společnosti TES Vsetín nadále se věnovat studii mechanického chování těchto materiálů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KONEČNÁ, Eva a Aleš RICHTER.: *ELEKTRICKÉ STROJE: Učební texty. Technická univerzita v Liberci*. [online]. 2000 [cit. 2014-04-03]. Dostupné na WWW:
< http://www.mti.tul.cz/files/evc/El_Str1_h.pdf>
- [2] Electric-history.com/ [online]. 2014 [cit. 2014-04-7] *Electric generator*
Dostupné na WWW:
<<http://www.electric-history.com/~zero/005-Electricity.htm>>
- [3] HOLBA, J, J ŘÍHA a K KOČMAN. *ELEKTRICKÉ STROJE A PŘÍSTROJE*. 1. vyd. Bratislava: Vydavatelství Alfa, 1991. ISBN 80-05-00997-6.
- [4] WIDERMANN, E a W KELLENBERGER. *KONSTRUKCE ELEKTRICKÝCH STROJŮ*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1973.
- [5] KOČMAN, K, J HOLBA, A IHLÁČ a R MRAVEC. *Elektrické stroje a přístroje I*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990. ISBN 80-03-00406-3.
- [6] KOPYLOV, I.P. *Stavba elektrických strojů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1988.
- [7] HRABOVCOVÁ, Valéria a Pavol RAFAJDUS. *ELEKTRICKÉ STROJE: Teória a príklady*. 1. vyd. Žilinská univerzita v Žilíně: EDIS, 2009. ISBN 978-80-554-0101-0
- [8] PETROV, G.N. *Elektrické stroje 2*. 1. vyd. Praha: Polygrafia, 1982. ISBN 509-21-857.
- [9] Stefanmichna.com [online]. 2014 [cit. 2014-03-23]. Technické materiály II- *Kompozitní materiály*. Dostupné na WWW:
http://www.stefanmichna.com/download/technicke-materialy_II/kompozitni_materialy.pdf
- [10] Rusnáková, Soňa: *Materiály z přednášek předmětu Vlastnosti kompozitních materiálů T8VKM; FT UTB*. 2013
- [11] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. Vydání 1. Nakladatelství SCIENTIA, 2009. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [12] JANČÁŘ, Josef. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. Vydání 1. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2003. ISBN 80-214-2443-5.

- [13] Kořínek, Z.: Kompozity [online]. 2014 [cit. 2012-03-23]. Dostupné na WWW:
<www.volny.cz/zkorinek/>
- [14] Kmi2.uniza.sk [online]. 2009 [cit. 2014-03-28] *Polymérne konštrukčné materiály*.
Dostupné na WWW:
<http://kmi2.uniza.sk/wp-content/uploads/2009/10/POLYMERY-Po-RECENZII.pdf>
- [15] PILČÍK, Přemysl. *Studium kompozitů s akrylátovou maticí*. Zlín, 2012. Dostupné z:
http://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/21584/pil%C4%8D%C3%ADk_2012_bp.pdf?sequence=1. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
Vedoucí práce doc.Ing.Soňa Rusnáková, Ph.D.
- [16] Tradeindia.com [online]. 201 [cit. 2014-04-2] *Glass roving*.
Dostupné na WWW:
<<http://www.tradeindia.com/fp379933/Coated-Glass-Roving.html>>
- [17] Tes.cz / [online]. 2014 [cit. 2014-04-7] *Synchronní generátor*
Dostupné na WWW:
<http://www.tes.cz/tem/generatory-synchronni/>
- [18] <http://aviationmiscmanuals.tpub.com/> [online]. 2014 [cit. 2014-04-15] *Delamination*
Dostupné na WWW:
<http://aviationmiscmanuals.tpub.com/TM-1-1500-204-23-1/css/TM-1-1500-204-23-1_181.htm>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

a_0	mm	tloušťka tělesa
b_0	mm	šířka tělesa
D	mm	průměr čepu
E	MPa	modul pružnosti v tahu
ε	-	poměrné prodloužení
F	N	síla
μ	-	poissonův poměr
GSH	-	generátor synchronní s hladkým rotorem
GSV	-	generátor synchronní s vyniklými póly
MAK	-	motor asynchronní s kotvou nakrátko
ITC	-	Institut pro testování a certifikaci Zlín
S	mm ²	plocha průřezu
τ	MPa	napětí ve smyku
τ_{dS}	MPa	dovolené napětí ve smyku

