

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie – technologie obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Stabilita v obrábění – využití predikčního SW TXF Metalmax

Autor: **Bc. Aneta KAUFNEROVÁ**

Vedoucí práce: **Ing. Jan Kutlwašer, Ph.D.**

Akademický rok 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Aneta KAUFNEROVÁ**
Osobní číslo: **S17N0029P**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie - technologie obrábění**
Název tématu: **Stabilita v obrábění - využití predikčního SW TXF Metalmax**
Zadávající katedra: **Katedra technologie obrábění**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod a cíle řešení
2. Teoretický úvod do problematiky stability obrábění
3. Popis aparatury a softwaru pro predikci stability
4. Příklad praktického využití
5. Technicko - ekonomické hodnocení
6. Závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **50 - 70 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

- **TLUSTÝ, Jiří a Ladislav ŠPAČEK.** Samobuzené kmity v obráběcích strojích. Praha: Československá akademie věd, 1954. Studie a prameny.
- **STANĚK J., NĚMEJC J.,** Metodika zpracování a úprava diplomových prací. Plzeň: ZČU, 2005, 58 s. ISBN 80-7043-363-9.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Kutlwašer, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění

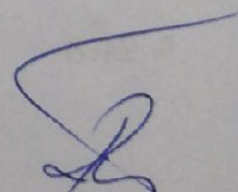
Konzultant diplomové práce: **Ing. Jaroslava Fulemová, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2019**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 18. října 2018

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat mému vedoucímu práce panu Ing. Jan Kutlwašer, Ph.D. za jeho cenné rady a odbornou pomoc při zpracování diplomové práce. Také bych chtěla poděkovat panu Ing. Michal Křížek, Ph.D. a celému týmu SGS za jejich užité připomínky a rady.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Kaufnerová	Jméno Aneta	
STUDIJNÍ OBOR	N2301 „Strojírenská technologie – technologie obrábění“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Kutlwašer, Ph.D.	Jméno Jan	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Stabilita v obrábění – využití predikčního SW TXF Metalmax		

FAKULTA	Strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2019
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	71	TEXTOVÁ ČÁST	63	GRAFICKÁ ČÁST	2
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	<p>Tato diplomová práce se zabývá stabilitou obráběcího procesu. Součástí práce je měření dynamiky obráběcího stroje pomocí softwaru TXF a vytvoření návodu tohoto programu pro proces soustružení. V praktické části jsou popsány experimenty, jejich hodnocení a ověření získaných znalostí z analýzy programu.</p>
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	<p>vibrace, dynamika, návod, frekvence, diagram stability, frekvenční odezvová funkce, akcelerometr, rázové kladívko, TXF</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Kaufnerová	Name Aneta	
FIELD OF STUDY	N2301 “ Manufacturing Processes – Technology of Metal Cutting“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Kutlwašer, Ph.D.	Name Jan	
INSTITUTION	ZČU - FST – KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Machining stability - using prediction software TXF Metalmax		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machining technology	SUBMITTED IN	2019
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	71	TEXT PART	63	GRAPHICAL PART	2
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This diploma sheet deals with the stability of the machining process. Part of the work is based on measurements of the machine dynamics with TXF software and creating a manual of TXF for the turning process. In the practical part there are the descriptions of experiments, their evaluation and verification of acquired knowledge from software analysis.
KEY WORDS	vibration, dynamics, manual, frequency, stability diagram, frequency response function, accelerometer, impact hammer

Obsah

1	Úvod.....	4
2	Kmitání obráběcí soustavy	5
2.1	Vlastní (volné) kmitání.....	5
2.2	Vynucené kmitání	6
2.3	Samobuzené kmitání	6
3	Měření a vyhodnocení vibrací.....	8
3.1	Měřené veličiny.....	8
3.2	Akcelerometry.....	9
3.2.1	Piezoelektrický akcelerometr.....	9
3.2.2	Piezorezistivní akcelerometr.....	10
3.2.3	Kapacitní akcelerometr	10
3.2.4	Uchycení akcelerometrů	10
3.3	Mechanismy buzení.....	11
3.3.1	Rázové kladívko.....	11
3.4	Frekvenční odezвовá funkce.....	12
3.5	Výsledný graf měření	12
4	Představení programu TXF a návod pro uživatele.....	13
4.1	Návod programu TXF pro proces soustružení	14
4.1.1	TXF main menu	15
4.1.2	Data Plotting and Analysis.....	32
4.1.3	Drop Down Menu	36
5	Experimentální měření	40
5.1	Zapojení měřící sestavy a nastavení programu	41
5.1.1	Měřící sestava	41
5.2	Postup nastavení programu	42
5.2.1	Project	42
5.2.2	Measurement.....	44
5.2.3	Sensors	45
5.2.4	Cut data	45
5.2.5	Dynamics	46
5.2.6	Machine Limits	46
5.2.7	Current Conditions.....	47

5.2.8	Plot Range	47
5.3	Experimenty	48
5.3.1	První část experimentu.....	48
5.3.2	Druhá část experimentu	53
5.3.3	Třetí část experimentu.....	56
5.3.4	Čtvrtá část experimentu	58
6	Technicko-ekonomické zhodnocení.....	59
7	Závěr.....	60
8	Bibliografie.....	61

Přehled použitých zkratk a symbolů

b	mezní šířka třísky
a_p	hloubka řezu
Hz	hertz
x	výchylka
\dot{x}	rychlost
\ddot{x}	zrychlené
F	síla
$H(\omega)$	poddajnost
$M(\omega)$	pohyblivost
$A(\omega)$	akcelerace
b_{cr}	kritická mezní šířka třísky
b_{cr-new}	změřená kritická mezní šířka třísky
K_s	měrný řezný odpor
K_{s-new}	skutečný měrný řezný odpor
λ	vlna tlumení
λ_{new}	skutečná vlna tlumení
PD_{lim}	limitní otáčky vřetena
V	volt
VBD	vyměnitelná břitová destička
mm	milimetry
ot/min	otáčky za minutu
N/mm^2	megapascal
%	procenta
PEMO	praktika z experimentálních metod v obrábění

1 Úvod

Zvyšování produktivity a snižování nákladů obráběcího procesu je nedílnou součástí strategie podniku. Způsoby jak snížit náklady a zvýšit produktivitu jsou zkracování strojního času, prodloužení životnosti nástroje a zlepšení jakosti obrobené plochy. Proces obrábění je dynamický jev, při kterém ve většině případů dochází ke kmitání. Tato kmitání způsobují zhoršení kvality obrobené plochy, snižování životnosti nástroje, zvyšování strojního času a zvyšování opotřebení stroje. Právě proto je měření dynamiky obráběcích strojů v dnešní době velmi žádané. Konkrétně pro tuto diplomovou práci byl zvolen software TXF od firmy Metalmax, který je specializovaný program pro analýzu frekvencí a vyvinut pro rychlé měření dynamiky obráběcích strojů. Diplomová práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část.

Teoretická část obsahuje popis jednotlivých druhů kmitání a jejich negativní dopad na proces obrábění. Dále je v práci popsána metodika měření, měřicí sestava, výsledné diagramy měření, seznámení s programem TXF a podrobný návod programu pro proces soustružení.

V praktické části jsou popsány experimenty, jejich hodnocení a ověření získaných znalostí z analýzy programu.

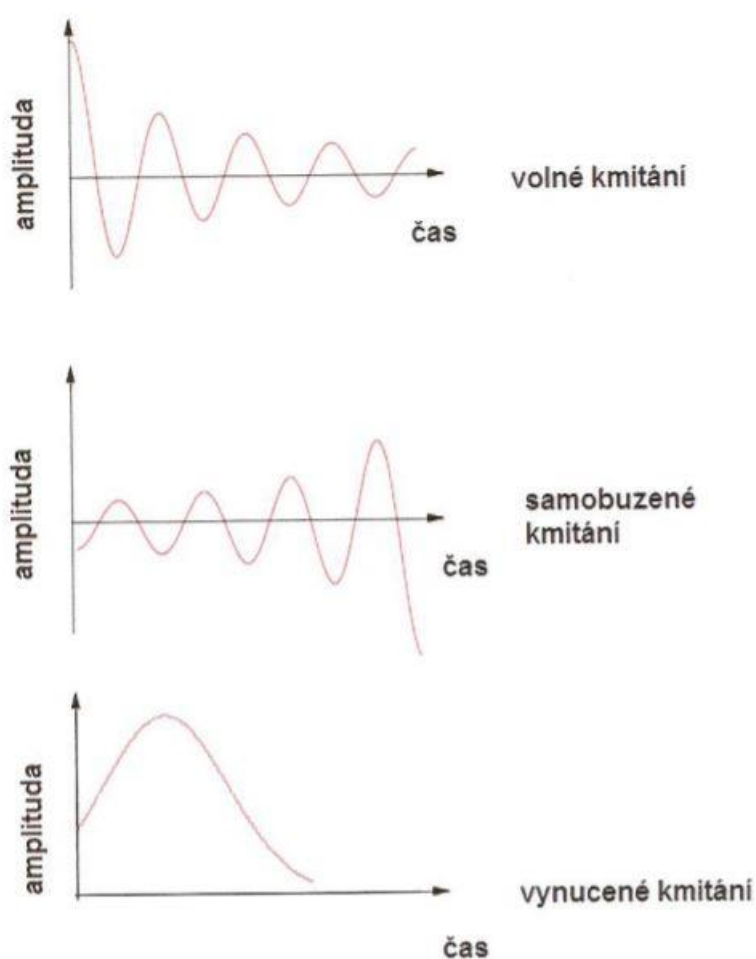
Hlavním cílem teoretické části diplomové práce je vytvoření návodu programu TXF pro proces soustružení, který dále bude využíván k výuce předmětu Praktika z experimentálních metod v obrábění. Cílem experimentální části je aplikace vytvořeného návodu na reálném měřeném objektu a zhodnocení korektnosti dosažených výsledků.

2 Kmitání obráběcí soustavy

Soustava stroj, nástroj a obrobek je systém se složitou dynamikou, a proto téměř vždy při procesu obrábění dochází ke vzniku vibrací. Vibrace mají ve většině případů negativní vliv na stroj, nástroj a obrobek. Způsobují zhoršení kvality povrchu (drsnost a vlnitost) obrobené plochy, zvýšení intenzity opotřebení nástroje, urychlují opotřebení jednotlivých prvků stroje a vytváří nevhodné pracovní prostředí (vznik hluku o vysoké frekvenci).

Na základě vnějšího působení různorodých impulzů a sil lze rozdělit kmitání. [1]:

- vlastní (volné)
- vynucené
- samobuzené



Obrázek 1: Druhy kmitání [2]

2.1 Vlastní (volné) kmitání

V soustavě stroj-nástroj-obrobek jsou vlastní kmity vyvolané nárazem. Vliv volného kmitání na proces obrábění je minimální, protože amplituda kmitů se rychle utlumí v čase. Perioda a frekvence vlastních kmitů nejsou závislé na počáteční výchylce ani na počáteční rychlosti kmitající částice. Škodlivý vliv na řezný proces mají hlavně vynucené a samobuzené kmity.[1]

2.2 Vynucené kmitání

Vynucené kmitání vzniká, působíme-li na danou soustavu periodicky proměnlivou budící silou. Tyto budící síly vznikají buď v okolí stroje anebo v pohybovém mechanismu stroje. Význačnou vlastností vynuceného kmitání je, že frekvence kmitání se obvykle shoduje s frekvencí budící síly. [3]

Rozdělení vynuceného kmitání podle charakteristiky budící síly:

1) budící síla nesouvisející s procesem řezání

Do této kategorie spadají vynucené kmity, které jsou vyvolané budící silou vznikající při rotaci obrobku, nástroje, hřídele, vřetena, apod. Tyto dynamicky nevyvážené rotující součásti způsobují odstředivou sílu, které se mění periodicky směr působení. Dále jsou vyvolané setrvačnými silami součástí stroje, které mění směr otáčení anebo pohybu.

Dále do této kategorie patří vynucené vibrace vyvolané kmity z vnějšího prostředí. Tyto budící kmity vznikají od chvění sousedních strojů a mají významný vliv na kvalitu obrobeného povrchu. Proti šíření těchto nežádoucích kmitů je možné provést tzv. odstínění. Jsou známé dva druhy odstínění a to aktivní a pasivní. Aktivní odstínění brání přenosu vibrací od zdroje do okolí a pasivní odstínění brání přenosu vibrací z okolí do soustavy S-N-O.

2) budící síla související s procesem řezání

Do této kategorie patří kmitání způsobené nerovnoměrným přídavkem na obrábění a kmitání vyvolané charakterem práce. Kolísání rezného odporu vyvolané změnou průřezu odebírané vrstvy je důsledkem vzniku vynucených kmitů. [1]

2.3 Samobuzené kmitání

Samobuzené kmitání je charakteristické tím, že ke svému vzniku nepotřebuje vnější periodickou budící sílu. Samobuzené kmitání soustavy je vyvoláno podnětem, který způsobí výchylku z rovnovážné polohy a dále probíhání kmitání bez působení vnějších sil. Prvotním podnětem je např. uvolnění nárůstku z nástroje, náraz nástroje na tvrdší strukturální částici v obráběném materiálu. [3]

Při obrábění kovů vzniká za určitých podmínek energické kmitání, které se projevuje zejména jako relativní kmitání mezi nástrojem a obrobkem. Tloušťka třísky se periodicky mění a vzniká charakteristický zvuk tzv. drnčení. Na obrobeném povrchu se objeví pravidelná vlnitost. Vznik samobuzeného kmitání je podmíněn existencí modulované rezné síly, resp. existencí proměnné hloubky třísky. Je typické, že vzniká náhle po překročení určité mezní hodnoty, kterou je mezní šířka třísky b , resp. mezní axiální hloubka třísky a_p . [4] [5]

Frekvence vznikajícího kmitání je blízká frekvenci některého z typů vlastních kmitů stroje. Frekvence se v menší míře mění se změnou rezných podmínek. Změnou rezných podmínek se mění i vazba mezi nástrojem a obrobkem, a tedy i frekvence vlastních kmitů stroje. Vazba mezi nástrojem a obrobkem má charakter pružiny, neboť se změnou jejich relativní vzdálenosti se mění velikost rezné síly, která na ně působí. [5]

Samobuzené kmitání mohou vyvolat vlivy:

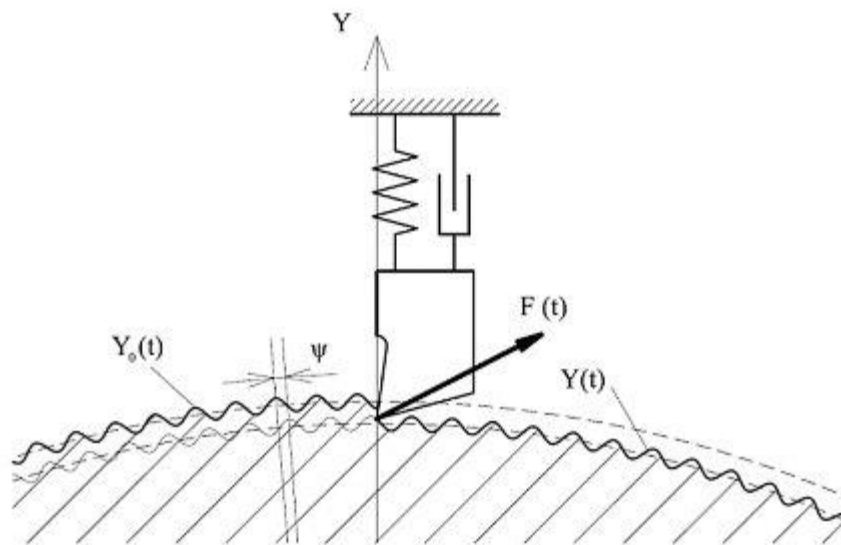
1) nesouvisející s rezným procesem:

- a) relaxační kmitání (trhavé pohyby při velmi malých posuvech u vyvrtávaček)
- b) kmitání kopírovacího systému se zpětnou vazbou

2) související s řezným procesem:

a) reprodukce předchozí vlnitosti povrchu tzv. regenerativní princip

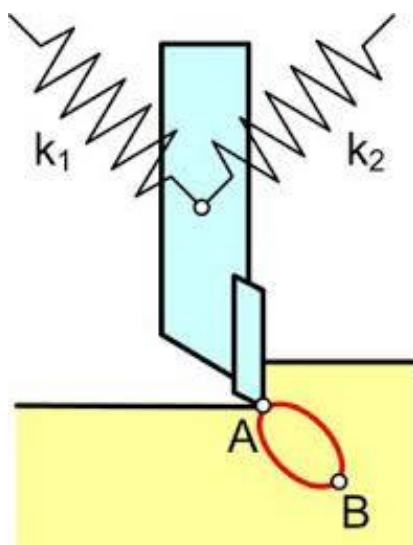
Podle regenerativního principu vznikají samobuzené kmity tak, že kmitající břit nástroje $Y(t)$ obrábí ochvěný povrch $Y_0(t)$, který vznikl při předchozím řezu. Zvlnění na povrchu obrobku mění periodicky hloubku řezu, resp. průřez třísky a tím moduluje řeznou sílu, která budí celý systém. Takto se vlny regenerují při každém řezu (při každé otáčce vřetene, resp. při každém záběru zubu). Existuje určitý fázový posun mezi vlnitostí obrobku a kmity nástroje, který je podle regenerativního principu pro vznik samobuzených kmitů rozhodující. Pokud by byl např. tento fázový posun nulový, bude průřez třísky konstantní, takže řezná síla nebude modulována a samobuzené kmitání se neobjeví. [4]



