

## METODIKA ZPRACOVÁNÍ STL MODELU TURBÍNOVÉ LOPATKY SVOČ – FST 2019

Bc. Vojtěch Zdichynec  
Západočeská univerzita v Plzni,  
Univerzitní 8, 306 14 Plzeň  
Česká republika

### ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá zpracováním naskenované lopatky. Vstupní data pro zpracování jsou ve formátu .STL. Hlavním cílem práce je vytvoření výrobní dokumentace. Výrobní dokumentace se skládá zrekonstruovaného 3D modelu a 2D výkresu. 3D model bude splňovat geometrickou shodu v toleranci +/- 0,2 mm na nožce lopatky a +/- 2 mm na listu lopatky. Dále se práce zabývá technologičností lopatky. Zhodnocením geometrie lopatky z hlediska obrábění. Návrhem obráběcích strojů a nástrojů k výrobě lopatky.

### KLÍČOVÁ SLOVA

Reverzní inženýrství, GOM, CAD, DSE, QSR, Catia VR26, výkresová dokumentace, Parní turbína, Turbinová lopatka, STL

### ÚVOD

Vliv konkurence určuje směr dnešní doby. Neustálé zvyšování požadavků na kvalitu, časovou náročnost nebo cenu v oblasti strojírenství přispívá ke zdokonalování a posouvání možností. Ve strojírenství je pro firmy jedním z důležitých faktorů, a většinou i tím nejdůležitějším, zisk. To vede majitele a jednatele firem k minimalizaci nákladů, zdokonalování procesu, aby byli co nejefektivnější a zavádění nových technologií, postupů a procesů. Jedním z těchto nových procesů je reverzní inženýrství zkráceně RE. Je to označení pro proces, jehož cílem je odhalit princip fungování zkoumaného předmětu. Může se jednat o mechanické zařízení a jeho části nebo počítačový program. Předmět se zkoumá většinou za účelem sestavení stejného nebo podobně fungujícího předmětu bez znalosti jeho výrobní dokumentace. Pro tuto diplomovou práci jsem dostal k dispozici STL modely oběžné turbínové lopatky. Tyto STL modely použiju pro reverzní inženýrství a vytvořím pomocí nich výkresovou dokumentaci potřebnou pro výrobu geometricky shodných turbínových lopatek.



Obrázek č. 1 - STL model lopatky <sup>[1]</sup>

### STANOVENÍ CÍLŮ ŘEŠENÍ

Cílem mé diplomové práce je popsání metod reverzního inženýrství. Jak pomocí těchto metod zpracovávat STL modely turbínové lopatky. Výběr optimální metody reverzního inženýrství a pomocí této metody zrekonstruovat turbínovou lopatku. Vytvořit 3D model lopatky a její výkresovou dokumentaci pro další zpracování v CAM softwaru. 3D model bych rád, zrekonstruoval s přesností +/- 0,2 mm na nožce lopatky a +/- 2 mm na listu. Tolerance na listu lopatky je tak velká z důvodu opotřebení lopatek na náběžné a obtokové hraně. Následně navrhnu polotovary a materiál pro případnou výrobu lopatky. Návrh výrobních strojů a v neposlední řadě ekonomické zhodnocení celého projektu.

Naskenovaným lopatkám musím vytvořit souřadný systém, který pak budu importovat do programu Catia a Geomagic. Nejprve tedy lopatky ustavím do souřadného systému. Následně budu zkoumat jaká metoda rekonstrukce pro takto tvarovanou plochu bude nejvhodnější. Na výběr mám z několika metod. Metoda řezu a metoda obalové plochy. Nejprve se pokosím o tyto dvě metody v Catii V5R26 a pak i v Geomagicu design X. Hlavním cílem této práce je popsat, jak efektivně zrekonstruovat stl model na objemový v CAD. Bude se tedy jednat o geometrickou rekonstrukci.