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 <i>Historický elektrický generátor</i> [2]	14
Obrázek 2. <i>Princip dynama s komutátorem</i> [3]	16
Obrázek 3. <i>Schéma stejnosměrného stroje</i> [6]	17
Obrázek 4 <i>Schéma dynama s cizím buzením</i> [3]	18
Obrázek 5 <i>Schéma dynama s derivačním buzením</i> [3]	19
Obrázek 6 <i>Schéma sériového dynama</i> [3]	19
Obrázek 7 <i>Schéma kompaundního dynama</i> [3]	20
Obrázek 8 <i>Princip práce stejnosměrného motoru</i> [3]	20
Obrázek 9 <i>Třífázový alternátor s vlastním buzením.</i>	23
Obrázek 10 <i>Rotor s vyniklými póly.</i> [5]	24
Obrázek 11 <i>Hladký rotor se dvěma póly.</i> [5]	25
Obrázek 12 <i>Motor nakrátko</i> [5]	27
Obrázek 13 <i>Třífázový kroužkový motor</i> [5]	29
Obrázek 14 <i>Schéma výroby skleněných vláken</i> [13]	36
Obrázek 15 <i>Roving skelného vlákna</i> [16]	36
Obrázek 16 <i>Trhliny v matrici v jednosměrně vyztužené struktuře kompozitu</i> [11]	40
Obrázek 17 <i>Znázornění hlavních os (o_x, o_y) ortotropního materiálu</i> [11]	41
Obrázek 18	41
Obrázek 19 <i>Změna geometrie průřezu při tahové zkoušce</i> [14]	43
Obrázek 20 <i>Průběh tahových křivek: a-efektivní napětí; b-smluvní napětí</i> [14]	44
Obrázek 21 <i>Synchronní generátor TES typ GSH</i> [17]	48
Obrázek 22 <i>Asynchronní generátor TES typ GAK</i> [17]	49
Obrázek 23 <i>Asynchronní motor TES typ MAK</i> [17]	50
Obrázek 24 <i>Výrobní divize TEC</i> [17]	50
Obrázek 25 <i>Výrobní divize TED</i> [17]	51
Obrázek 26 <i>Středisko automobilové techniky</i> [17]	52
Obrázek 27 <i>Páska Polyglas® v balení (200m)</i>	57
Obrázek 28 <i>Ruční bandáž čel vinutí šestipólového rotoru generátoru typu GSH</i>	61
Obrázek 29 <i>Strojově vyráběná bandáž rotoru budiče</i>	63
Obrázek 30 <i>Bandážovací stroj</i>	65
Obrázek 31 <i>Skličidlo pro upínání rotorů určených ke strojní bandáži</i>	65
Obrázek 32 <i>Vymodelovaná polovina tyče – výchozí polotovár pro svaření</i>	66

Obrázek 33 Model svařeného přípravku	66
Obrázek 34 Tyč opracovaná, určená k navíjení bandáží.....	67
Obrázek 35 Model tyče po navinutí bandáží – 15 ručních, 15 strojních	67
Obrázek 36 Model přípravku po rozřezání, určený k tahové zkoušce	68
Obrázek 37 Upínací přípravek pro uchycení bandáží do trhacího stroje	68
Obrázek 38 Upínací kostka s čepem pro uchycení nařezané bandážovací tyče	69
Obrázek 39 Čep zajištění tyče v přípravku	69
Obrázek 40 Střižná plocha čepu	70
Obrázek 41 Čep s podložkami	71
Obrázek 42 Sestava přípravku pro testování bandáží	71
Obrázek 43 Polotovary tlustého plechu	72
Obrázek 44 Hrubé opracování polotovaru	72
Obrázek 45 Svařený polotovar	73
Obrázek 46 Výroba děr	73
Obrázek 47 Soustružení přípravku	74
Obrázek 48 Soustružení zápichů	74
Obrázek 49 Upínací kostka	75
Obrázek 50 Předehřívání tyče v peci	76
Obrázek 51 Osazování přípravku k navinutí bandáží.....	76
Obrázek 52 Nastavení otáček a předpětí pomocí kalibrované brzdy	77
Obrázek 53 Navíjení strojní bandáže na přípravek	77
Obrázek 54 Zažehlení a přerušování pásky	78
Obrázek 55 Ilustrační obrázek delaminace vrstev [18]	78
Obrázek 56 Ruční navíjení bandáží	79
Obrázek 57 Vlevo strojní bandáž, vpravo ruční bandáž.....	79
Obrázek 58 Hotová navinutá ruční i strojní bandáž na přípravku.....	80
Obrázek 59 Vložení bandáží do vytvrzovací pece	80
Obrázek 60 Řezání kotoučů s bandáží	81
Obrázek 61 Nařezané kotouče, určené k odjehlení.....	81
Obrázek 62 Předpoklad roztržení bandáže.....	83
Obrázek 63 Ustavený přípravek na stroji	83
Obrázek 64 Bandáž po přetržení	84
Obrázek 65 Graf průběhu tahové křivky při testování ručně navíjených NOL-Ringů	86

Obrázek 66	<i>Graf průběhu tahové křivky při testování strojně navíjených NOL-Ringů</i>	87
Obrázek 67	<i>Schéma principu vyhodnocení tahové zkoušky NOL-Ringů</i>	88
Obrázek 68	<i>Upnutí tyče do sklíčidel</i>	89
Obrázek 69	<i>Navíjení pásky na separační fólii</i>	90
Obrázek 70	<i>Navinutá bandáž</i>	90
Obrázek 71	<i>Test mechanických vlastností v příčném směru dle normy ISO 527-5</i>	91
Obrázek 72	<i>Zkušební tělíska bandáže v příčném směru vláken</i>	91
Obrázek 73	<i>Graf hodnot ze zkoušky bandáží v příčném směru</i>	92
Obrázek 74	<i>Vlevo ručně navíjený NOL-Ring po destrukci; vpravo strojně navíjený</i>	94
Obrázek 75	<i>Vlevo ručně navíjený NOL-Ring; vpravo strojně navíjený</i>	95

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 <i>Srovnání vlastností různých druhů materiálů [10]</i>	33
Tabulka 2 <i>Doba zpracovatelnosti pásky, závislost času na teplotě vytvrzování.</i>	54
Tabulka 3 <i>Parametry pásky Polyglas® H200 v surovém stavu</i>	54
Tabulka 4 <i>Parametry pásky Polyglas® H200 vytvrzené</i>	54
Tabulka 5 <i>Mechanické vlastnosti pásky Polyglas® H200 vytvrzené</i>	55
Tabulka 6 <i>Mechanické vlastnosti pásky Polyglas® H200 vytvrzené</i>	55
Tabulka 7 <i>Specifikace pásek řady Polyglas® v surovém stavu</i>	56
Tabulka 8 <i>Specifikace pásek řady Polyglas® - po vytvrzení</i>	56
Tabulka 9 <i>Předpětí při navíjení pásky dané šířky</i>	59
Tabulka 10 <i>Skladovací teploty a trvanlivost skladování pásek</i>	59
Tabulka 11 <i>Tabulka vytvrzovacích časů v závislosti na teplotě</i>	60
Tabulka 12 <i>Naměřené parametry ručně navinutých bandáží</i>	85
Tabulka 13 <i>Naměřené parametry strojně navinutých bandáží</i>	86
Tabulka 14 <i>Statistika dat měření ruční metody navíjení</i>	87
Tabulka 15 <i>Statistika dat měření strojní metody navíjení</i>	87
Tabulka 16 <i>Naměřené hodnoty zkoušky bandáží v příčném směru</i>	92
Tabulka 17 <i>Statistika dat měření tahu v příčném směru vláken</i>	93