Obrázek 2: Regenerativní princip [6]

b) proměnlivost tuhosti upnutí nástroje v různých směrech tzv. polohové vazby

Podle principu polohové vazby je pro vznik samobuzených kmitů nutná existence dvou dominantních tvarů kmitů mezi nástrojem a obrobkem, které jsou navzájem kolmé a mají různé vlastní frekvence. Periodická řezná síla pak systém rozkmitá současně v obou směrech stejnou frekvencí a konstantní vzájemnou fází tak, že břit se pohybuje po eliptické dráze. (Obrázek 3) Při pohybu po elipse ve směru hodinových ručiček z bodu A do bodu B řezná síla působí proti směru pohybu a odebírá tak energii ze systému. Naopak při pohybu z bodu B do bodu A řezná síla energii do systému dodává. Protože na dráze BA se obrábí ve větší hloubce (větší řezná síla) než na dráze AB, převažuje energie do systému dodávaná. Pokud se dodaná energie nestačí spotřebovat tlumením, dojde k postupnému nárůstu amplitudy kmitů a řezný proces se stane nestabilním. Takto může dojít ke vzniku samobuzeného kmitání i při obrábění hladkého, neochvěného povrchu (např. při prvním řezu nebo při obrábění závitů). Podle principu polohové vazby je pro vznik chvění rozhodující vzájemná směrová orientace řezné síly a kmitavého systému stroje. [4]



Obrázek 3: Princip polohové vazby [4]

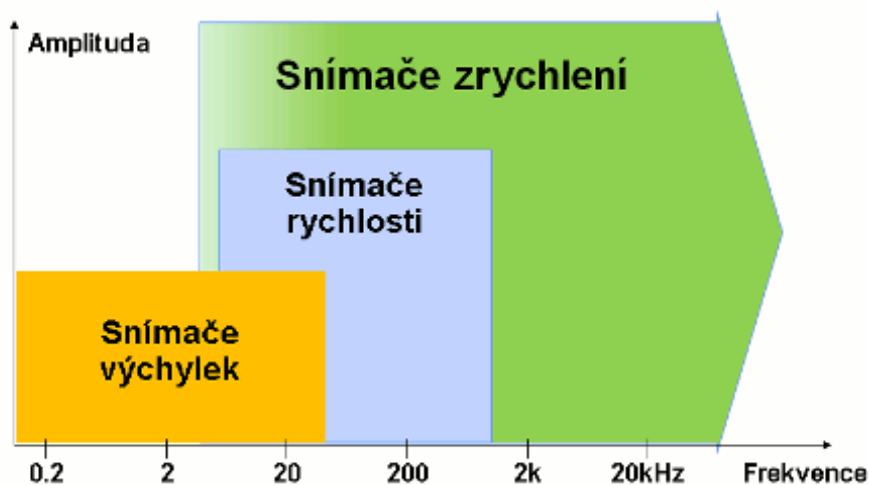
- c) nestabilita nárůstku
- d) změna součinitele tření v závislosti na rychlosti pohybu
- e) postupné usmykávání článků nebo prvků třísky [7]

3 Měření a vyhodnocení vibrací

3.1 Měřené veličiny

Při měření vibrací se setkáváme s různými veličinami, které popisují vibrační signál. Těmito veličinami jsou výchylka, rychlost a zrychlení, které jsou navzájem závislé a dají se přepočítat pomocí vzorců. Při volbě veličiny pro popis vibračního signálu je základní otázka, v jakém měřítku a v jakém časovém posunu (fázi) se bude měřit. Z obrázku 4 vyplývá, že při běžném měření v rozsahu frekvencí 10 Hz až 1000 Hz je měřená veličina rychlost. Při vyšší frekvenci je měřena veličina zrychlení a při nižší frekvenci výchylka. [8]

Optimální rozsahy vibračních veličin



Obrázek 4: Optimální rozsahy vibračních veličin [9]

Snímače vibrací podle snímané veličiny jsou rozděleny:

- Snímače výchylky - bezdotykové sondy
- Snímače rychlosti - velometry
- Snímače zrychlení – akcelerometry [8]

V experimentální části této diplomové práce bude měřeno zrychlení pomocí akcelerometru. Rozdělení a popis akcelerometrů je popsán v následující kapitole.

3.2 Akcelerometry

Akcelerometr je absolutní senzor, který přeměňuje zrychlení na měřitelný elektrický signál. Podmínkou pro měření zrychlení kmitavého pohybu v širokém rozmezí kmitočtů je velká vlastní rezonanční frekvence. Velké vlastní rezonanční frekvence u akcelerometrů je dosahováno vysokou hodnotou tuhosti a malou hmotností seismické hmotnosti. [10]

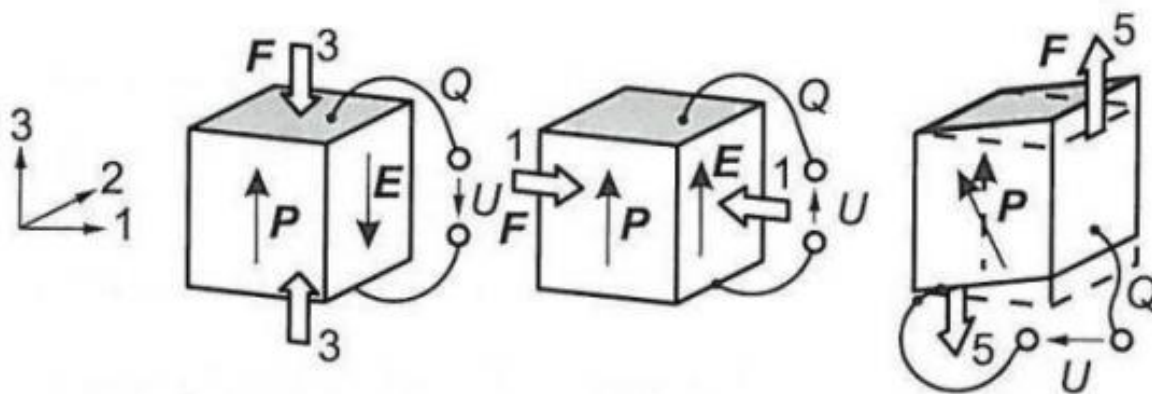
Základní rozdělení akcelerometrů:

- Piezoelektrický
- Piezorezistivní
- Kapacitní

3.2.1 Piezoelektrický akcelerometr

Piezoelektrický akcelerometr je senzor fungující na principu piezoelektrického jevu. Tento princip spočívá v tom, že uvnitř některých krystalických dielektrik vzniká vlivem mechanických deformací elektrická polarizace, čímž na povrchu vznikají zdánlivé náboje, které mohou v přiložených elektrodách vázat nebo uvolňovat náboje skutečné. Jakmile mechanické napětí zmizí, dostává se dielektrikum do původního stavu.

Piezoelektrický jev závisí na směru deformace vzhledem k osám krystalické mřížky. Podle směru působení síly vůči ose rozdělujeme jev na podélný, příčný a střihový jev. (Obrázek 5)

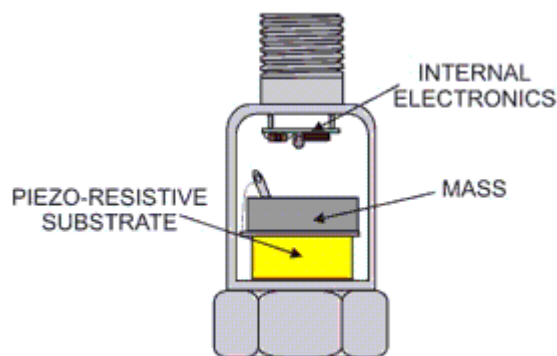


Obrázek 5: Jev podélný, příčný, střihový [10]

Nejvíce využívané konstrukční provedení akcelerometru je na principu smykového namáhání krystalu. Výhodou akcelerometru na principu střihového jevu má oproti podélnému jevu dvojnásobnou citlivost a je necitlivý na tlakové deformace. [10]

3.2.2 Piezorezistivní akcelerometr

Je snímač založený na piezorezistivním jevu, který je charakterizován vlivem krystalografické orientace hmoty na rezistivitu materiálu. Součástí snímače je piezorezistivní materiál, který převádí sílu vzniklou urychlovanou hmotou na změnu odporu. (Obrázek 6)



A single ended compression accelerometer

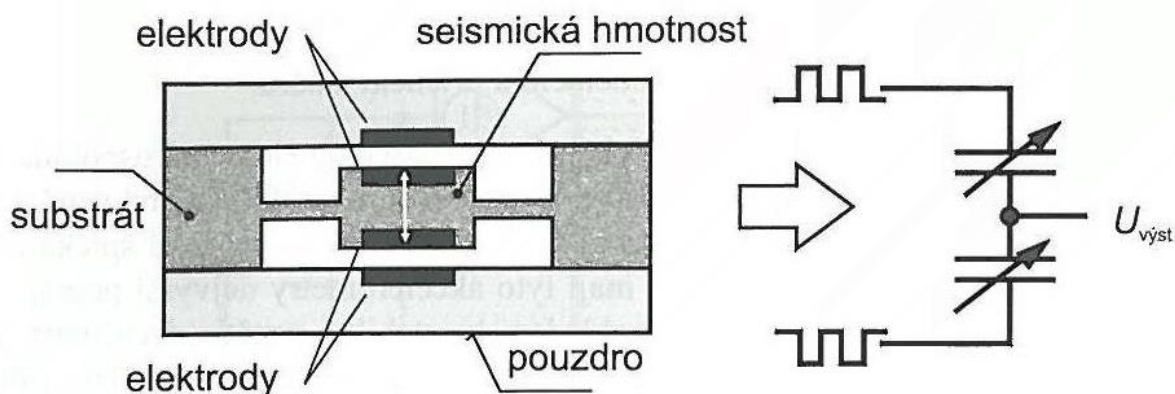
Obrázek 6: Piezorezistivní akcelerometr [11]

V integrovaných piezorezistivních akcelerometrech se většinou využívá uspořádání piezorezistivních elementů do Wheatstonova můstku. [10]

3.2.3 Kapacitní akcelerometr

Kapacitní akcelerometry jsou velmi citlivá zařízení vhodná pro nízké dynamické rozsahy zrychlení. Je založen na funkci deskového kondenzátoru. Při pohybu seismické hmoty se jedna kapacita zvětšuje a druhá zmenšuje. Vyhodnocuje se rozdíl hodnot kapacit.

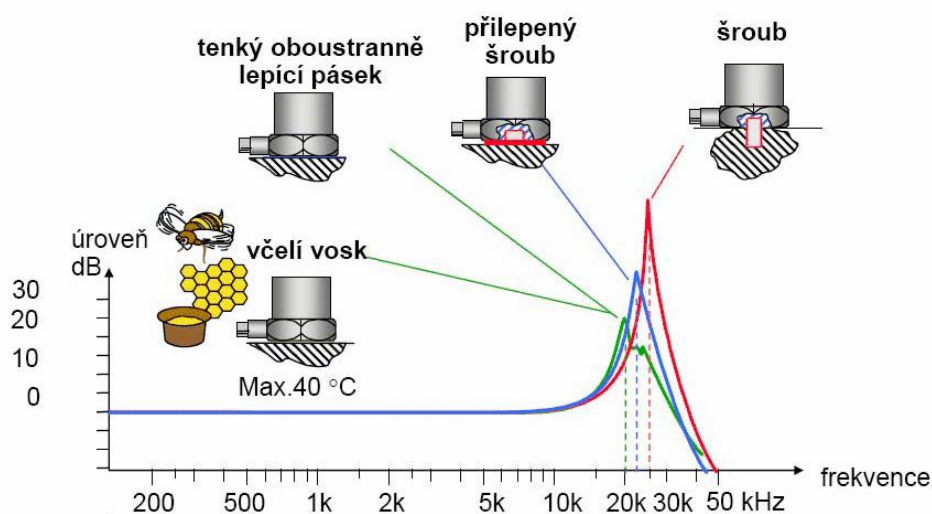
Základem je monokrystalický substrát, na kterém je z polykrystalického křemíku na dvou pružných upevněních zavěšena seismická hmotnost ve tvaru hřebínku. (Obrázek 7) [10]



Obrázek 7: Kapacitní akcelerometr [8]

3.2.4 Uchycení akcelerometrů

Frekvenční charakteristika je závislá na způsobu připevnění akcelerometru na měřený objekt. Způsob upevnění je zdrojem nejistot. Nejmenšího ovlivnění frekvenční charakteristiky a maximálního využití frekvenčního rozsahu lze dosáhnout při upevnění snímačů závrtnými šrouby. Velmi dobrého frekvenčního rozsahu se dosahuje také při připevnění speciálními lepidly nebo včelím voskem. [12]



Obrázek 8: Vliv upevnění akcelerometru na frekvenční charakteristiku [8]

3.3 Mechanismy buzení

Aby bylo možné zjistit frekvenční odezvou funkci, je nutné vnést do měřeného systému vstupní impuls. Tento impuls je možné do měřeného systému vnést v zásadě dvojím způsobem a to rázovým kladívkem anebo budičem vibrací.

V experimentální části diplomové práce bude použit jako zdroj vstupní síly rázové kladívko. Popis rázového kladívka je popsán v následující kapitole.

3.3.1 Rázové kladívko

Nejjednodušší způsob vybuzení systému je rázovým kladívkem. Výhodou rázového kladívka je jeho mobilita a minimální příprava před měřením.

Kladívko je složeno z hlavy, snímače síly, hrotu a rukojeti. Úkolem snímače síly je změřit vstupní impuls síly a dobu jeho trvání. Právě doba působení síly ovlivňuje frekvenční rozsah. Čím je ráz kratší, tím je rozsah vybuzených frekvencí větší. Při delší době silového působení je rozsah frekvenčního buzení malý. [13]



Obrázek 9: Rázové kladívko se sadou koncovek

Šířka frekvenčního pásma je ovlivněna výměnnou koncovkou rázového kladívka. Pryžová koncovka nedeformuje lokálně měřený objekt, ale nedokáže vybudit vyšší frekvence (do 400 Hz). Ráz provedený s kovovou koncovkou lokálně více zatíží místo měření a vybudí velmi vysoký rozsah frekvencí (reálně do 7 kHz). [13]

Tedy frekvenční rozsah buzení rázovým kladívkem je určován druhem koncovky a velikost síly je závislá na síle úderu.

3.4 Frekvenční odezvoá funkce

Frekvenční odezvoá funkce popisuje odezvu měřené soustavy na buzení, jako funkci frekvence. To znamená, že tato funkce popisuje vztah mezi vstupem do soustavy (síla) a výstupem ze soustavy (výchylka, rychlost, zrychlení). [14]

Výchylka, rychlost a zrychlení jsou veličiny, které popisují dynamiku soustavy. Frekvenční odezvoá funkce vztahující se k těmto třem veličinám se nazývají:

- Poddajnost (výchylka vibrací)
- Pohyblivost (rychlost vibrací)
- Akcelerace (zrychlení vibrací)

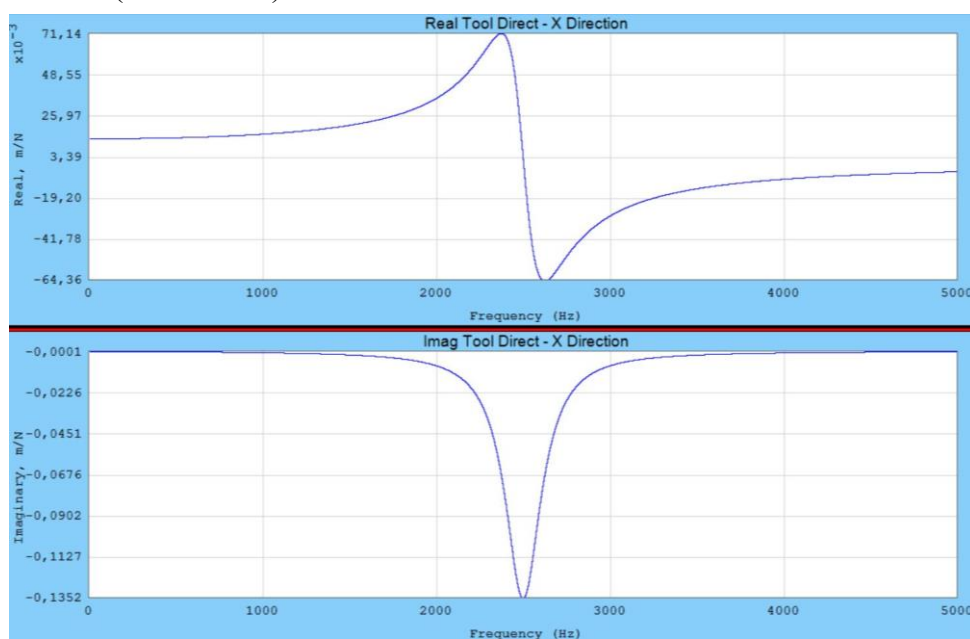
Tato funkce je definována vztahy:

Poddajnost	Pohyblivost	Akcelerace
$H(\omega) = \frac{x(\omega)}{F(\omega)}$	$M(\omega) = \frac{\dot{x}(\omega)}{F(\omega)}$	$A(\omega) = \frac{\ddot{x}(\omega)}{F(\omega)}$

Tabulka 1: Frekvenční odezvoá funkce [14]