Realizovaný model bude s přesností +/- 0,2 mm na nožce lopatky a +/- 2 mm na listu. Když bude 3D model dokončen budu se moct přesunout k tvorbě výkresové dokumentace, která bude přílohou této práce. Pak se přesunu k popisu technologičnosti lopatky. Zhodnotím zrekonstruované plochy z hlediska obrábění a navrhnu případnou optimalizaci 3D modelu. Dále popíšu materiál a polotovar ze kterého bude lopatka vyrobena. Navrhnu obráběcí stroj na, kterém se lopatky budou případně vyrábět.

## STÁVAJÍCÍ STAV OBĚŽNÉ LOPATKY

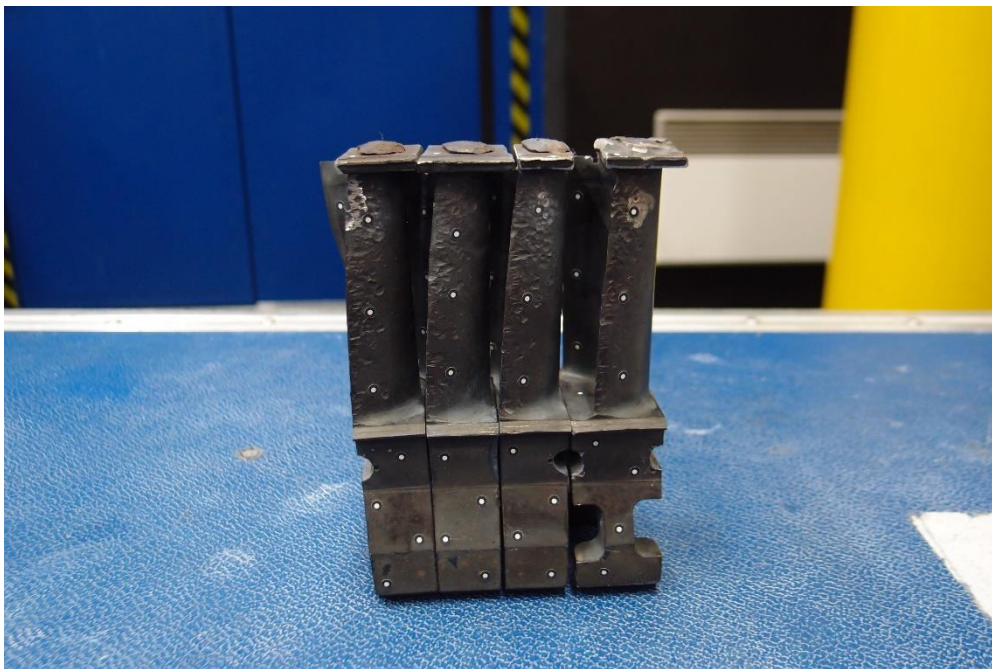
Turbína, ze které lopatky pochází je provozována v Indonésii a je poháněna geotermální energií. V současné době provozovatel elektrárny nemá k lopatkám výkresovou dokumentaci a potřebuje přelopatkovat rotor, proto je potřeba výkresovou dokumentaci zhotovit pomocí metod reverzního inženýrství. Podklady k reverznímu inženýrství lopatek jsem obdržel ve formě polygované sítě (\*.stl). Mám tedy k dispozici naskenované lopatky Dále jsem dostal odlopatkovací report, kde jsou počty ks lopatek a také naměřený průměr přes bandáž. Počty ks lopatek jsou velice důležité bez tohoto údaje bych nedokázal při rekonstrukci určit úhel seříznutí nožky. Stupeň, který budu rekonstruovat se nachází na nízkotlakém rotoru dále budu psát už jen NT. NT rotor je symetrický proto lopatky na straně turbíny a na straně generátoru jsou stejné jen jsou zrcadlově otočené. Na třetím stupni NT rotoru je dohromady 102 Ks lopatek. 94Ks lopatek je tzv. regular blade je to základní typ lopatky v daném stupni. Potom tam je 7 Ks tzv. special blade. Toto jsou odlehčené lopatky, které slouží k eliminaci nevyvážku stupně, a nakonec je tam 1 Ks tzv. lock blade. Poslední kus je závěrná lopatka tato lopatka nám uzavírá stupeň.