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: VÝKRES OPRACOVANÉ POLOVINY TYČE

PŘÍLOHA P II: VÝROBNÍ VÝKRES SVAŘENÉ TYČE

PŘÍLOHA P III: VÝROBNÍ VÝKRES OPRACOVANÉ TYČE

PŘÍLOHA P IV: VÝKRES POSTUPU NAVÍJENÍ

PŘÍLOHA P V: VÝROBNÍ VÝKRES UPÍNACÍ KOSTKY

PŘÍLOHA P VI: VÝROBNÍ VÝKRES ČEPU ZAJIŠTĚNÍ

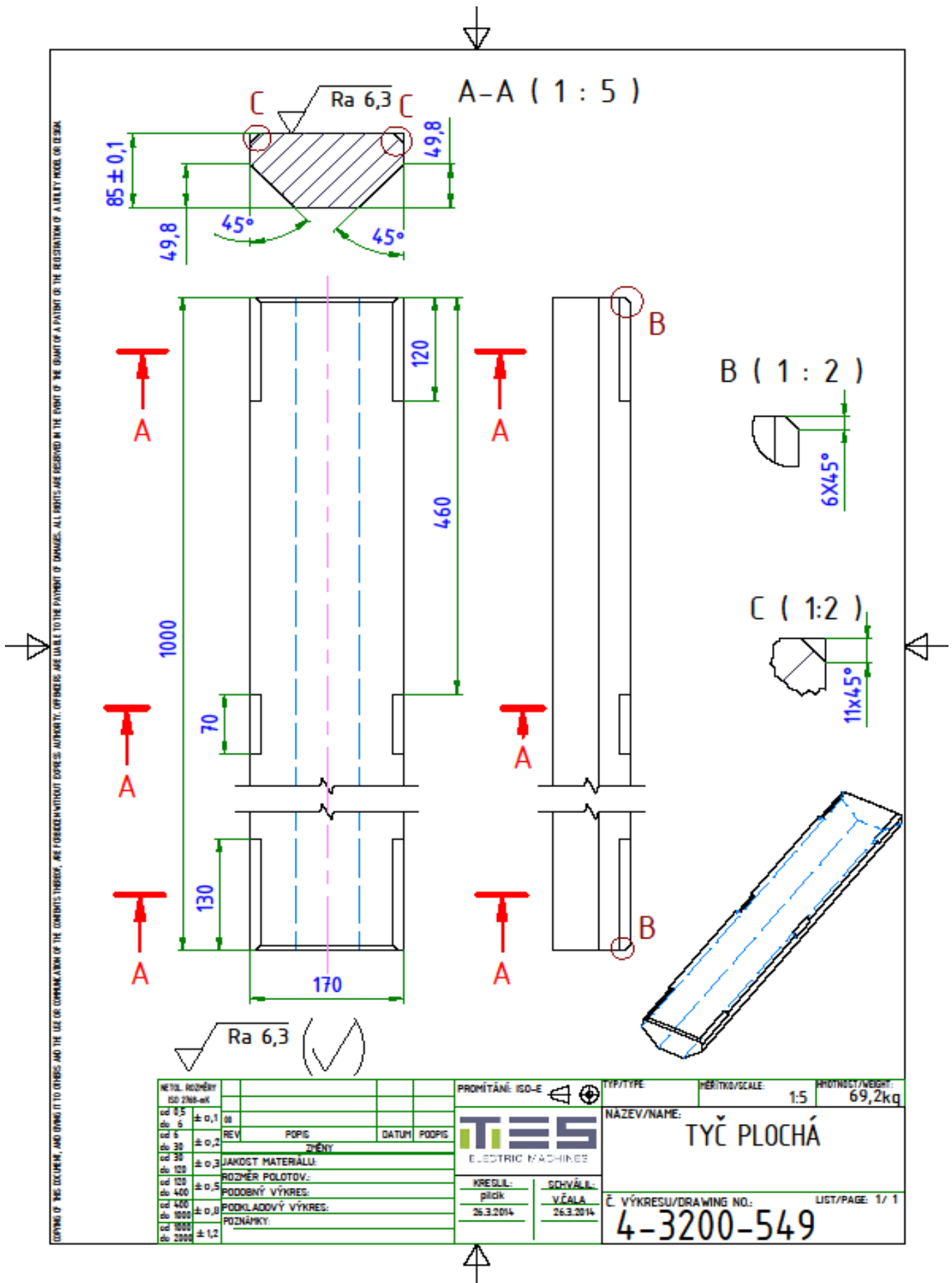
PŘÍLOHA P VII: VÝROBNÍ VÝKRES PODLOŽKY

PŘÍLOHA P VIII: TECHNICKÝ LIST POLYGLAS® H200