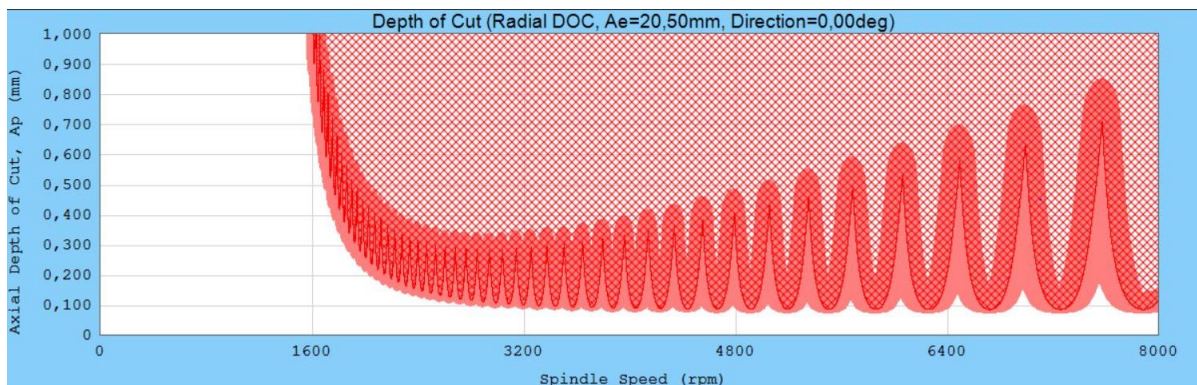
3.5 Výsledný graf měření

Výsledná měření jsou zobrazena graficky jako skutečné a imaginární grafy frekvenční odezvoé funkce. (Obrázek 10)



Obrázek 10: Reálný a imaginární graf frekvenční odezvoé funkce

Skutečná část frekvenční odezvy funkce je promítnuta do „lobů“ diagramu stability. Diagram stability vyjadřuje závislost mezi otáčkami vřetena a hloubkou řezu. (Obrázek 11)



Obrázek 11: Diagram stability

Ve většině případů dochází ke změnám řezných podmínek kvůli stabilitě obrábění. Většina těchto změn vede ke snížení výkonu obrábění. Právě tyto diagramy slouží ke zjištění optimálních řezných podmínek při maximálním využití výkonu stroje. Stabilní a nestabilní část obrábění je rozdělena tzv. loby, stabilní část se nachází pod hranicí křivky (bílá oblast) a nestabilní nad hranicí křivky (červená oblast). Proces obrábění při mezní šířce třísky b je na rozmezí stability a samobuzené kmitání nenarůstá. [6]

4 Představení programu TXF a návod pro uživatele

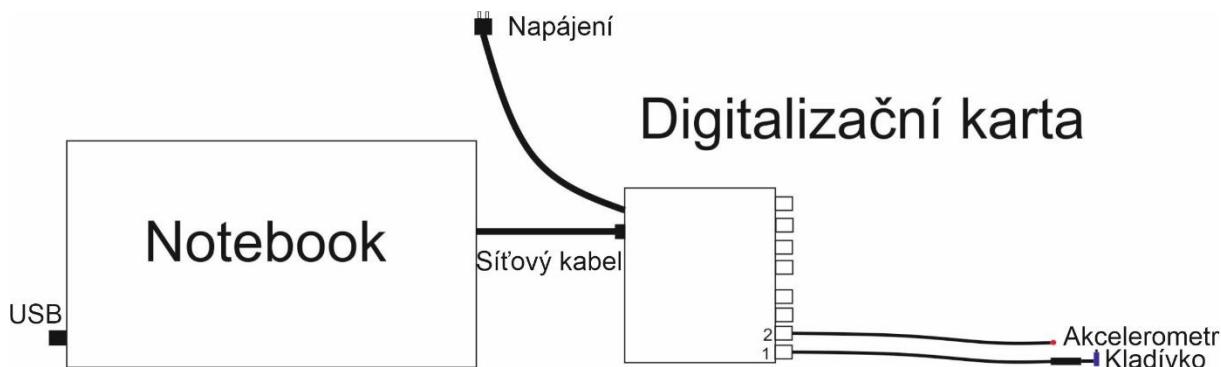
Program TXF je součástí balíčku METALMAX, který dále zahrnuje programy MilSim, PCScope a Harmonizer. Jedná se o specializovaný software pro analýzu frekvencí, který je přizpůsoben pro rychlé měření dynamiky obráběcích strojů. Primární funkce tohoto programu je sběr dat ze dvou snímačů a to z akcelerometru a rázového kladívka pro záznam frekvenční odezvy. Následně ze získaných dat vytvoří grafické zobrazení měřených výsledků a to ve formě diagramu stability. [15]

V následující kapitole je popsán návod programu, který je zaměřen na proces soustružení. Výchozím dokumentem pro vytvoření manuálu byl „**TXF users manual 2011**“, který se specializuje na proces frézování. Vzhledem k tomu, že je program prioritně vytvořen pro frézování, bylo nutné nalézt v experimentální části diplomové práce parametry, které odpovídají soustružnickým parametrům.

Hlavní kroky návodu jsou sepsány a zobrazeny na plakátu pro předmět PEMO, který je umístěn v příloze této diplomové práce.

4.1 Návod programu TXF pro proces soustružení

Před spuštěním programu je zapotřebí zapojit měřicí sestavu. Měřicí sestava se skládá z notebooku, digitalizační karty, akcelerometru, kladívka, hardwarového klíče, propojovacích kabelů, síťového kabelu a napájecího kabelu. Schéma zapojení je zobrazeno na obrázku 12.

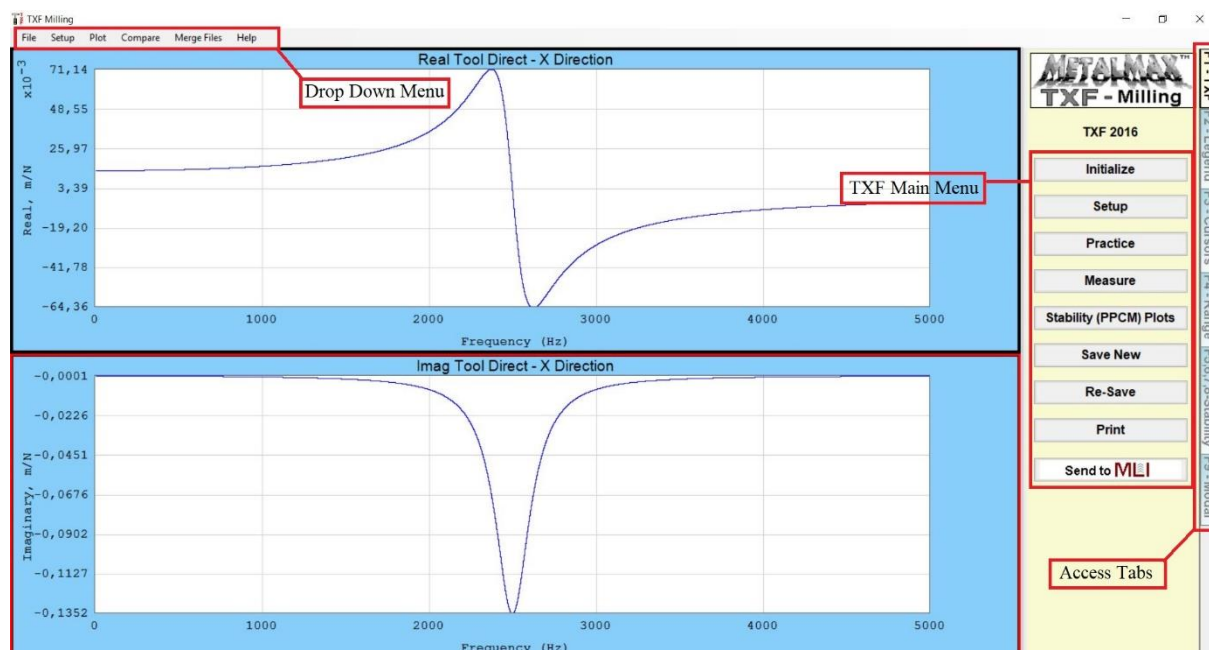


Obrázek 12 : Schéma zapojení

Po spuštění programu se zobrazí hlavní obrazovka programu, která nabízí uživateli tři sady menu.

- **TXF main menu**
- **Access tabs**
- **Drop Down menu**

Tyto nabídky jsou zobrazeny na obrázku 13. V následujících kapitolách jsou jednotlivé sady nabídek popsány.



Obrázek 13: Hlavní obrazovka programu

4.1.1 TXF main menu

V této kapitole jsou vysvětleny jednotlivá tlačítka hlavního menu a jejich funkce. Nastavení jednotlivých tlačítek je popsáno sestupně.

Ihned po spuštění programu je uživatel nabádán k provedení kalibrace. Před provedení kalibrace je nezbytné zkontrolovat, zda se hodnoty snímačů pohybují těsně okolo nuly. Nulové hodnoty se kontrolují na webovém prohlížeči od firmy Kistler. Po zkontrolování funkčnosti snímačů lze spustit kalibraci tlačítkem „**Calibrate**“ a tento proces trvá maximálně 30 sekund. Účelem kalibrace je resetování vnitřní elektroniky a kontrola úrovně napětí před sběrem dat a ověření provozuschopnosti zařízení. Po úspěšném ukončení kalibrace se tlačítko „**Calibrate**“ změní na tlačítko „**Initialize**“. [15]

Sekce Setup

Další sekcí hlavního menu je tlačítko „**Setup**“. Po spuštění tohoto tlačítka se zobrazí panel, který se skládá z 8 karet. (Obrázek 14)

- **Project**
- **Measurement**
- **Sensors**
- **Cut data**
- **Dynamics**
- **Machine limits**
- **Current Cunditions**
- **Plot range**

The screenshot shows the 'TXF Setup for Turning' dialog box with the 'Project' tab selected. The 'Project' section is highlighted with a red box. The dialog contains the following fields and buttons:

- Project** (highlighted): Stackup Number, Date (01.01.2000 9:00:00), Cutting Module (Turning), Data Collector's E-Mail ((I don't know)), Customer ((I don't know)), Number ((I don't know)), Remarks (Default Configuration).
- Machine** (highlighted): Name (Machine Name), Serial No. (Serial Number), Machine Model Number (Machine Model), Machine Database ((I don't know)), Machine Search, Machine Details.
- Holder** (highlighted): Name (Holder Name), Holder Model Number (12345), Holder Database ((I don't know)), Holder Search, Holder Details.
- Adapter(s): 0**: Edit Adapters.
- Tool** (highlighted): Name (Tool Name), Tool Model Number (Tool Number), Tool Database ((I don't know)), Tool Search, Tool Details.
- Total Gage Length (175,000 mm), Pocket No. ((I don't know)).
- Material** (highlighted): Name (Material Name), Material Group (N1), Material Database ((I don't know)), Material Search, Material Details.

Buttons at the bottom: OK, Apply, Cancel.

Obrázek 14: Karta Project

Karta „Project“

Vzhled karty „**Project**“ je ilustrován na obrázku 14. V horní oblasti karty je nezbytné vybrat vhodný obráběcí modul. Po zvolení obráběcího modulu si dále uživatel může nastavit jméno zákazníka „**Customer**“, poznámky „**Remarks**“, číslo „**Number**“ a e-mail pro sběr dat „**Data Collector's E-mail**“. Tento e-mail slouží ke sběru dat, pokud analýzu dat provádí jiná osoba než osoba provádějící měření a zajišťuje tak jejich vzájemnou spolupráci.

Následující sekce v kartě „**Project**“ slouží pro výběr a nastavení stroje. Výběr již definovaného stroje se vyhledává přes tlačítko „**Machine Search**“. Další možností je definování vlastního stroje přes tlačítko „**Machine Details**“. (Obrázek 15)

Mezi důležité parametry stroje patří.:

- **Maximum Spindle Speed**
- **Minimum Spindle Speed**
- **Maximum Power**
- **Maximum Torque**

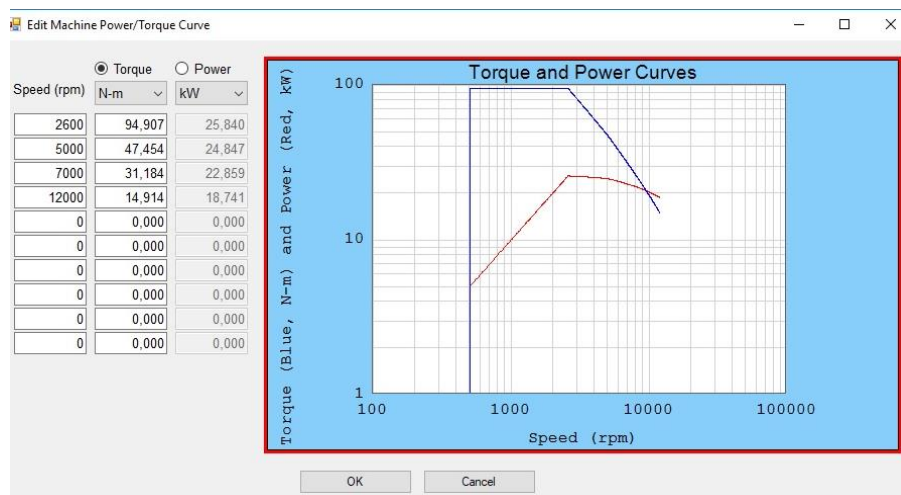
Tyto parametry slouží pro zobrazení limitů stroje v diagramu stability.

Obrázek 15: Vzhled obrazovky Machine Details

Každý stroj má od svého výrobce vytvořenou výkonovou křivku. Pokud ji má uživatel k dispozici, je doporučeno zadat hodnoty křivky do „**View or Edit power/Torque Curve**“. Tyto hodnoty jsou vyobrazeny jako dvojice bodů na grafu. Jsou možné dvě varianty závislosti hodnot, a to buď otáčky vřetena na točivý moment, anebo rychlosti vřetena na výkon. [15]

Modrá křivka zobrazuje točivý moment a červená křivka výkon stroje. (Obrázek 16) Velmi důležité je správné zvolení jednotek.

Po vytvoření nového stroje se ukládá do databáze pomocí tlačítka „Add“.



Obrázek 16: Nastavení výkonové křivky stroje

V následující sekci „Holder“ má uživatel možnost vybrat držák v databázi „Holder Database“ nebo si nadefinovat vlastní pomocí tlačítka „Holders Details“, který slouží k úpravě nebo k vytvoření vlastního držáku a následnému uložení do databáze tlačítkem „Add“. (Obrázek 17) [15]

Problémem v definování držáku je, že i po nastavení obráběcího modulu soustružení jsou parametry a grafické zobrazení pro proces frézování. Během experimentu bylo zjištěno, že tyto parametry slouží k zobrazení limitu držáku nástroje v diagramu stability. V rámci experimentu nebyla tato sekce využita.

Holder Database: (I don't know)

Holder Name (Manufacturer, 12345, Holder Name)

Name: Holder Name

Manufacturer: Manufacturer

Holder Catalog (Model) Number: 12345

Holder Name: Holder Name

EDP/Barcode/Order Number: EDP Number

Holder Type (TSYC): Shrink Fit

Connection Type (CCWS): Cylindrical

Form Type Workpiece Side (FMT WKPS): Female

Interference: 0,000 mm

Connection Bore Diameter (DCB): 0,000 mm

Interface (CCMS): CAT40

Gage Length (LPR or LF): 75,000 mm

Max Speed (RPMX): 30000

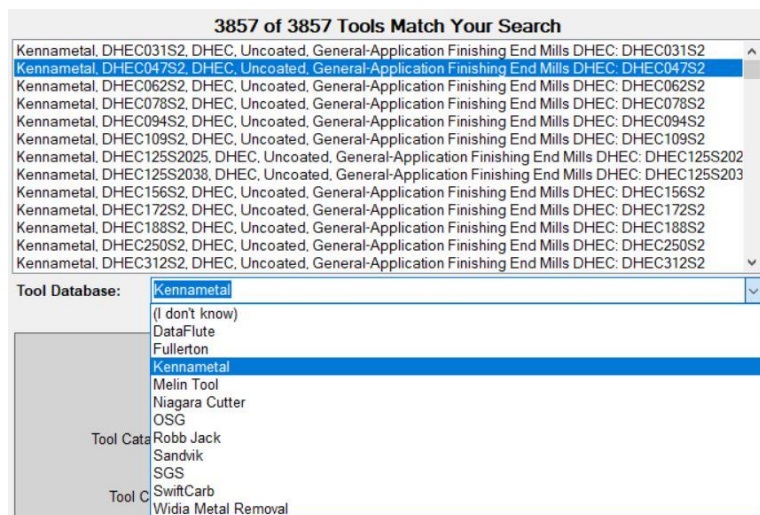
Bending Moment Limit: 0,000 N-m

Buttons: Export DB, Update, Show All Fields, OK, Cancel

Obrázek 17: Nastavení držáku

Tool

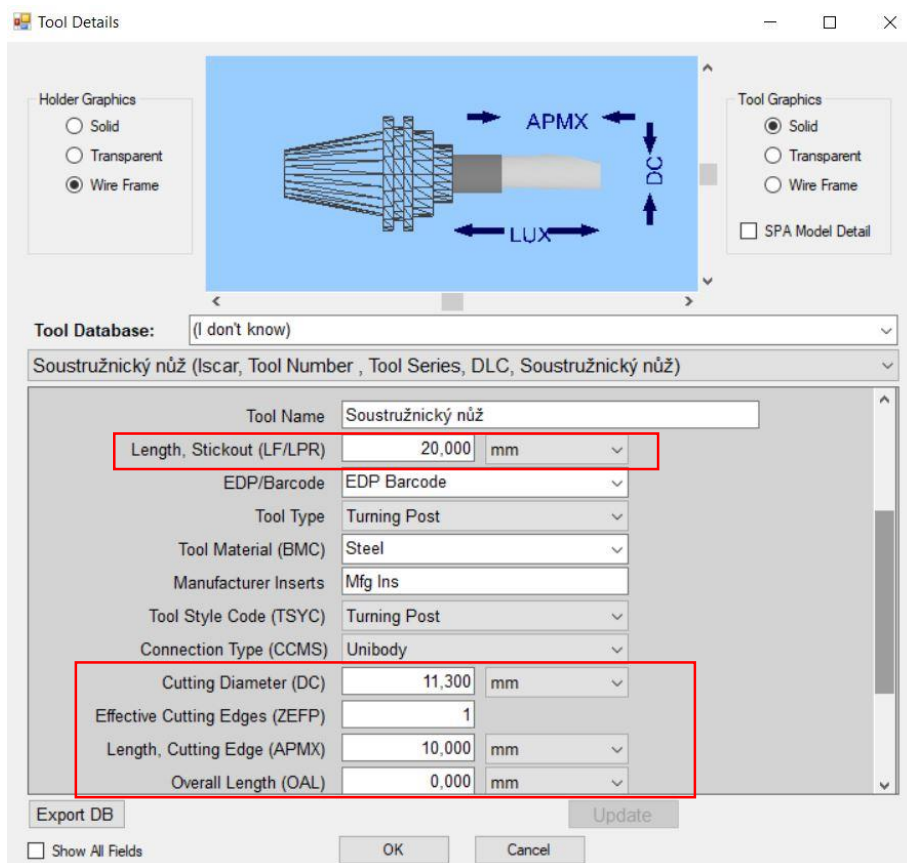
V této části si uživatel může vybrat nástroj v již vytvořené databázi nebo si nadefinovat nový. K nalezení již nadefinovaného nástroje slouží tlačítko „**Toll Search**“. (Obrázek 18)



Obrázek 18: Databáze nástrojů

Databáze nástrojů od výrobce jsou jen pro frézy, proto je nutné si nadefinovat vlastní nástroj v „**Tool Details**“.