Dále je zapotřebí připravit ještě 5Ks lopatek, které budou s přídavkem na nožce, a to kvůli tomu, kdyby byl problém následně NT rotor zalopatkovat. Shrnutí počtu kusů lopatek je shrnut v tab.1. Lopatky zpracuju metodami reverzního inženýrství, které popíši ve své práci. Ve své práci se zaměřím především na rekonstrukci regular blade.

Název lopatky	Počet Ks
Regular blade	94
Oversize blade	5
Special blade	7
Lock blade	1
Celkem Ks ve stupni	102

Tabulka č. 1 – počet ks lopatek potřebné k olopatkování třetí řady NT rotoru

V této kapitole bych se chtěl věnovat i stavu ve kterém se lopatky nachází. Lopatky byli nějakou dobu v turbíně na rotoru a je na nich vidět značné poškození vlivem provozních činitelů. Lopatky jsou svázány na rotoru pomocí temované bandáže. Na obrázku níže je vidět, jak lopatky jsou skutečně poškozené. Dále je vidět, že pro odlopatkování bylo za potřeby bandáž rozřezat. Při rozřezání bandáže došlo u pár Ks lopatek k jejich poškození. Zářezy po flexe jsou viditelné nicméně pro mé potřeby rekonstrukce toto poškození nehraje roli.



Obrázek č. 2 – Oběžné lopatky složené u sebe. Regular blade a lock blade <sup>[1]</sup>

## NÁVRH METODIKY ŘEŠENÍ

Prvním krokem je ustavení lopatky do souřadného systému. Ustavení jsem provedl v programu GOM Inspect 2017. Nejprve jsem do programu naimportoval obdržovaný sken, který je vyobrazen na obrázku č.1. Dalším krokem v tomto programu je návrh bodu, rovin a geometrických těles, které budou vycházet z reálných ploch lopatky. Tato geometrie bude sloužit k vytvoření souřadného systému lopatky. Je důležité geometrii vytvořit tak, aby ztotožňovala jednotlivé osy souřadného systému.

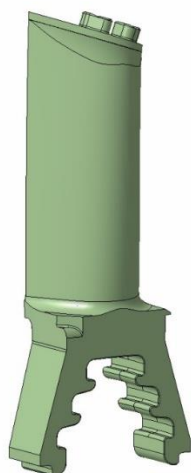
Rekonstrukci lopatky provedu nejprve v programu Catia. Program má širokou škálu nadstavbových modulů. K mému cíli použiji dva. Modul DSE a modul QSR. Modul v Catii DSE (Digitized shape editor) se zabývá digitalizovaným importem dat (skeny nebo mraky bodů). Lze tady data různě upravovat a přiřazovat jim souřadný systém. V tomto modulu můžeme z mraku bodů vytvářet mesh. Tu můžeme následně čistit, vytvářet na ni záplaty, dělit, spojovat, prodlužovat. Zpracování dat v tomto modulu je prvním krokem reverzního inženýrství. Pomocí tohoto modulu si naimportuju ustavenou lopatku ve formě polygované sítě stl.

Modul v Catii QSR (Quick surface reconstruction) navazuje na modul DSE. V tomto modulu se vytváří topologické plochy na mracích bodů nebo sítí. Lze tady využívat poloautomatické nebo i automatické tvorby topologických ploch. Dále tu můžeme vytvářet charakteristické křivky dle změny křivosti sítě. Podstatou tohoto modulu je tvorba ploch a asociovaných křivek na síti a následná optimalizace sítě křivek. Další užitečnou funkcí modulu QSR je analýza odchylek. Dokážeme zde určovat, o kolik se nám vytvořená geometrie odchyluje od vložených dat.

Sken lopatky se skládá z několika částí. Když si lopatku pozorně prohlédneme uvidíme že, lopatka má část listu a část nožky. Tyto dvě části jsou na sebe spojeny tzv. přechodovým rádiusem. Dále na listu v horní části se nachází zesílení listu. Poslední částí lopatky je tzv. čípek, který se nachází na vrchu lopatky. Na čípek se nasazuje bandáž a potom se roztemuje tím se zajistí, aby bandáž byla k lopatce pevně připevněna. Pro následující rekonstrukce bude lepší, když lopatku rozdělíme na jednotlivé části. Vymodelujeme jednotlivé části a následně spojíme. Na výběr mám z několika metod. Metoda řezu a metoda obalové plochy. Nejprve se pokusím o tyto dvě metody v Catii V5R26 a pak i v Geomagicu design X.