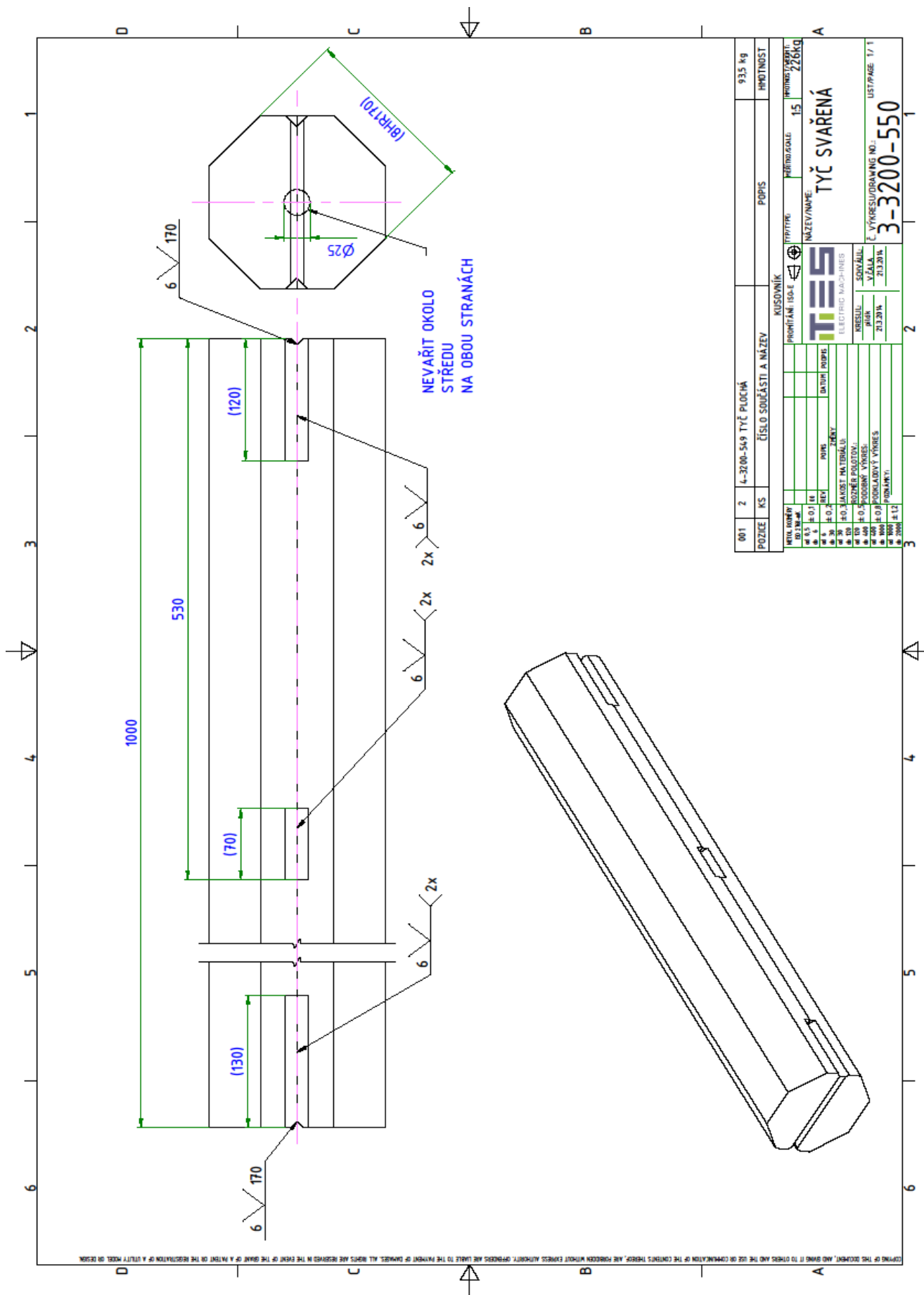
PŘÍLOHA P IX: VÝPOČET VRSTEV POLYGLAS®

PŘÍLOHA P X: KATALOGOVÝ LIST OCELI 11 523

PŘÍLOHA P I: VÝKRES OPRACOVANÉ POLOVINY TYČE



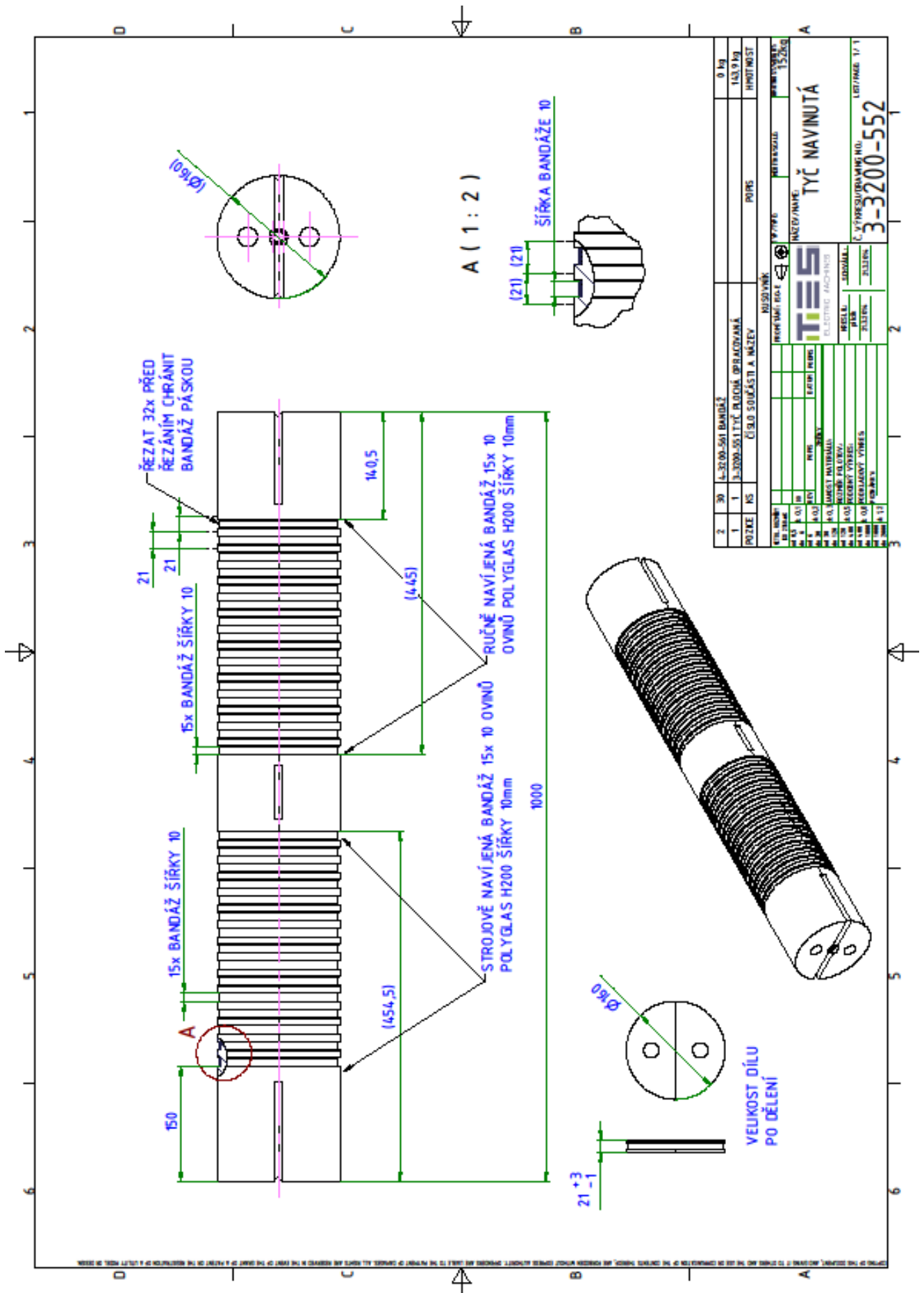
PŘÍLOHA P II: VÝROBNÍ VÝKRES SVAŘENÉ TYČE



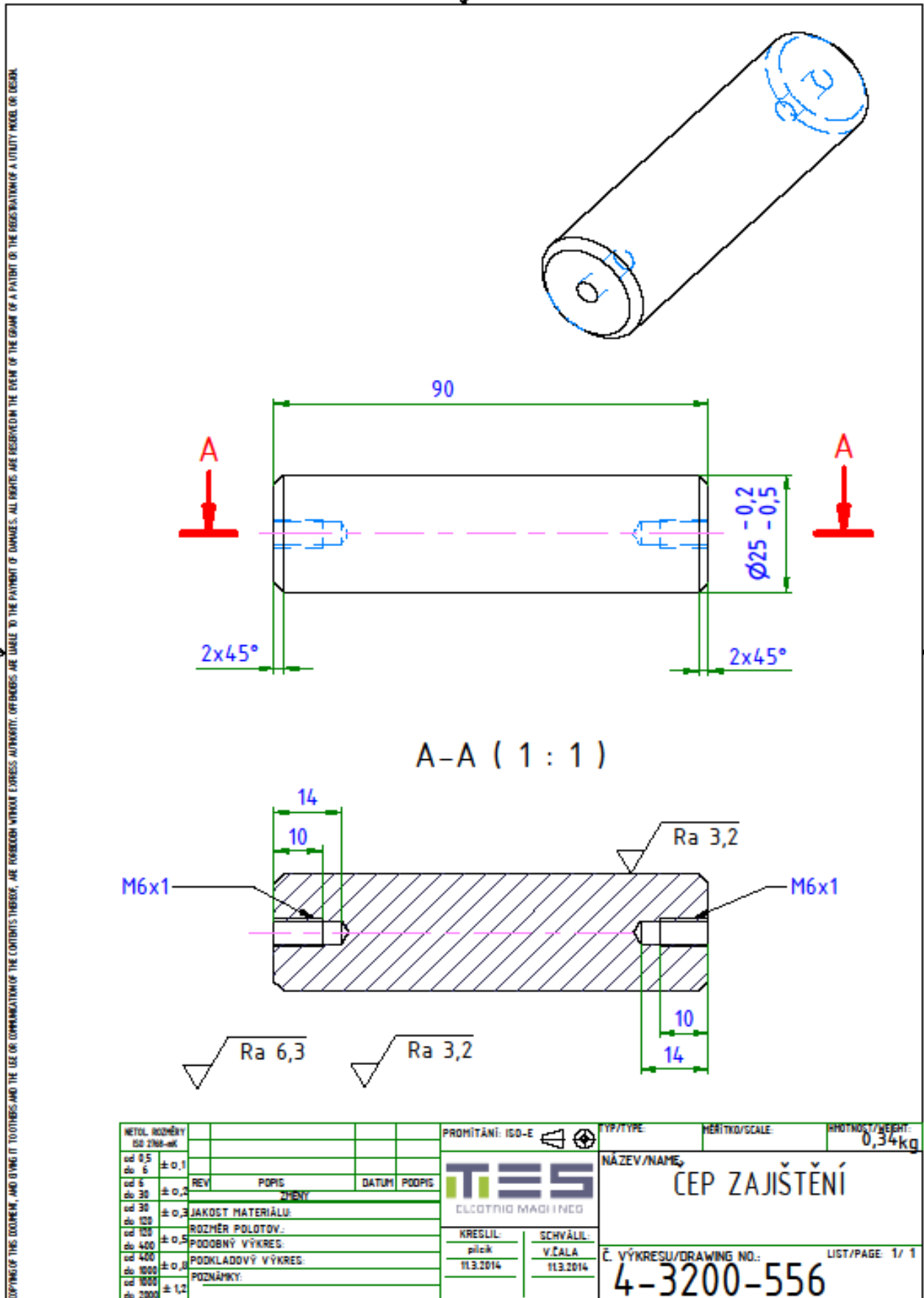
001	2	4-3200-549 TYČ PLOCHÁ	935 kg
POZICE	KS	ČÍSLO SOUČÁSTI A NÁZEV	POPIS
		01	01 KUSOVNÍK
		02	02 PROMĚTANÍ / ISAE
		03	03 NALEZEV/NAPE
		04	04 PRŮMĚR
		05	05 HĚRMA/LOUPE
		06	06 TVRZ
		07	07 SOVĚRÁČEK
		08	08 VÁLKA
		09	09 ZÁVĚS
		10	10 VÝKRESUJÍCÍ/DRÁŽKOVÁNÍ NO.
		11	11 LUST/PAGE
		12	12
		13	13
		14	14
		15	15
		16	16
		17	17
		18	18
		19	19
		20	20
		21	21
		22	22
		23	23
		24	24
		25	25
		26	26
		27	27
		28	28
		29	29
		30	30
		31	31
		32	32
		33	33
		34	34
		35	35
		36	36
		37	37
		38	38
		39	39
		40	40
		41	41
		42	42
		43	43
		44	44
		45	45
		46	46
		47	47
		48	48
		49	49
		50	50