V dialogovém okně v „**Tool Details**“ je důležité doplnit informace o novém nástroji a následně uložit do databáze přes tlačítko „**Add**“. [15]



Obrázek 19 : Nastavení nástroje

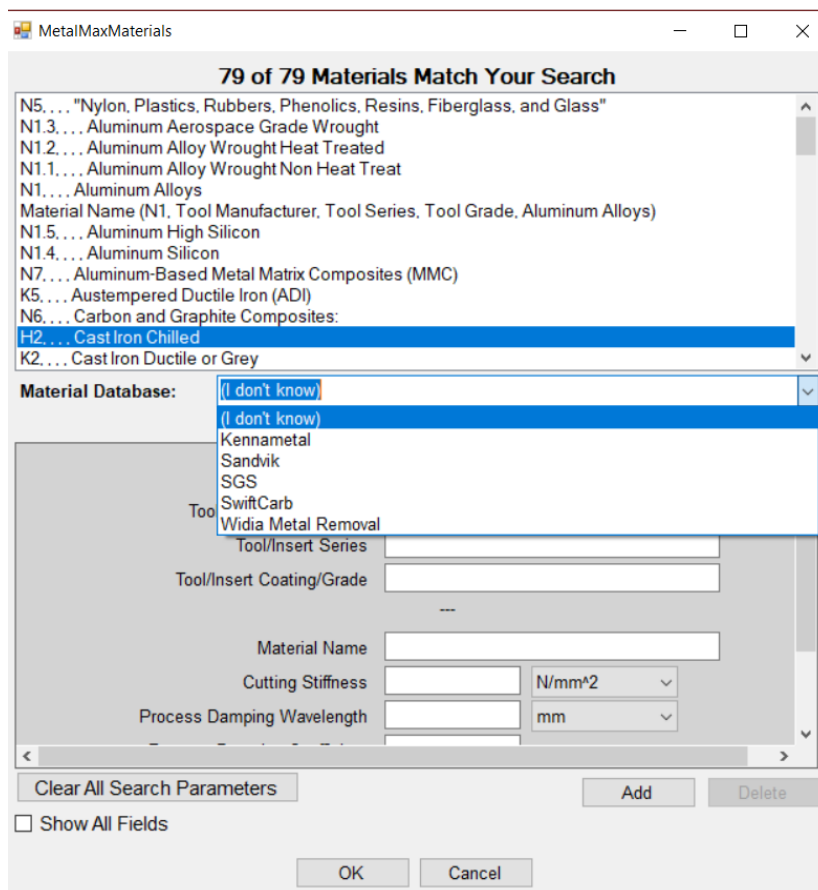
Důležité parametry jsou zvýrazněné červeným rámečkem na obrázku 19.:

- **Length, Stickout** - délka vyložení nástroje z držáku
- **Cutting diameter** - průměr polotovaru
- **Effective cutting edges** - počet řezných břitů
- **Length cutting edge**- délka řezné hrany
- **Overall Length** - celková délka nástroje
- **Nose radius** - poloměr zaoblení břitu

Material

Tato sekce je zaměřena na vyhledání již definovaného materiálu v databázi anebo vytvoření vlastního materiálu. Přes tlačítko „**Material Search**“ je možné si vyhledat již nadefinovaný materiál. V kolonce „**Material Database**“ je přes rolovací seznam nabízeno šest možností. (Obrázek 20) [15]

Obráběný materiál je rozdělen podle ISO do 6 hlavních skupin PMKNSH. Jednotlivé skupiny jsou dále rozděleny do podskupin pro lepší identifikaci materiálu.

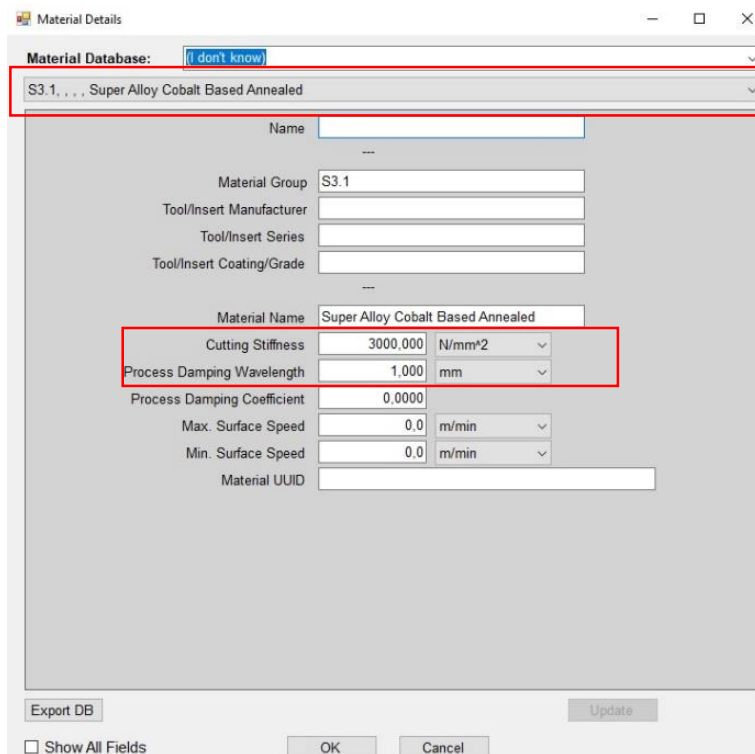


Obrázek 20 : Databáze materiálů

Definování vlastního materiálu je možné vytvořit přes tlačítko „**Material Details**“. Otevře se dialogové okno, kde si uživatel vybere materiálovou skupinu dle PMKNSH. (Obrázek 21) Zadané parametry v popisu materiálu jsou rozhodující pro správný výpočet v diagramu stability. Program TXF obsahuje přibližné hodnoty koeficientů měrného řezného odporu a vlnovou délku tlumení pro širokou škálu materiálů v databázi. Tyto hodnoty jsou dostačující pro korektní předpověď chování materiálu při procesu obrábění. Je možné nastavit konkrétní

parametry pro konkrétní nastavení, ale parametry dané programem jsou ve většině případů dostačující. Uživatel by měl vybrat materiál z databáze, který si nejvíce blíží vlastnostem řezaného materiálu. [15]

Postup ukládání vytvořeného materiálu anebo následná úprava je stejná jako v předchozích sekcích.



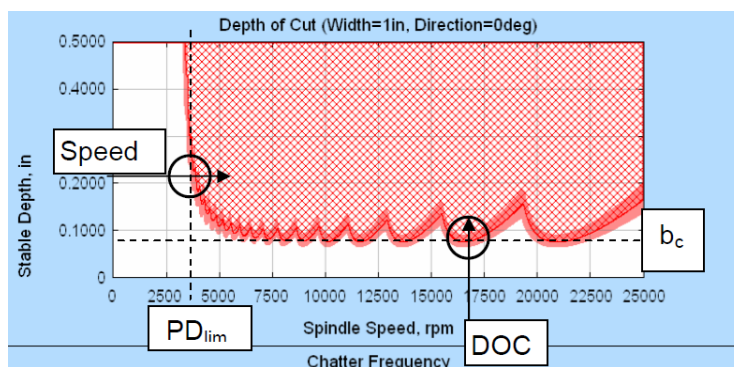
Obrázek 21 : Definování materiálů

V některých případech uživatel chce anebo potřebuje přesné hodnoty měrného řezného odporu a tlumení materiálu. Pro tento účel byl vytvořen podrobný postup od firmy Metalmax.

Postup pro získání přesných hodnot materiálu

Dvě sady testů:

1. Při zvolené konstantní rychlosti vřetena bude navyšována hloubka řezu, dokud nebude detekováno chvění. – test hloubky řezu
2. Při zvolené konstantní hloubce řezu bude navyšována rychlost vřetena, dokud nebude detekováno chvění. – test vřetena [15]



Obrázek 22 : Test materiálu [15]

Test hloubky řezu

- Mezi vyššími hodnotami rychlosti vřetena zvolit konkrétní hodnotu rychlosti vřetena a k této rychlosti přiřadit konkrétní kritickou hodnotu mezní šířky třísky b_{cr} . (DOC)
- Začít v hloubce řezu, která se rovná 1/3 až 1/2 určené hodnoty mezní šířky třísky a dále navyšovat hloubku řezu o 10%. Pomocí programu Harmonizer zjistit, v jaké hloubce započne kmitání.
- Pro výpočet použít mezní šířku třísky b_{cr-new} , to je hloubka řezu před vznikem kmitání.
- Vypočítat dle vztahu K_{s-new} :

$$K_{s-new} = K_s \frac{b_{cr}}{b_{cr-test}}$$

Test vřetena

- Vyhodnotit v jaké rychlosti vřetena se hloubka řezu asymptoticky zvyšuje. (PD_{lim})
- Počáteční rychlost je rovna 1/4 až 1/2 PD_{lim} , hloubka řezu je rovna dvojnásobku mezní šířky třísky b_{cr} .
- Zvyšovat rychlost vřetena o 10% dokud nedojde ke kmitání.
- Pro výpočet použít $PD_{lim-test}$, a to je rychlost vřetena před započítáním kmitání.
- Vypočítat dle vztahu λ_{new} :

$$\lambda_{new} = \lambda \frac{PD_{lim-test}}{PD_{lim}}$$

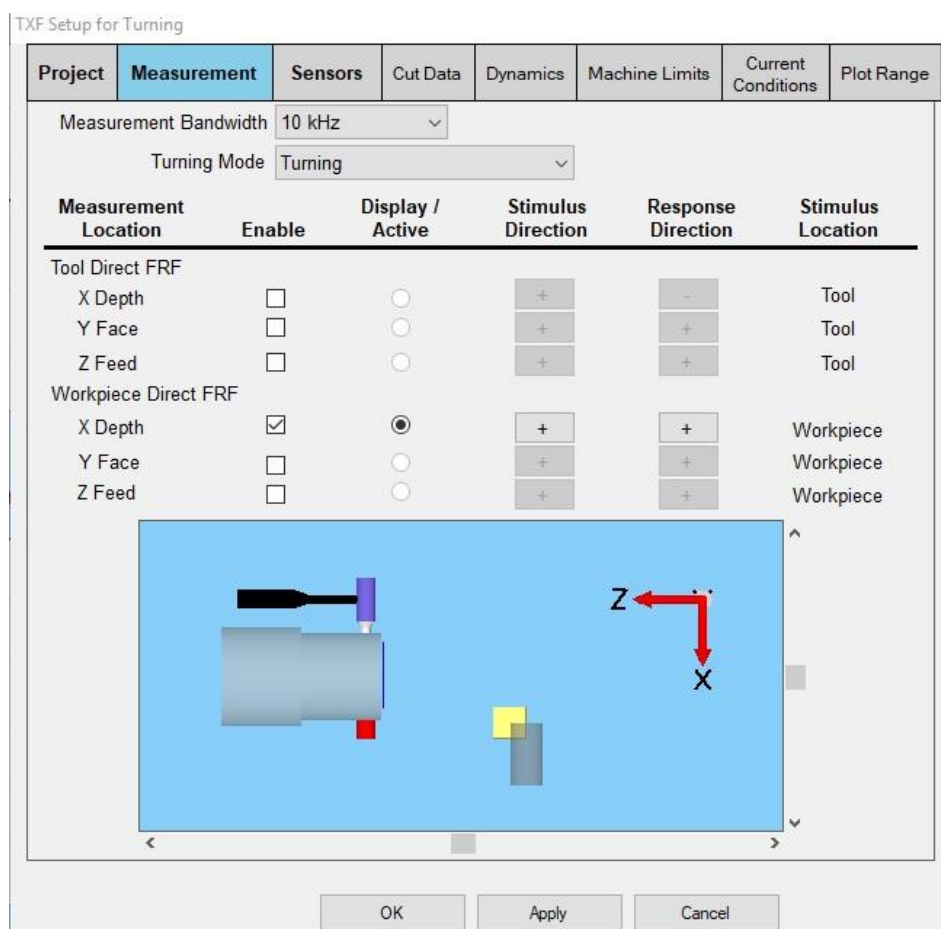
Karta „Measurement“

V této kartě uživatel nastavuje podmínky měření, a to včetně směru nárazu kladívka a směru citlivosti akcelerometru. Jsou k dispozici dvě oblasti měření a to na nástroji anebo na obrobku. (Obrázek 24)

„**Measurement Bandwidth**“ - Slouží k nastavení šířky pásma. Pokud uživatel neví anebo si není jist, jaká šířka pásma je vyhovující, nejdříve by měl nastavit vysokou hodnotu šířky pásma a provést měření. Pokud tato hodnota nevyhovuje, je potřeba snížit šířku pásma na takovou hodnotu, aby bylo možné stále zaznamenávat příslušné frekvence. Dále je potřeba zaškrtnout políčko pod názvem „**Enable**“, které určuje jaký druh měření má být aktivní pro měření.

Označením políčka „**Display/Active**“ dojde na displeji ke grafickému zobrazení aktivního nastavení měření, a to včetně umístění akcelerometru a dopadového místa. Označením „**Stimulus Direction**“ uživatel nastavuje kladný nebo záporný směr dané souřadnice a umístění nárazového kladívka vůči souřadnicím. „**Response Direction**“ má stejnou funkci jako „**Stimulus Direction**“, ale platí pro akcelerometr. (Obrázek 23)

Na základě doporučení by se mělo vždy začít měření v aktivním směru X. Pokud je dodrženo doporučení, software automaticky vyzve uživatele, aby pokračoval měřením ve směru Y. Pokud, není dodrženo doporučení, je nutné ručně označovat aktivní směr měření mezi každou sadou nárazů. [15]



Obrázek 23: Karta Measurement

Karta „Sensors“

V kartě „Sensors“ uživatel uvádí, jaké typy snímačů budou používány při měření a jejich konfigurace, tzn. citlivost snímače a jeho rozsah.

„**Measurement Configuration**“ – Tato kolonka se automaticky vyplní, pokud uživatel nastavil v kartě „Measurement“ na jakém objektu bude prováděno měření.

„**Sensor Name**“ - Uživatel musí pro každý kanál zvolit sensor již z vytvořené databáze anebo si vytvořit vlastní sensor s příslušnými informacemi a následně ho uložit do databáze.

„**Integration**“ - Je funkce měnící změřený signál do požadovaných jednotek. Uživatel má na výběr mezi třemi možnostmi.:

- **None** - senzor výchytky
- **Single** - senzor rychlosti
- **Double** - senzor zrychlení

„**Signal Range**“ - Je rozsah signálu daného senzoru. Pro nejlepší poměr signál/šum by měl být rozsah nastaven těsně nad maximální hodnotou. Například pokud je maximální signál 0,8V, rozsah by měl být nastaven na $\pm 1V$. Pokud uživatel nemá k dispozici dokumentaci příslušného senzoru a neví jaký rozsah nastavit, je doporučeno nastavit vysoký rozsah $\pm 10V$ a provádět opakovaně měření pro zjištění rozsahu signálu daného senzoru. [15]

„**Analog Ground Ref**“ – Představuje analogové uzemnění, které váže vztažný bod měření na hodnotu napájení počítače. Doporučuje se shromažďovat data na notebooku s odpojením napájením ze sítě, aby se odstranily problémy s uzemněním. Neuzemněná zařízení napájena střídavým napětím mohou velmi ovlivnit zařízení s jednosměrným proudem.

Pokud nastává problém s uzemněním, je nutné odškrtnout možnost „**Analog Ground Ref**“. Tento problém může nastat, pokud je špatně uzemněný stroj nebo nástroj.

„**Trigger Threshold**“ – Je hodnota udávající, od jakého hladinového signálu začne probíhat měření. Tato hodnota by měla být nastavena dostatečně vysoká, a to z toho důvodu aby při odložení kladívka software nezahájil měření.