## VÝSLEDEK REKONSTRUKCE

Z rekonstruovaný model byl vytvořen v Catii V5R26 pomocí metody řezů. Lopatka se skládá z listu, nožky, zesílení na listu a čípků na konci lopatky. Hotový model je objemový a je připravený pro další zpracování. Z modelu vytvořím výkresovou dokumentaci, která bude přílohou mé práce. Hotový model je vyobrazený na obrázcích č. 3 a č. 4.



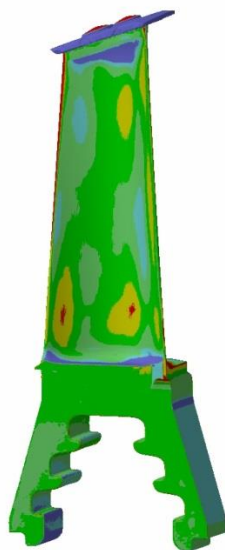
Obrázek č. 3 – hotový 3D model turbínové lopatky



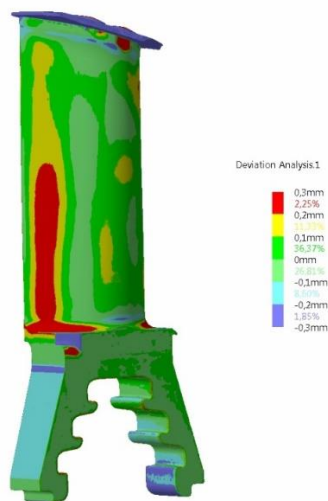
Obrázek č. 4 - hotový 3D model turbínové lopatky

### ROZMĚROVÁ KONTROLA CAD MODELU

Pro kontrolu výsledného 3D modelu jsem v modulu QSR použil funkci „Deviation Analasys“. Funkce mi snadno zkontroluje hotový 3D model a barevně mi označí odchytky na celé ploše modelu. Na začátku rekonstrukce jsem měl podmínky. Tolerance výsledného modelu bude +/- 2 mm na listu a +/- 0,2 mm na nožce. Princip funkce je jednoduchý. Funkce mi porovná hotový 3D model se skenem a určí velikost jednotlivých odchylek v celé ploše modelu. Při správném nastavení zobrazení výsledku funkce dokážu přesně říct, jak velké je procentuální zastoupení dané odchylky na modelu. Výsledek rozměrové kontroly zachycuje obrázek č. 5 a obrázek č. 6.



Obrázek. č. 5 – rozměrová analýza



Obrázek č. 6 – rozměrová analýza

Odchylka [mm]	Velikost plochy [%]
0,3	2,25
0,2	11,39
0,1	36,37
0	26,81
-0,1	8,6
-0,2	1,85
-0,3	0

Tabulka. č. 2 – tabulka odchylek

Výsledky rozměrové kontroly jsem zanesl do tabulky č. 2. Model se mi podařilo z rekonstruovat v celkové přesnosti -0,2 mm až +0,3 mm. Největší procentuální zastoupení má odchylka od skenu +0,1 mm. Tato

odchylka se pohybuje skoro na 40% celkové plochy modelu. List se pohybuje mezi +0,1 mm až +0,3 mm. Nožka potom -0,2 mm až +0,2 mm. Na nožce lopatky jsem v přesném rozmezí stanovené tolerance na začátku rekonstrukce.

#### LITERATURA

- [1] Podklady ze společnosti Doosan Škoda Power
- [2] GOM - Optical Measuring Techniques, 3D digitizing. GOM - Measuring Systems.[online].  
Dostupné z: <http://www.gom.com>
- [3] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. Strojnické tabulky. Úvaly: ALBRA. 2005