COPIING OF THIS DOCUMENT, AND GIVING IT TO OTHERS, AND THE USE OR COMMUNICATION OF THE CONTENTS THEREOF, ARE FORBIDDEN WITHOUT EXPRESS AUTHORITY. OFFENDERS ARE LIABLE TO THE PATENT OR INVENTOR OR A UTILITY MODEL OR DESIGNER.

PŘÍLOHA P IV: VÝKRES POSTUPU NAVÍJENÍ



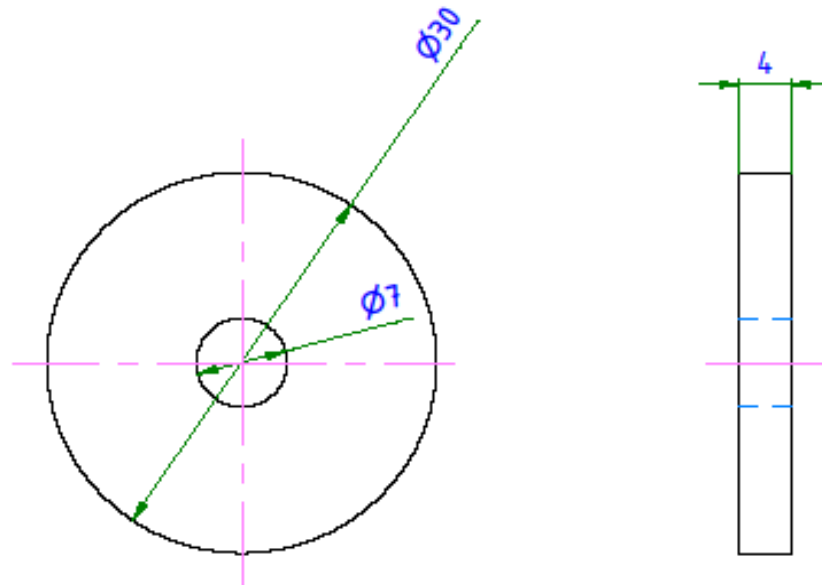
PŘÍLOHA P VI: VÝROBNÍ VÝKRES ČEPU ZAJIŠTĚNÍ



COPYING OF THIS DOCUMENT, AND USING IT TO OTHERS AND THE USE OR COMPARISON OF THE CONTENTS THEREOF, ARE FORBIDDEN WITHOUT EXPRESS AUTHORITY. OFFENDERS ARE LIABLE TO THE PAYMENT OF DAMAGES. ALL RIGHTS ARE RESERVED ON THE PART OF THE BOARD OF A PATENT OR THE REGISTRAR OF A UTILITY MODEL OR DESIGN.

NETO DIMENZE ISO 2768-ak		PROMÍTÁNÍ: ISO-E		VÝP/TYPE		MĚŘITKO/SCALE		HROTNOST/WEIGHT: 0,34kg	
od 0,5 do 5	± 0,1			 ELCCOTTIO MAGINECO		NÁZEV/NAME: ČEP ZAJIŠTĚNÍ			
od 5 do 30	± 0,2	REV	PODPIS			DATUM	PODPIS		
od 30 do 120	± 0,3	ZEMĚN				Č. VÝKRESU/DRAWING NO.: 4-3200-556			
od 120 do 400	± 0,5	JAKOST MATERIÁLU:				LIST/PAGE: 1 / 1			
od 400 do 1000	± 0,8	ROZMĚR POLOTOV:				KRESLIL: přlč		SCHVÁLIL: V.ŽALA	
od 1000 do 2000	± 1,2	PODOBŇNÝ VÝKRES:				11.3.2014		11.3.2014	
		PODKLADOVÝ VÝKRES:							
		POZNÁMKY:							

PŘÍLOHA P VII: VÝROBNÍ VÝKRES PODLOŽKY



$Ra\ 12,6$

COPYING OF THIS DOCUMENT, AND GIVING IT TO OTHERS, AND THE USE OR COMMUNICATION OF THE CONTENTS THEREOF, ARE FORBIDDEN WITHOUT EXPRESS AUTHORITY. OFFENDERS ARE LIABLE TO THE PAYMENT OF DAMAGES. ALL RIGHTS ARE RESERVED TO THE OWNER OF THE GRANT OF A PATENT OF THE REGISTRATION OF A UTILITY MODEL OR DESIGN.