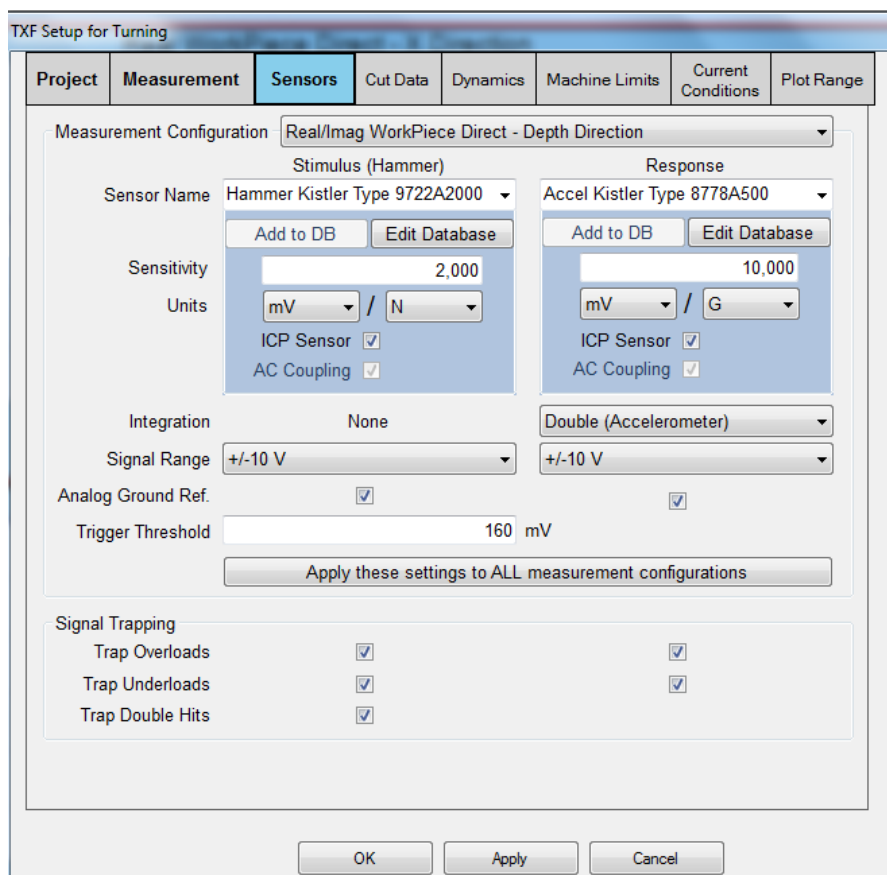
„**Signal Trapping**“ - Je funkce sloužící k upozornění uživatele, pokud signál překročí rozsah nastavený v „Signal Range“.

Následující kontrolní funkce „**Trap Overloads, Trap Underloads, Trap Double Hits**“ jsou automaticky aktivní.

„**Trap Overloads**“ – Tato funkce upozorňuje uživatele, pokud síla nárazu nebo odezva akcelerometru je vyšší než nastavený rozsah signálu “Signal Range“.

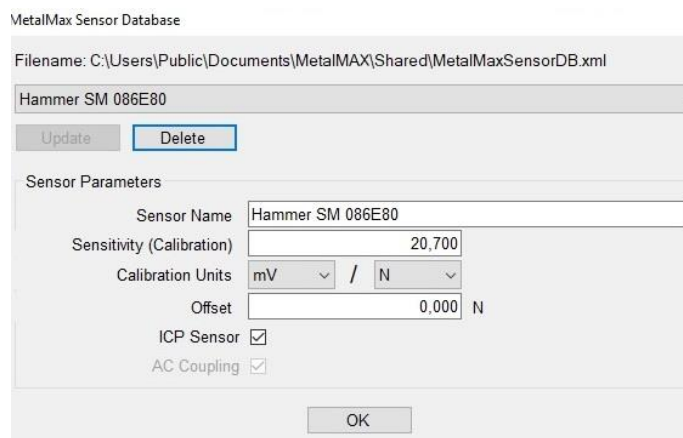
„**Trap Underloads**“ - Tato funkce upozorňuje uživatele, pokud síla nárazu nebo odezva akcelerometru je nižší než nastavený rozsah signálu “Signal Range“.

„**Trap Double Hits**“ - Tato funkce upozorňuje uživatele, pokud software detekuje dva nárazy v rámci měření. [15]



Obrázek 24: Karta Sensors

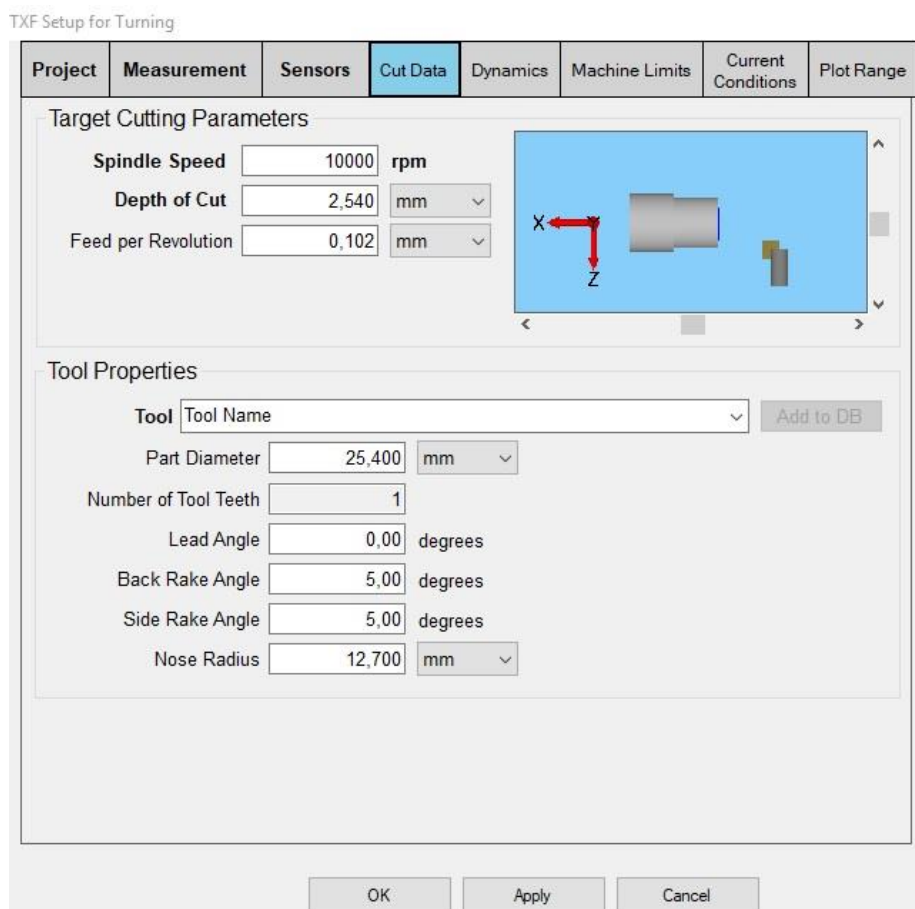
Pro úpravu již uloženého senzoru v databázi slouží tlačítko „**Edit Database**“. Úprava již vytvořeného a uloženého senzoru v databázi se provede tak, že si uživatel vybere příslušný senzor v rolovacím seznamu, provede změnu a uloží přes tlačítko „**Update**“



Obrázek 25: Úprava senzorů

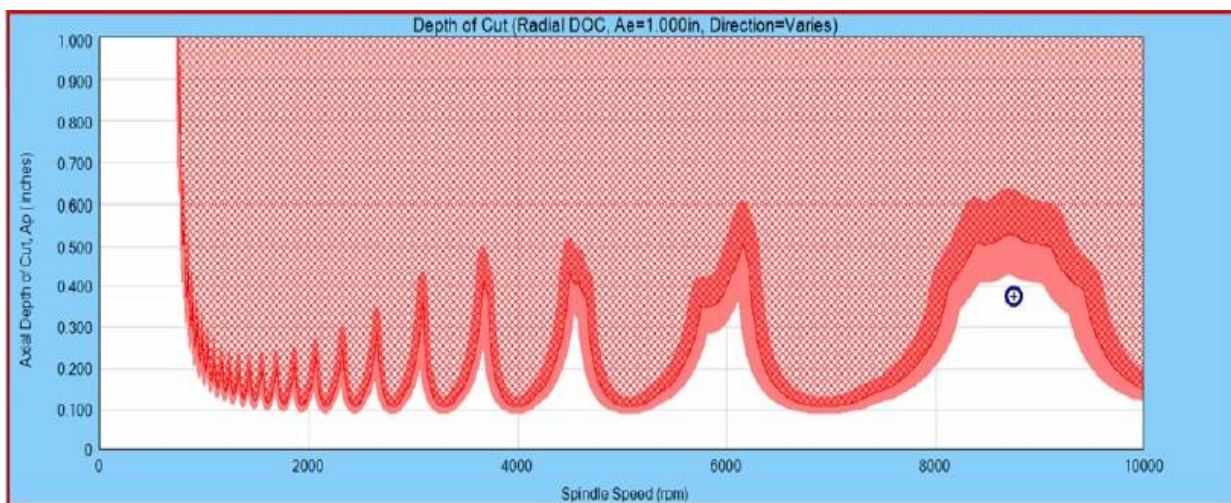
Karta „Cut data“

V kartě „**Cut Data**“ uživatel nastavuje parametry pro řezný proces a vlastnosti nástroje. (Obrázek 26)



Obrázek 26: Karta Cut Data

„**Target Cutting Parameters**“ - Je sekce, ve které uživatel nastavuje otáčky vřetena, hloubku řezu a posuv na otáčku. Tyto parametry budou zobrazeny v diagramu stability pomocí modrého symbolu. (Obrázek 27)



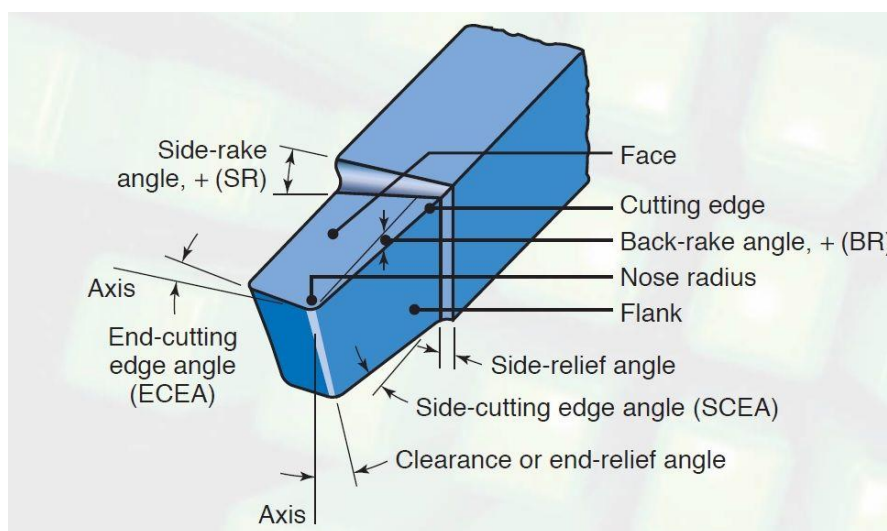
Obrázek 27: Zobrazení řezných parametrů v Diagramu stability

V sekci „**Tool Properties**“ uživatel nastavuje úhly nástroje, průměr polotovaru, počet zubů nástroje a rádius nože.

Důležité parametry v této sekci jsou:

- **Part Diameter** - průměr polotovaru
- **Number of Tool Teeth** - počet zubů nástroje
- **Nose radius** - rádius nože

Úhly nástroje jsou podle originálního manuálu jen informativní pro uživatele SW a nejsou využity pro výpočet diagramu zobrazující chvění od řezných sil. Mezi tyto úhly patří „**Lead Angle, Back Rake Angle, Side Rake Angle**“. [15]

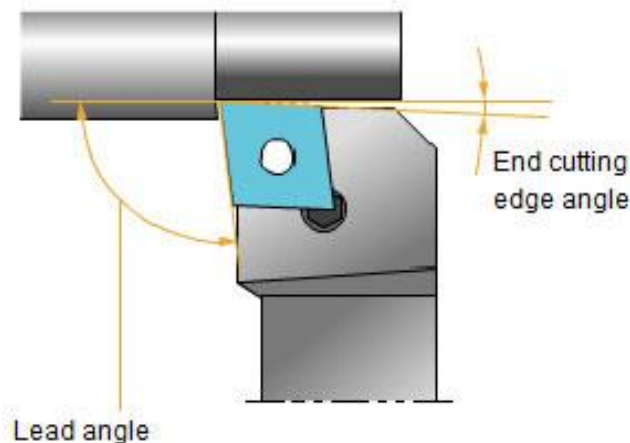


Obrázek 28: Geometrie nástroje [16]

„**Back Rake Angle**“ - Je podle českého značení úhel sklonu ostří λ_s , v zadní nástrojové rovině.

„**Side Rake Angle**“ - Je podle českého značení úhel čela γ_f definovaný v boční nástrojové rovině.

„**Lead Angle**“ - Je podle českého značení úhel nastavení hlavního ostří κ_r . (Obrázek 29)



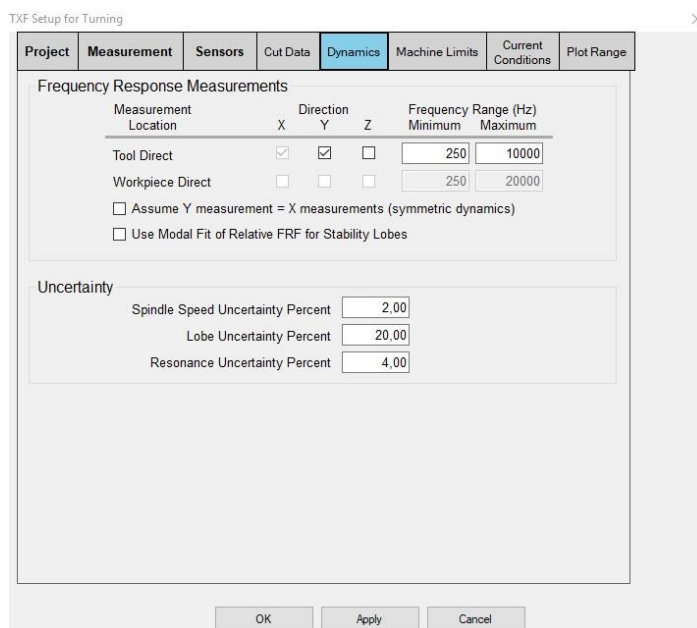
Obrázek 29: Úhel nastavení hlavního ostří [17]

Karta „Dynamics“

Záložka „Dynamics“ umožňuje uživateli nastavit parametry, které jsou specifické pro generování diagramu stability. (Obrázek 30)

V části „Frequency Response Measurements“ se zobrazí jen aktivní buňky, které byly již definovány v kartě „Measurements“, a podle vybraného řezného procesu v kartě „Project“. Pro každé aktivní měření by měly být uvedeny minimální a maximální hodnoty frekvenčního rozsahu.

„Assume symmetric dynamics“ - Ve většině případů bude velmi podobná frekvenční odezvovalá funkce ve směru X a ve směru Y. Tato funkce nastaví rovnost směru X a směru Y a tím zkrátí čas měření. [15]



Obrázek 30: Karta Dynamics

„**Use modal Fit of Relative RFF for stability lobes**“ - Je funkce, která pro generování diagramu stability využívá modální data místo reálně naměřených. Tato funkce se používá, pokud se při měření vyskytuje vysoká hodnota šumu anebo při měření nástrojů s velmi malým průměrem.

„**Uncertainty**“ - Je nejistota měření, která představuje, s jakou přesností může být dosaženo požadovaného výsledku. Měření může být ovlivněno velkou škálou příčin. Příčinou může být zvolení špatného postupu měření, senzory, anebo nedostatečné informace. Tato nejistota je vygenerována v diagramu stability jako rozmezí kolem vypočteného parametru.

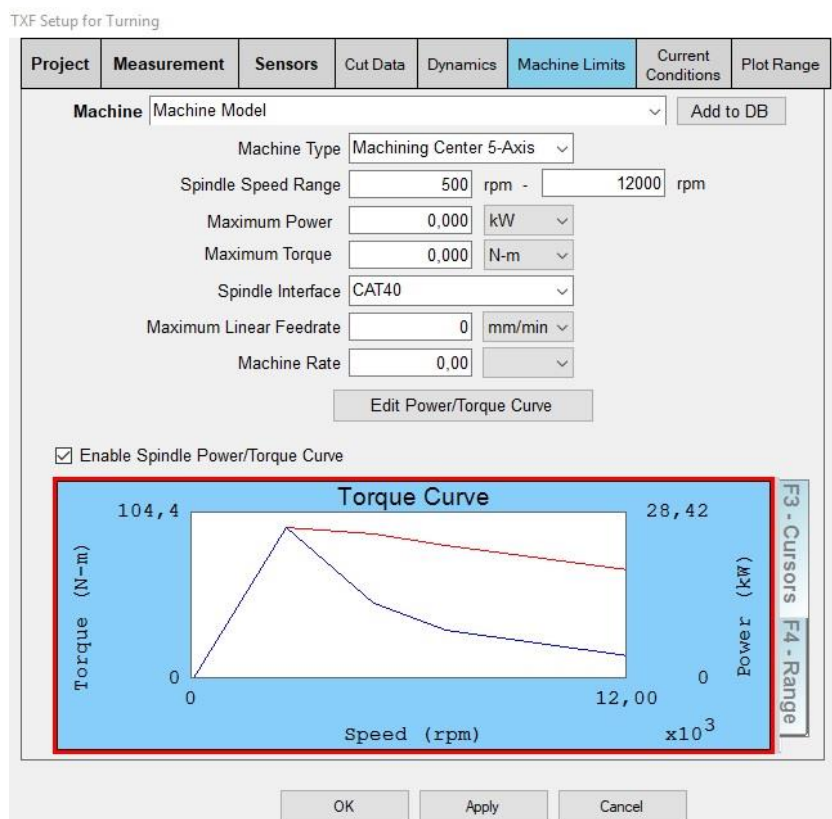
„**Spindle Speed Uncertainty Percent**“ - Je nejistota rychlosti vřetena v procentech. Hodnota kolem 2-5% je standartní hodnota pro provozní rychlost vřetena. Tento parametr způsobí zúžení „lobů“ v diagramu stability a ztučnění výstražné dráhy podél axiální hloubky osy řezu.

„**Lobe Uncertainty Percent**“ - Je parametr, který způsobí snížení stabilní hloubky řezu, a to ztučněním výstražné dráhy podél axiální hloubky osy řezu. Tento parametr zobrazuje nejistotu hloubky řezu. Hloubka řezu je primárně ovlivněna vlastnostmi materiálu, a to konkrétně měrným řezným odporem. Standartní hodnota nejistoty je 20%.