NETUL ROZMĚRY ISO 2768-mS		PROHÍTÁNÍ: ISO-E		TYP/TYPE:	MĚŘITVO/SCALE:	PROTNOST/WEIGHT:
od 0,5	± 0,1	SN			2:1	0,1kg
do 6		REV	POPIS	NÁZEV/NAME:		
od 6	± 0,2	ZMĚNY		PODLOZKA		
do 30		JAKOST MATERIÁLU:		Č. VÝKRESU/DRAWING NO.: 4-3200-557		
od 30	± 0,3	ROZMĚR POLOTOV:				
do 120		PODOBŇÝ VÝKRES:		LIST/PAGE 1/ 1		
od 120	± 0,5	PODKLADOVÝ VÝKRES:		KRESLIL:		
do 400		POZNÁMKY:		SCHVÁLIL:		
od 400	± 0,8			V.ČALA		
do 1000				11.3.2014		
od 1000	± 1,2			11.3.2014		
do 2000						



PŘÍLOHA P VIII: TECHNICKÝ LIST POLYGLAS® H200

Silent-Czech spol. s r.o. • Poličná 462 • 757 01 Valašské Meziříčí • Czech Republic
tel.: +420 571 611 732 • fax: +420 571 620 639 • e-mail: post@silent-czech.cz
• www.silent-czech.cz • www.davkovace.com



SILENT-CZECH

Polyglas® H200 Bandážovací páska



Tepelná třída 200, odolná proti vlhkosti

Obecně

Bandážovací páska Polyglas H200 se skládá z podélných skleněných vláken, které jsou před-impregnovány speciální termosetickou polyesterovou pryskyřicí. Pryskyřice byla vyvinuta pro použití materiálu při vysokých teplotách. K hlavním vlastnostem materiálu Polyglas H200 patří vysoká tepelná odolnost (200° C) a vysoká odolnost proti vlhkosti.

Použití bandážovacích pásek Polyglas H200 přináší další výhody ve srovnání s bandážemi, které jsou vyrobeny z ocelového drátu:

- nedochází ke vzniku vířivých proudů a tím k místnímu přehřátí bandáže a izolačních materiálů pod bandáží
- nedochází k roztržení bandáže jako u ocelového drátu při dosažení meze únavy
- páska je elektroizolační, nedochází k přeskokům mezi vinutím a ocelovou bandáží
- dochází k úspoře izolačních materiálů, protože páska má vynikající izolační vlastnosti
- dochází k úspoře ostatních použitých materiálů
- doba bandážování se zkracuje a tím dochází i k úspoře výrobních časů

Použití

Kvalita materiálu Polyglas H200 a jeho jednoduché zpracování (platí pro všechny typy materiálu Polyglas) umožňují univerzální použití pro všechny druhy motorů, zejména pro trakční motory v tepelné třídě H a obecně pro všechny motory, které pracují ve ztížených podmínkách při vysoké teplotě a vysoké vlhkosti.

Zpracování

Ke zpracování pásky a zajištění předpětí pásky při navíjení (bandážování) by mělo být použito vhodné bandážovací zařízení (dodává také Von Roll Isola). Přednostně se páska při bandážování navíjí na přehřátý rotor nebo se přehřívá páska infračervenou lampou. Při zpracování pásky touto metodou za tepla si vyrobená bandáž zachovává zbytkové napětí (napnutí) asi 60 % z napětí (předpětí), při kterém byla navíjena. Po navinutí předepsaného počtu poloh se zajistí (zažehlí) konec pásky a navinutá bandáž se vytvrzuje při teplotě a po dobu podle následující tabulky (navíc je nutno připočítat dobu, která je potřebná k ohřevu stroje na požadovanou teplotu).

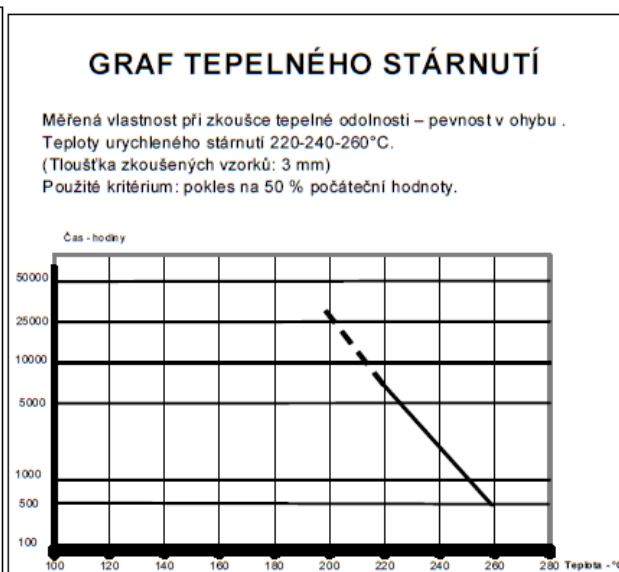
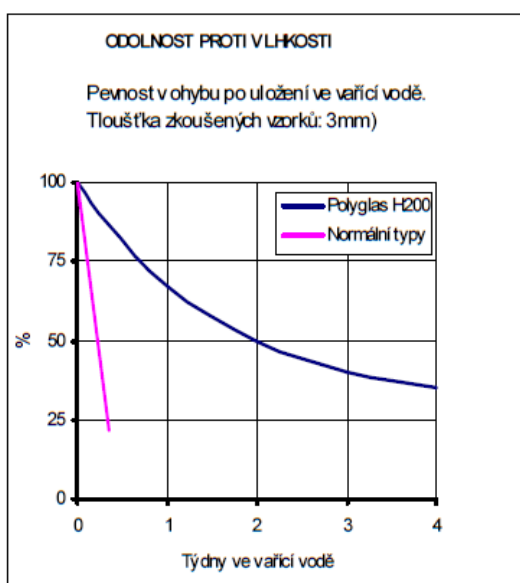
Doba	hodina	2,5	3	5	14	20
Teplota	°C	160	150	135	120	115

Vlastnosti v dodaném stavu

Tloušťka	mm	0,30
Hmotnost pásky délky 100 m a šířky 10 mm	kg	cca 0,56
Obsah pryskyřice	hm. %	26 ± 2
Počet vláken na šířku 1 cm	-	30 ± 1
Tolerance šířky pásky	%	± 10
Pevnost v tahu	N/cm	2000
Nejvyšší předpětí při aplikaci	N/cm	1000

Vlastnosti po zpracování a vytvrzení

Tepelná třída	°C	200	
Tloušťka	mm	cca 0,25	
Pevnost v tahu: - vztaženo na jednu vrstvu pásky měřeno při 20°C	N/cm	2500	
	měřeno při 180°C	N/cm	1800
- vztaženo na průřez bandáže	měřeno při 20°C	N/mm ²	1100-1300
	měřeno při 180°C	N/mm ²	900-1000
- vztaženo na průřez skla	měřeno při 20°C	N/mm ²	1700-1900
Prodloužení při přetržení:	měřeno při 20°C	%	1,6
	měřeno při 200°C	%	2,0
Modul pružnosti: - vztaženo na průřez bandáže	měřeno při 20°C	N/mm ²	60000
	měřeno při 180°C	N/mm ²	50000
Odolnost proti elektrickému oblouku (ASTM D-495)	s	180	
Odolnost proti vlhkosti		viz graf	



Teplotní index
5000 hodin = 224°C (měřeno)
20000 hodin = 204°C (extrapolováno)

Polyglas H200 splňuje požadavky typu B na pevnost v tahu a hmotnostní úbytky podle norem MIL-I-24178 (SHIP'S 25.3.66).

Skladování a skladovatelnost

Bandážovací páska se skladuje v originálních obalech na chladném místě. Skladovatelnost je dána teplotou skladování tak, jak je uvedeno v následující tabulce:

Teplota	°C	10	15	20	30
Skladovatelnost	měsíc	24	18	12	8

Pokud se páska skladuje při nižší teplotě než je teplota okolí, doporučuje se, aby před použitím byla přemístěna do prostředí s teplotou okolí, například den před použitím, a to v původním, polyethylenovém obalu, aby nedošlo ke kondenzaci vody na jejím povrchu.

Způsob dodání

Bandážovací páska se dodává v polyethylenových obalech, které by měly být otevřeny před použitím. Páska se dodává v následujících typech balení:

- balení typu A - na ploché cívce s plastovou dušičkou o vnitřním průměrem 83 mm
- balení typu B - na špulce o průměru 151,5 mm a délce 174 mm
- balení typu C - na velké špulce o průměru 290 mm a délce 270 ± 2 mm

Balení bandážovací pásky Polyglas H200:

Šířka pásky	mm	10	15	20	20	25	25	30
Typ balení	-	B	B	A	C	A	C	A
Délka	m	750	500	200	1800	200	1500	200
Čistá hmotnost	kg	4,2	4,2	2,3	21	2,8	21	3,4

Pozn. Další šířky 6 - 8 - 12,5 - 38 - 51 mm a role kratší než 200 m nejméně však 50 m je možné dodat na objednávku. SILENT-CZECH dodává standardně bandážovací pásky POLYGLAS v balení po 100m.

PŘÍLOHA P IX: VÝPOČET VRSTEV POLYGLAS®

Silent-Czech spol. s r.o. • Paličná 462 • 757 01 Valašské Meziříčí • Czech Republic
tel.: +420 571 611 732 • fax: +420 571 620 639 • e-mail: post@silent-czech.cz
• www.silent-czech.cz

POLYGLAS

Výpočet vrstev materiálu



SILENT-CZECH



Bandážovací páska Polyglas pro bandážování rotorů.

Stanovení tangenciální síly F , kterou musí bandáž vydržet, se provede podle následujícího vzorce:

$$F \text{ (kg)} = \frac{P \times R \times N^2}{5,6 \times 10^6}$$

Kde:

P = hmotnost vinutí v kg, které je vystavené odstředivé síle. Standardně se jedná pouze o hmotnost čel vinutí rotoru

R = maximální vzdálenost v mm mezi vinutím a osou rotace

N = počet otáček rotoru za minutu při maximální rychlosti rotoru

Počet vrstev Polyglasu se získá z následujícího vzorce:

$$N = \frac{F \times K_s}{C \times L}$$

Kde:

F = síla v kg vypočtena podle předchozího výpočtu

K_s = používaný bezpečnostní faktor (např. $K_s=5$)

C = pevnost v tahu pásky Polyglas v kg/cm, po vytvrzení, při provozní teplotě (viz. katalogový list)

L = šířka Polyglasu v cm

PŘÍLOHA P X: KATALOGOVÝ LIST OCELI 11 523

ČSN 11523 – konstrukční ocel



1. Orientační srovnání se zahraničními normami

DIN	EN 10027-1	EN 10027-2	EN 10025:90	GOST
St52-3	S35530	1.0553	Fe510C1	17GS

2. Chemické složení (rozbor tavby) v %

C	Mn	Si	P	S	N	Al
max. 0,200	max. 1,800	max. 0,550	max. 0,050	max. 0,045		max. 0,015

3. Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti	Provedení	
	tepelně nezpracované	normalizačně žíhané
Pevnost v tahu R_m [MPa]		510 - 680
Mez kluzu R_e [MPa]		min. 355
Tažnost A_{10} [%]		min. 22

4. Charakteristika oceli a příklady použití

Mostní a jiné svařované konstrukce, součásti strojů, automobilů, motocyklů a jízdních kol. Součásti tepelných energetických zařízení a tlakových nádob.