„**Resonance Uncertainty Percent**“ - Je parametr, který udává tloušťku rezonančního pásma v diagramu stability. [15]

Karta „Machine Limits Tab“

V této kartě jsou zobrazeny parametry stroje, které uživatel zvolil v kartě „**Project**“. Tyto parametry budou dále použity při generování diagramu stability a k zobrazení limitů v tomto diagramu. (Obrázek 31)



Obrázek 31: Karta Machine Limits

Graf v kartě „**Machine Limits**“ zobrazuje závislost mezi výkonem a rychlostí vřetena a závislost mezi točivým momentem a rychlostí vřetena. Pokud uživatel požaduje zobrazení limitů stroje v diagramu stability, je nutné aktivovat políčko „**Enable Power/ Torque**“.

Karta „**Current Conditions**“

V této kartě uživatel vyplní řezné parametry, se kterými by chtěl obrábět daný polotovár. Dále je možné napsat poznámky do příslušného okna. (Obrázek 32)

„**Tool Radial DOC**“ - Je parametr, který se vyplní automaticky.

„**Set Current Condition = Cutting Parameters**“ - Toto tlačítko změní řezné parametry v této kartě na shodné parametry v kartě „**Cut Data**“.

Po vyplnění informací je nutné potvrdit tlačítkem „**Apply**“. [15]

TXF Setup for Turning

Project	Measurement	Sensors	Cut Data	Dynamics	Machine Limits	Current Conditions	Plot Range
---------	-------------	---------	----------	----------	----------------	--------------------	------------

Spindle Speed rpm

Plunge Feedrate

Feed per Revolution mm

Tool Radial DOC (AE) mm

Current Condition

Notes

Attachments

Obrázek 32: Karta Current Conditions

Karta „**Plot Range**“

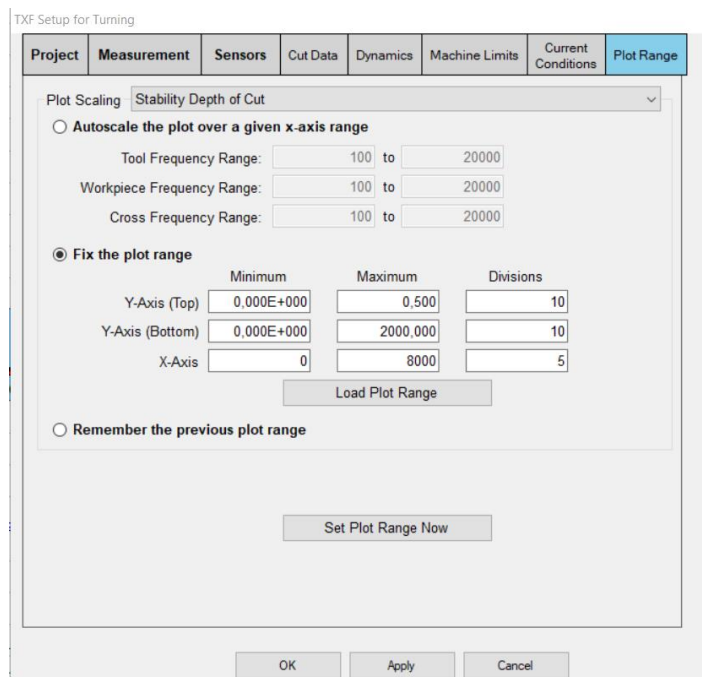
Tato karta umožňuje uživateli nastavit rozmezí hodnot pro každý typ grafu. Typy grafů se nachází v rolovacím seznamu „**Plot Scaling**“. (Obrázek 33)

„**Autoscale the plot over a given x-axis range**“ - Tato funkce slouží k automatickému rozložení osy Y v závislosti na frekvenčním rozsahu osy X. Frekvenční rozsah lze nastavit u nástroje a obrobku.

„**Fix the plot range**“ - Pomocí této funkce lze ručně nastavit hodnoty osy X a Y.

„**Load plot range button**“ - Je tlačítko, které načte aktuální hodnoty grafu do příslušných buněk. Používá se tehdy, pokud si uživatel není jistý správností nastavených hodnot v ose X a v ose Y.

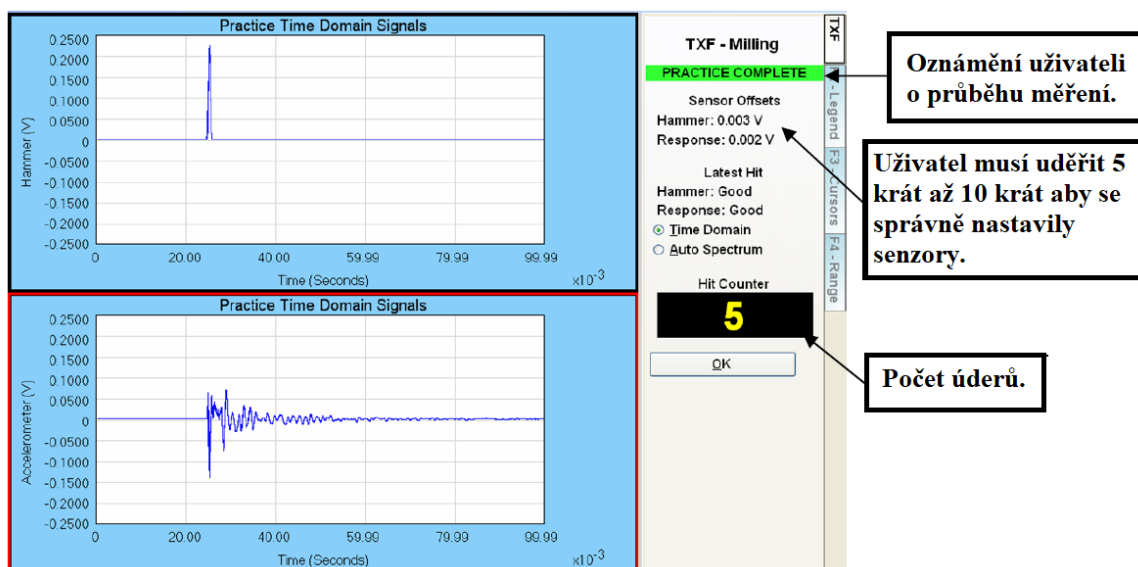
„**Remember the Previous Plot Range**“ - Tato funkce slouží k zapamatování nastavených hodnot pro další měření. [15]



Obrázek 33: Karta Plot Range

Sekce Practice

Tlačítko „**Practice**“ je dostupné jen s hardwarovým klíčem. Praktická část slouží k ověření správnosti fungování senzorů a to pomocí tréninku. Po spuštění tlačítka „**Practice**“ se objeví obrazovka, která se skládá ze čtyř karet „**TXF, Legend, Cursors, Range**“.



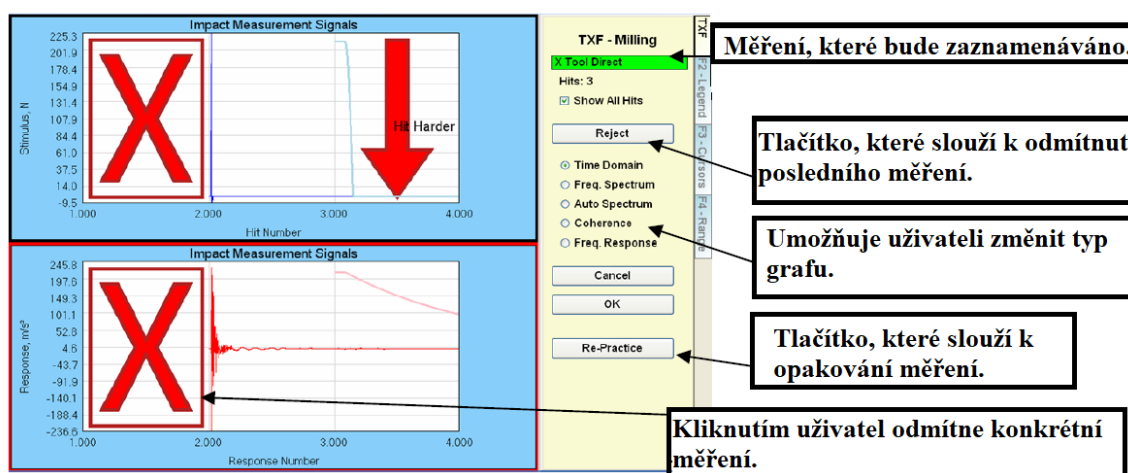
Obrázek 34: Obrazovka Practice

Praktické měření probíhá tak, že uživatel udeří kladívkem do objektu a akcelerometr zaznamenává odezvu. Na obrazovce se objeví, zda kladivo a akcelerometr fungují správně a že uživatel provedl správné vybuzení soustavy (Diracův impuls - jednotková velikost, nekonečně krátký čas). Toto měření uživatel opakuje tak dlouho, dokud se neobjeví hláška „Practice Complete“. (Obrázek 34) [15]

„Auto Spectrum“ - Je funkce, která zobrazuje rozsah frekvencí a velikost nárazové síly.

Sekce „Measure“

Prvotním krokem je zkontrolování směru nárazu, směr uchycení akcelerometru a na jakém objektu bude probíhat měření. Pro správný výpočet je nutné naměřit tři správné úder. Pokud uživatel chce ukázat všechny jeho provedené úder do objektu, je nutné zaškrtnout tlačítko „Show All Hits“.



Obrázek 35: Obrazovka měření

„Reject“ – Toto tlačítko umožňuje uživateli odmítnout poslední naměřený úder. Pokud chce uživatel vyčlenit některý z předchozích úderů, stačí příslušný úder označit (velké červené X) a potvrdit tlačítkem „Reject“. Je možné toto rozhodnutí změnit a to kliknutím na velký červený X a odmítnutý úder se opět stává aktivním. (Obrázek 35)

Existuje pět různých typů grafů, které lze použít v průběhu procesu měření.

- Time Domain
- Freq. Spectrum
- Auto Spectrum
- Coherence
- Freq. Response

„Time Domain“ – Graf zobrazující závislost mezi velikostí síly úderu a velikostí odezvy vůči času.

„Freq. Spectrum“ - Graf zobrazující závislost mezi velikostí síly úderu a velikostí odezvy vůči frekvenci.

„Auto Spectrum“ – Software vybere nejvhodnější graf.

„Coherence“ – Koherence je hodnocení kvality údajů a určuje, jaká část systémové odezvy se vztahuje ke vstupní síle.

„**Freq. Response**“ – Tento graf zobrazuje reálnou a imaginární část frekvenční odezvové funkce.

„**Re-Practice**“ – Toto tlačítko slouží k opětovnému tréninku senzorů („Practice“) anebo k resetování automatického rozsahu senzorů. Funkce je využívána, pokud při měření dojde k vysokému počtu chybných úderů (Hit Harder, Hit Softer).

„**Cancel**“ – Slouží ke zrušení měření a vymazání záznamu provedeného měření.

„**Ok**“ – Slouží pro potvrzení naměřených dat.

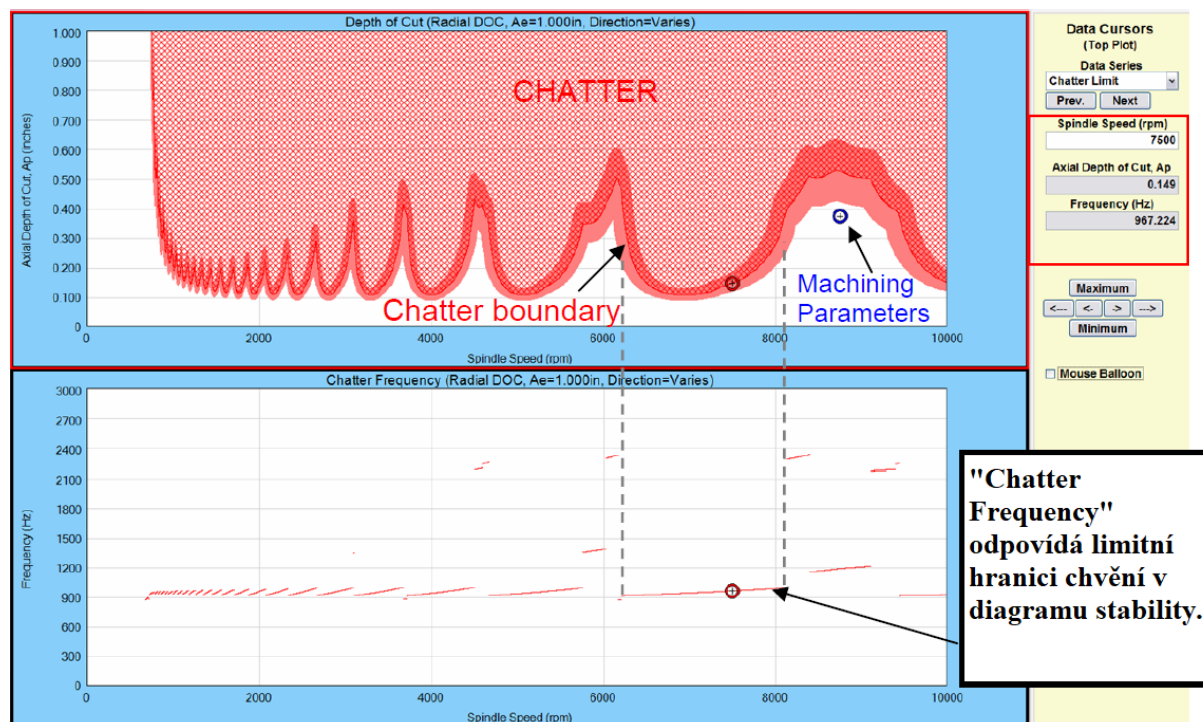
Po potvrzení naměřených dat se zobrazí hlavní obrazovka programu TXF, na které se zobrazí frekvenční odezvová funkce příslušného měření. (Obrázek 10) [15]

Sekce „Stability Plots“

Tlačítko „**Stability Plots**“ vygeneruje diagram stability, který je založený na frekvenční odezvové funkci a nastavených parametrech v sekci „**Setup**“.

Graf umístěný pod diagramem stability se nazývá „**The Chatter Frequency Graph**“. Tento graf zobrazuje závislost mezi frekvencí a otáčkami vřetena. Červený symbol představuje při jaké frekvenci a zadaných otáčkách vřetena (vpravo na obrázku 36) dochází k chvění.

Modrý symbol („**Machining Parameters**“) označuje rychlost vřetena a hloubku řezu. Tyto parametry jsou zadány v kartě „**Cut Data**“ pod sekci „**Target Cutting Parameters**“.



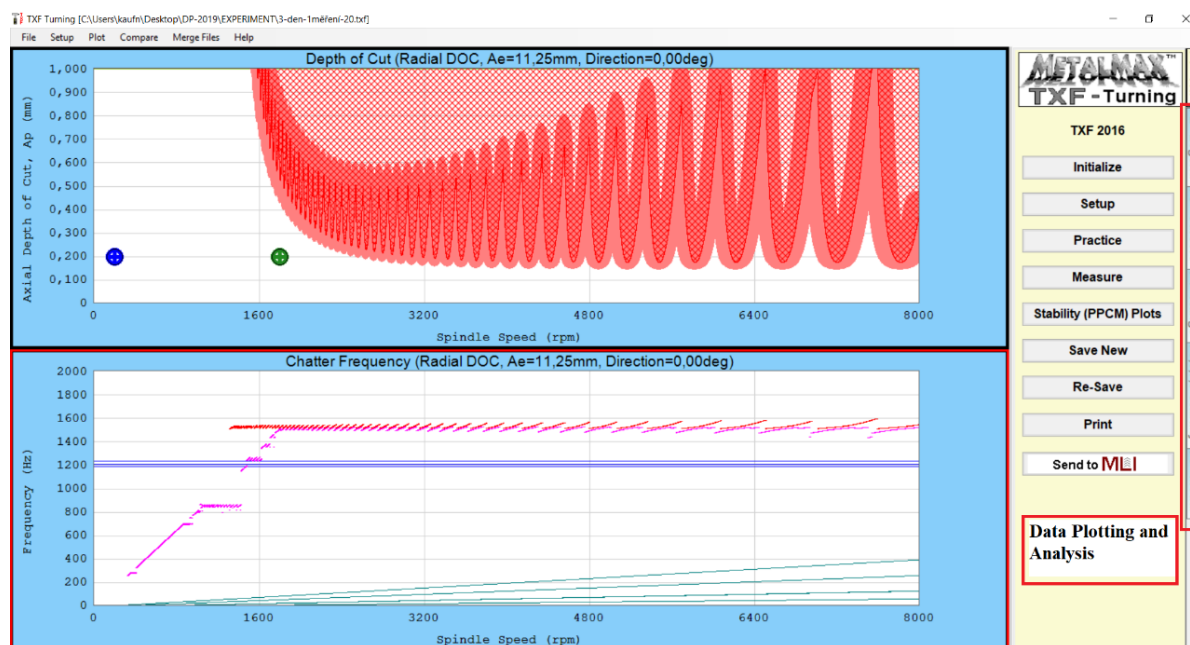
Obrázek 36: Výsledné grafy

„**Save New**“ - Ukládá nový soubor.

„**Re-Save**“ - Ukládá nově naměřená data do již vytvořeného souboru a přepíše stará data. [15]

4.1.2 Data Plotting and Analysis

Tato část návodu popisuje nastavení vizuálního zobrazení dat, nastavení a analýzu diagramu stability. Na pravé straně obrázku se nacházejí jednotlivé záložky. Tyto záložky lze spustit poklepáním anebo pomocí F-klávesnic. [15]

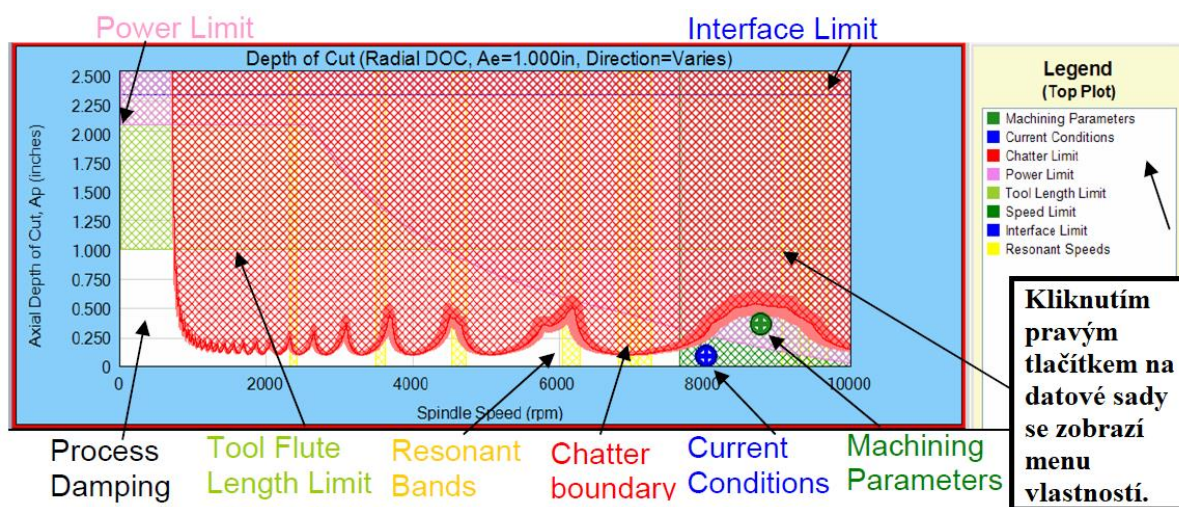


Obrázek 37: Nastavení a analýza diagramu stability

F2 - Legend

Tato záložka umožňuje uživateli zapnout a vypnout limity grafů a změnit jejich vlastnosti. Nabídka vlastností pro dané limity se zobrazí kliknutím pravým tlačítkem na požadovanou limitu.

Pokud uživatel v kartě „Project“ zadal všechny informace o procesu obrábění, stroji, nástroji, držáku a materiálu, poté má k dispozici osm limitních hranic, které lze zobrazit v Diagramu stability. (Obrázek 38) Aktivace jednotlivých limitů se provede kliknutím levého tlačítka myši na příslušnou limitní hranici. [15]



Obrázek 38: Karta Legend

„**Machining Parameters**“ - Jsou řezné parametry zadané uživatelem v kartě „Cut Data“.

„**Current Conditions**“ - Jsou řezné parametry zadané uživatelem v kartě „Current Conditions“.

„**Chatter Limit**“ - Představuje tzv. lobby. Slouží k rozdělení mezi stabilním a nestabilním procesem obrábění.

„**Power Limit**“ - Je křivka zobrazující limitní hranici výkonu. Informace o výkonové křivce byla zadána v kartě „Project“.

„**Tool Length Limit**“ - Zobrazuje maximální povolenou hloubku řezu, která je vypočtena z parametru „cutting edge length“.

„**Speed Limit**“ - Je maximální povolená rychlost vřetena, která je závislá na hodnotě „maximum surface speed“. Tato hodnota se zadává v „Material Details“.

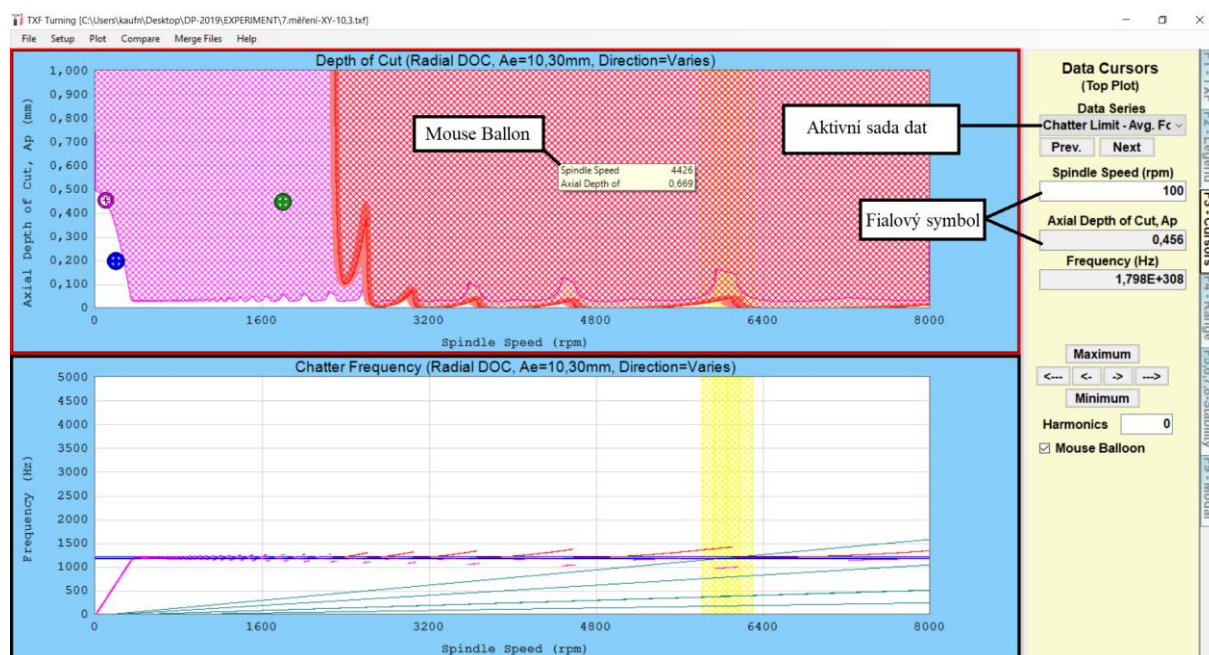
„**Interface Limit**“ - Je limit, který je vypočten z parametrů „Interface, Spindle Bearing Limit“.

„**Resonant Speeds**“ - Rezonanční rychlosti představují rezonanční pásma, které odpovídají dominantní přirozené frekvenci systému.

„**Process Damping**“ – Je oblast stabilního obrábění.

F3 – Cursors

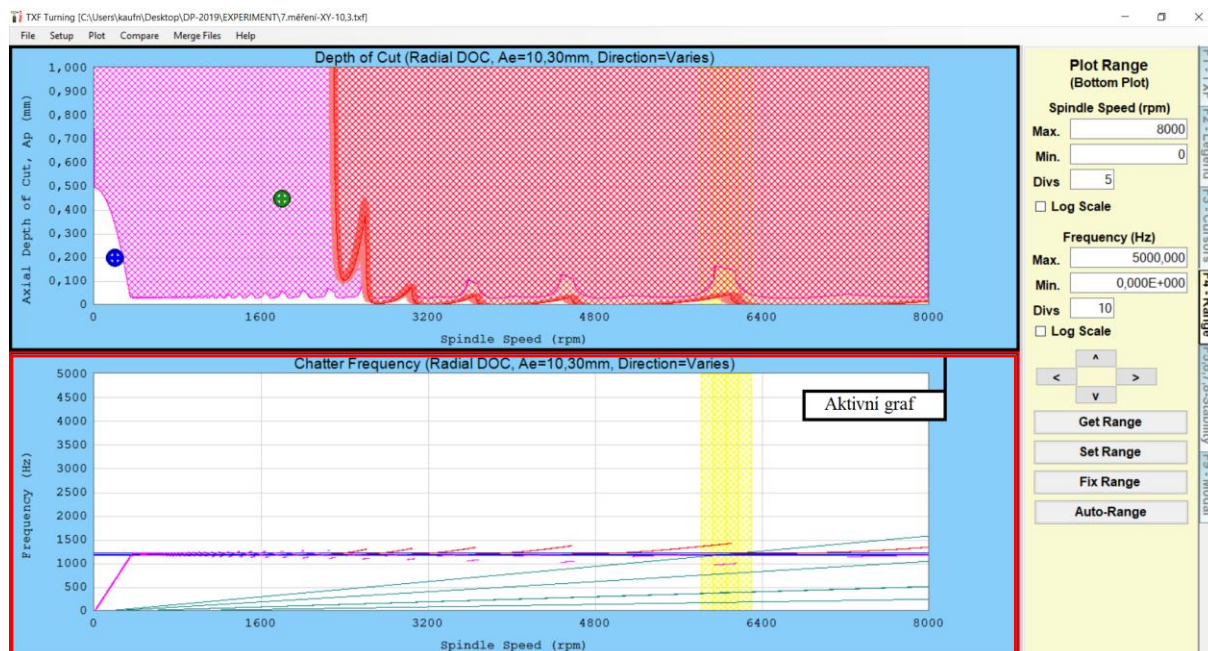
Tato záložka slouží k získávání informací o chování systému v závislosti na otáčkách vřetena. Nejdříve si uživatel vybere aktivní sadu dat a poté zadá požadované otáčky. Výsledné informace jsou zobrazeny pomocí symbolu. Každý symbol má své barevné rozlišení podle nastavených barev v záložce „**Legend**“. (Obrázek 39) [15]



Obrázek 39: Karta Cursors

F4 – Range

Tato záložka umožňuje uživateli nastavit rozsah osy X a osy Y pro každý typ grafu. Nastavení v pravé části obrazovky jsou relevantní pro aktivní graf (červeně orámovaný).



Obrázek 40: Karta Range

„**Get Range**“ - Tato funkce načte aktuální hodnoty rozsahu aktivního grafu do příslušných buněk.

„**Set Range**“ - Tato funkce změní rozsah aktivního grafu podle zadaného rozsahu uživatelem. [15]

„**Fix Range**“ - Tato funkce změní výchozí nastavení v kartě „Plot Range“ a zafixuje aktuální hodnoty grafu. Pokud uživatel nastavil „Auto-Range“ v kartě „Plot Range“ je touto funkcí deaktivován.

F5, F6, F7, F8 – Stability Lobes

V této záložce lze vytvořit z naměřených dat čtyři typy diagramů stability.

- **F5 - Depth of cut (DOC) Lobes**
- **F6 - Cross Section Area Lobes**
- **F7 - Metal Removal Rate (MRR) Lobes**
- **F8 - Power Lobes**

F9 - Modal

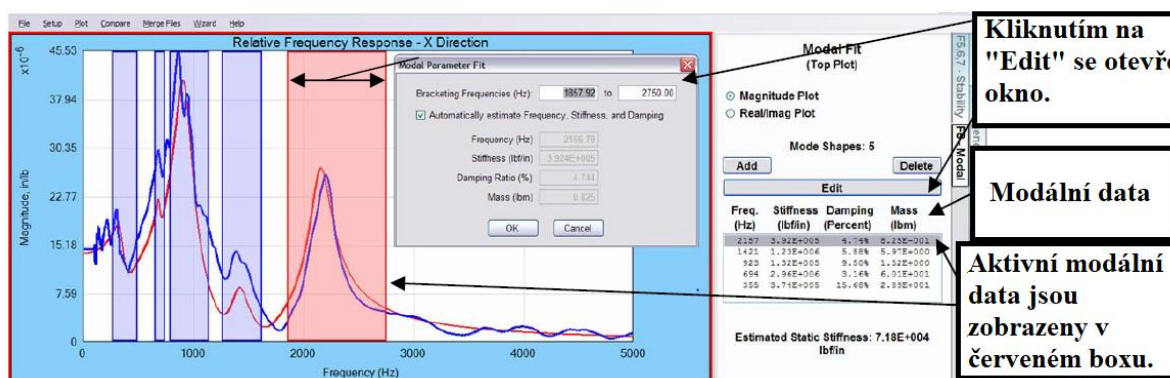
Tato záložka slouží k realizaci modální analýzy z naměřených dat. (Obrázek 41)

Modální analýza slouží k několika účelům.:

- Vypočtení a zobrazení diagramu stability z modálních dat namísto skutečně naměřených.
- Vypočtení a zobrazení tvaru dat v režimu „**Mode Shapes**“.
- Identifikace modálních dat.

Postup provedení modální analýzy dat.:

- Klepnutím na tlačítko „**Add**“ se zobrazí červený rámeček představující rozsah vybrané frekvence.
- Rozsah frekvence lze měnit dvěma způsoby. Klinutím a následným tažením hranice, nebo kliknutím na tlačítko „**Edit**“ a ručně zadat rozsah.
- Software automaticky odhadne frekvenci, tuhost a tlumení a zobrazí vypočtené hodnoty pomocí červené křivky.



Obrázek 41: Modální analýza

Right Click and Zoom options

Nabídka je přístupná klepnutím pravým tlačítkem v libovolné části grafu. Toto menu obsahuje možnosti přiblížení a rychlou změnu zobrazovaného grafu. Přiblížení určité oblasti grafu se realizuje podržením levého tlačítka a tažením boxu.

„**Zoom Extents**“ - Tato funkce obnoví rozsah os podle aktivního nastavení rozsahu v kartě „Plot Range“.

„**Zoom Previous**“ - Tato funkce vrátí rozsah os na jejich předešlou hodnotu. [15]

„**Toggle Grid Lines**“ - Tato funkce zapne/vypne mříž v grafu.

„**Real/Imaginary**“ - Umožňuje uživateli zvolit zobrazení „Real/Imaginary plot“ pro každé provedené měření.

„**Coherence/Magnitude**“ - Umožňuje uživateli zvolit zobrazení „Coherence/Magnitude plot“ pro každé provedené měření.

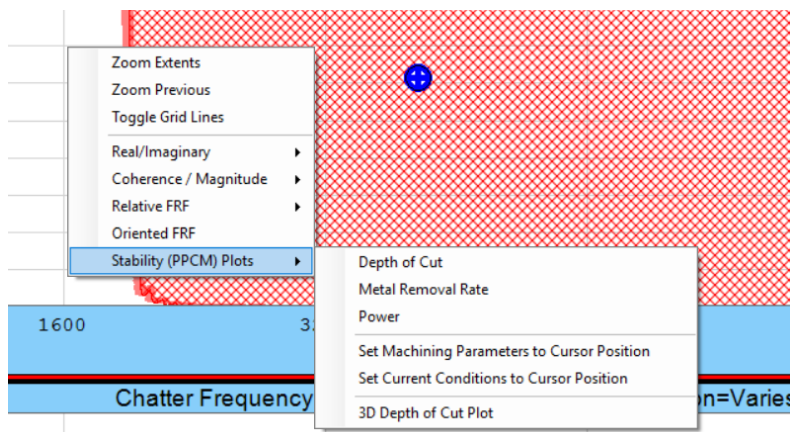
„**Relative FRF**“ - Tato funkce slučuje frekvenční odezvové funkce (nástroj, obrobek) v jednotlivých osách.

„**Oriented FRF**“ - Tato funkce slučuje všechny frekvenční odezvové funkce v ose X a v ose Y do jednoho grafu.

„**Stability Plots**“ - Tato funkce nabízí již zmíněné typy diagramů stability a 3D graf hloubky řezu.

„**Set machining parameters to cursor position**“ - Tato funkce nastaví aktuální pozici kurzoru podle parametrů zadaných v kartě „Cut Data“.

„**Set current conditions to cursor position**“ - Tato funkce nastaví aktuální pozici kurzoru podle parametrů zadaných v kartě „Current Conditions“. [15]



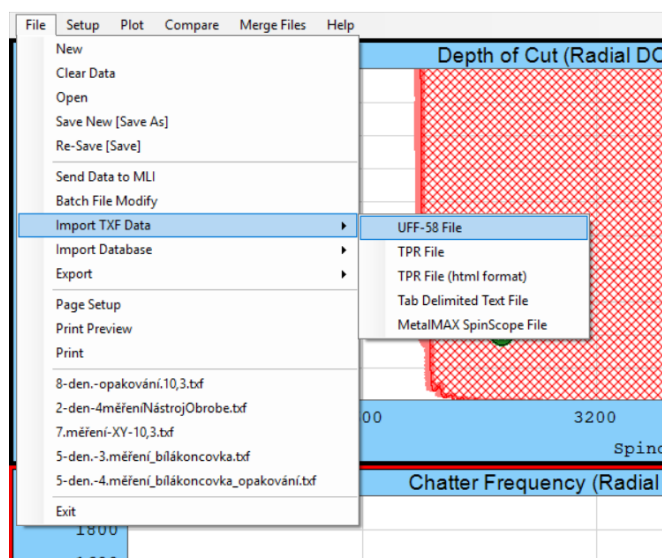
Obrázek 42: Right Click and Zoom options

4.1.3 Drop Down Menu

„**Drop Down Menu**“ nabízí další způsob přístupu ke všem výše popsaným funkcím. Dále jsou k dispozici další funkce, které nelze jiným způsobem aktivovat.

The File Menu

Tato záložka umožňuje uživateli vytvoření nového souboru, otevření existujícího souboru, opětovnému uložení, uložení dat s novým názvem, import a export dat, možnost tisku. [15]



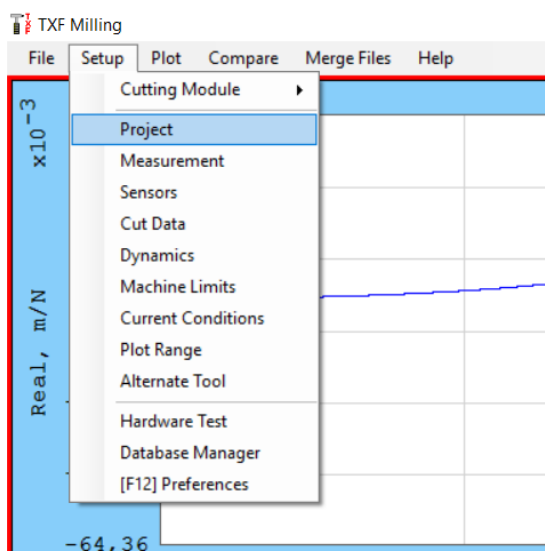
Obrázek 43: The File Menu

Setup Drop Down Menu

Tato záložka umožňuje uživateli přístup ke stejným funkcím jako v „TXF main menu“. [15]

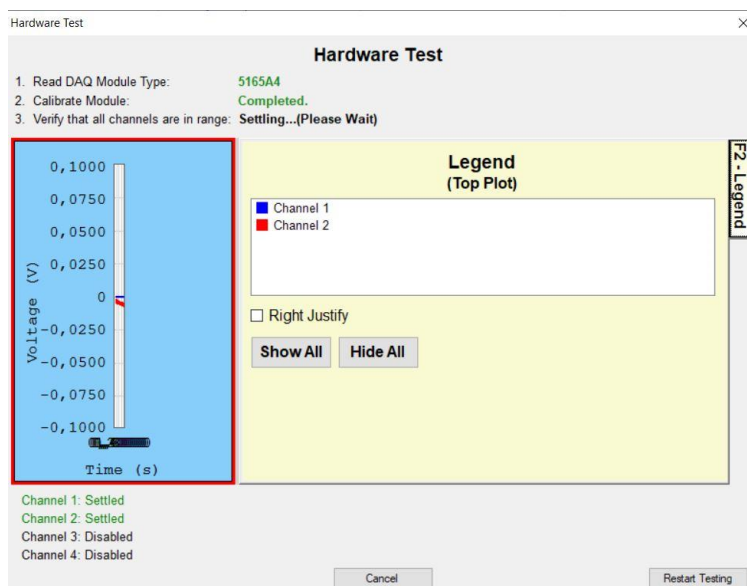
Dále nabízí funkce.:

- **Hardware Test**
- **Database Manager**
- **Preferences**



Obrázek 44: Setup Drop Down Menu

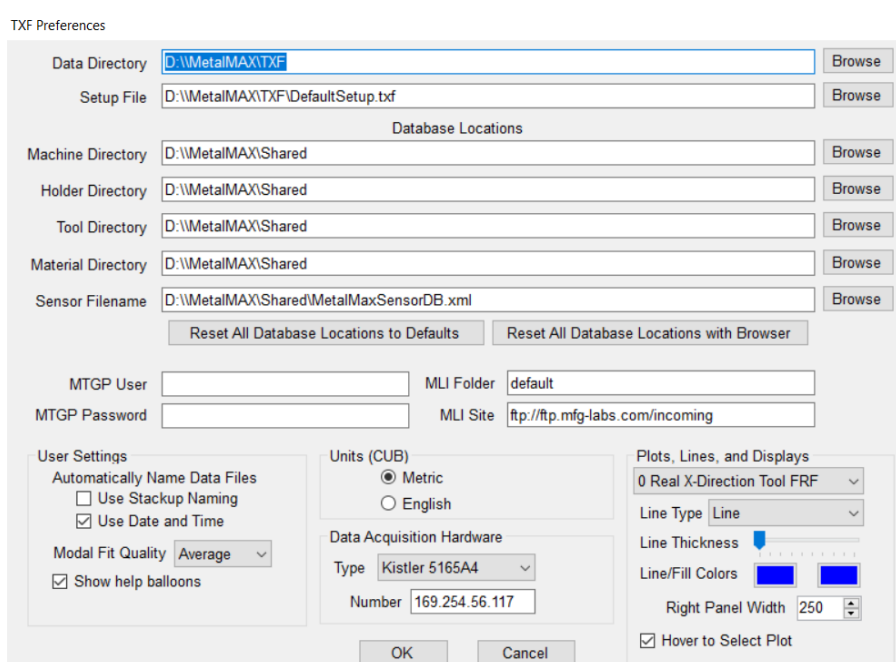
„**Hardware Test**“ - Kalibrace probíhá přibližně 30 sekund. V okně je poté zobrazena úspěšnost nebo neúspěšnost kalibrace.



Obrázek 45: Hardwarový test

„**Database Manager**“ – Tato funkce umožňuje uživateli spravovat databáze.

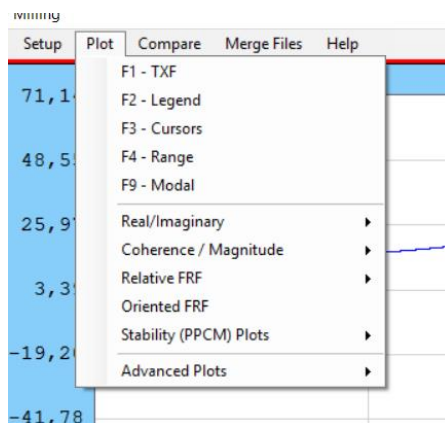
„**Preferences**“ – Je nastavení, které umožňuje uživateli nastavit různé preference (umístění databáze, jednotky atd.). [15]



Obrázek 46: Preferences

The Plot Menu

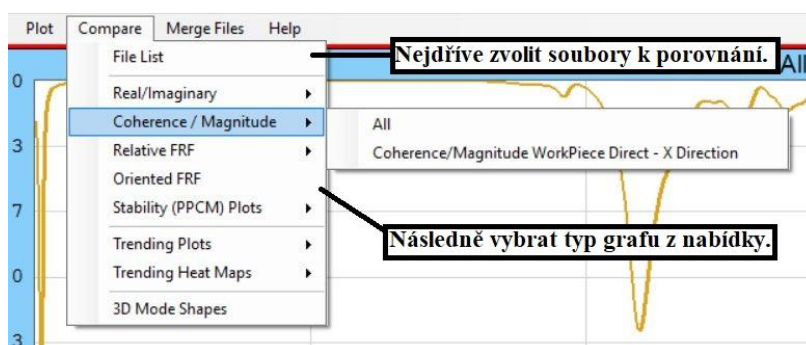
V této záložce se nacházejí stejné funkce jako v „Data Plotting and Analysis“.



Obrázek 47: The Plot menu

The Compare Menu

Toto menu slouží k porovnání dat uložených v samostatných souborech TXF.



Obrázek 48: The Compare menu

„**File List**“ - Ve „File List“ si uživatel volí soubory, které následně chce porovnávat. Po vybrání souborů je nezbytné zaškrtnout políčka (v červeném rámečku) u nahraných souborů. (Obrázek 49) [15]

File Number	Filename	X-Distance from Tip (mm)	Y-Height (mm)	Speed Range (rpm)
<input type="checkbox"/> File #1	Current File: C:\Users\kaufn\Desktop\DP-2019\EXPERIMENT\5-den.-4.měření_bilákoncovk	0.000	0.000	0 - 0
<input checked="" type="checkbox"/> File #2	5-den.-3.měření_bilákoncovka.txf	0.000	0.000	0 - 0
<input type="checkbox"/> File #3		0.000	0.000	0 - 0
<input type="checkbox"/> File #4		0.000	0.000	0 - 0
<input type="checkbox"/> File #5		0.000	0.000	0 - 0
<input type="checkbox"/> File #6		0.000	0.000	0 - 0
<input type="checkbox"/> File #7		0.000	0.000	0 - 0

Obrázek 49: File List

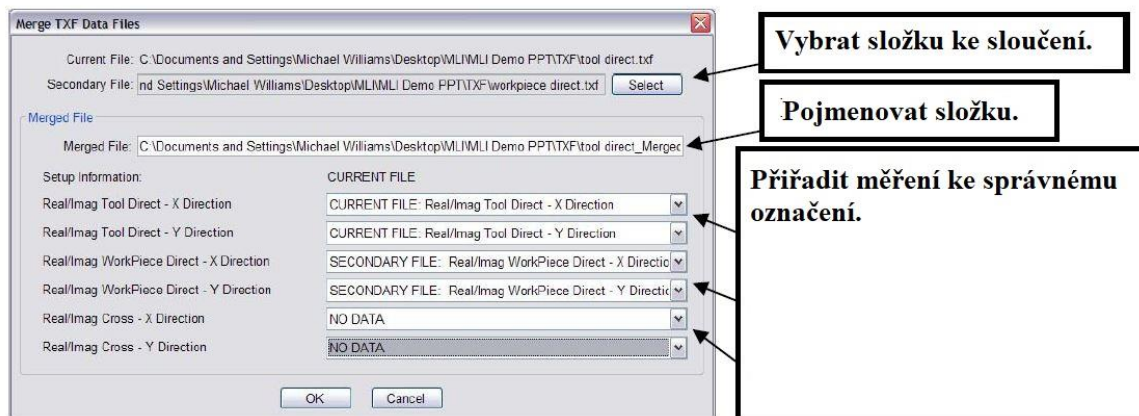
Posledním krokem je vybrat typ grafu, který bude použit. (Obrázek 48)

Merge Files

Toto menu umožňuje uživateli sloučení dvou různých souborů do jednoho.

Postup je popsán na obrázku 50.:

- Nejdříve zvolit soubory ke sloučení.
- Pojmenovat nový soubor.
- Přiřadit měření ke správnému označení. [15]



Obrázek 50: Merge Files

5 Experimentální měření

Podstatou experimentu je ověření nabytých znalostí z předchozí analýzy programu TXF, které budou dále použity po výuku předmětu Praktika z experimentálních metod v obrábění (PEMO). Experimenty byly realizovány na válcovém polotovaru z materiálu 42CrMo4. Řezný nástroj byl zvolen od firmy Iscar (Obrázek 51). Jak polotovar, jeho upnutí, tak destička vč. držáku jsou běžně používány pro experimenty v rámci výuky výše zmíněného předmětu.



Obrázek 51: Polotovar a soustružnický nůž SCLCL 1212F-09 s VBD destičkou CCMT 09T304-SM

Polotovar byl upnut v kleštině na stroji EMCO Maxxturn 25, který se nachází v učebně UF106 a je určený pro praktickou výuku předmětu PEMO.



Obrázek 52: EMCO Maxxturn 25 [18]

5.1 Zapojení měřicí sestavy a nastavení programu

5.1.1 Měřicí sestava

Měřicí sestava se skládá z:

- Notebooku
- Digitalizační karty Lam Ampl 5165A
- Akcelerometru 8778A500
- Rázového kladívka 9722A2000
- Hardwarového klíče
- Propojovacích kabelů, síťového kabelu a napájecího kabelu



Obrázek 53: Součásti měřicí sestavy

Akcelerometr a rázové kladívko byly připojeny k digitalizační kartě, která zaznamenává data a přeposlala do notebooku, ve kterém byly hodnoty použity k sestavení diagramu stability. Propojení jednotlivých komponent bylo realizováno pomocí kabeláže (Obrázek 53). Uchycení akcelerometru na měřený objekt bylo provedeno pomocí vosku. Po sestavení měřicí sestavy byla provedena kalibrace a nastavení programu.

5.2 Postup nastavení programu

Nastavení programu pro experimenty bylo vytvořeno podle návodu, který je popsán v kapitole 4.1. První provedená část experimentálního měření byla použita jako praktická ukázka nastavení programu TXF.

Prvním krokem bylo nastavení jednotlivých karet v „Setup“. Poté bylo uskutečněno cvičné měření a následovalo reálné měření polotovaru.

TXF Setup for Turning

Project	Measurement	Sensors	Cut Data	Dynamics	Machine Limits	Current Conditions	Plot Range
Stackup Number	1.měření-X		Date	25.02.2019 12:16:23			
Cutting Module	Turning	Data Collector's E-Mail	(I don't know)				
Customer	(I don't know)	Number	(I don't know)				
Remarks	Default Configuration						
Machine	Name	EMCO MAXXTURN 25	Serial No.				
Machine Model Number	Default Machine						
Machine Database	(I don't know)	Machine Search	Machine Details				
Holder	Name	Holder Name					
Holder Model Number	12345						
Holder Database	(I don't know)	Holder Search	Holder Details				
Adapter(s): 0	Edit Adapters						
Tool	Name	Soustružnický nůž					
Tool Model Number	Tool Number						
Tool Database	(I don't know)	Tool Search	Tool Details				
Total Gage Length	80,000	mm	Pocket No.	(I don't know)			
Material	Name	42CrMo4					
Material Group	P2.2						
Material Database	(I don't know)	Material Search	Material Details				
OK		Apply		Cancel			

Obrázek 54: Setup

5.2.1 Project

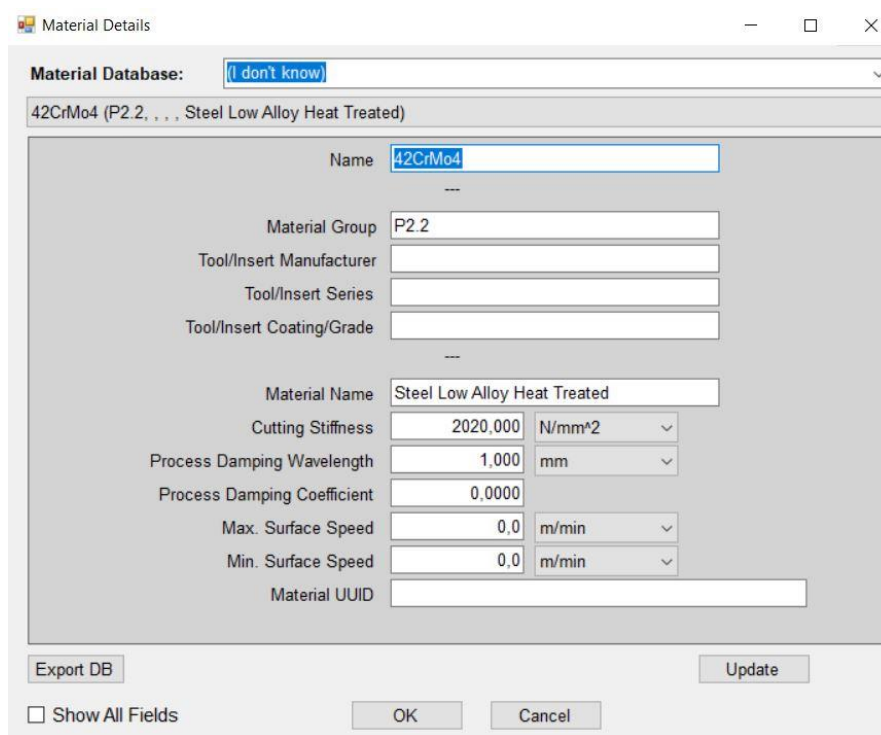
Nejdříve bylo nastaveno jméno experimentu a řezný proces soustružení. Dále byly nastaveny následující sekce.:

- Machine
- Tool
- Material

Nastavení jednotlivých sekcí je znázorněno na následujících obrázcích.

Obrázek 55: Machine

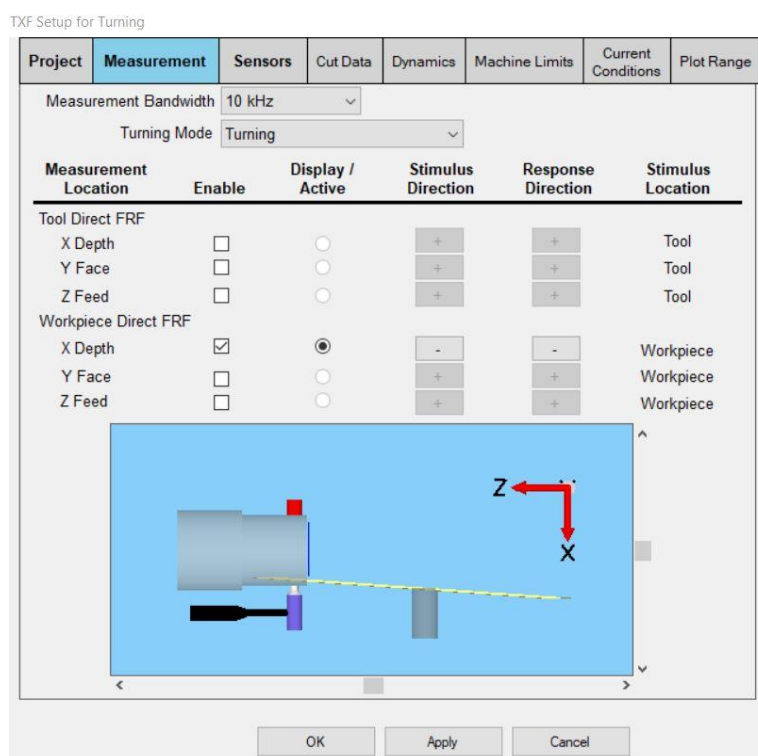
Obrázek 56: Tool



Obrázek 57: Material

5.2.2 Measurement

V kartě „Measurement“ bylo nastaveno pásmo měření, měřený objekt, uchycení akcelerometru a směr nárazu rázového kladívka.



Obrázek 58: Measurement

5.2.3 Sensors

V této kartě byly zadány senzory a jejich nastavení.

TXF Setup for Turning

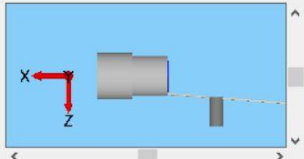
Project	Measurement	Sensors	Cut Data	Dynamics	Machine Limits	Current Conditions	Plot Range
Measurement Configuration: Real/Imag WorkPiece Direct - Depth Direction							
Stimulus (Hammer)				Response			
Sensor Name	Hammer Kistler Type 9722A2000			Accel Kistler Type 8778A500			
	Add to DB Edit Database			Add to DB Edit Database			
Sensitivity	2,000			10,000			
Units	mV / N			mV / G			
ICP Sensor	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>			
AC Coupling	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>			
Integration	None			Double (Accelerometer)			
Signal Range	+/-10 V			+/-10 V			
Analog Ground Ref.	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>			
Trigger Threshold	100 mV						
Apply these settings to ALL measurement configurations							
Signal Trapping							
Trap Overloads	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>			
Trap Underloads	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>			
Trap Double Hits	<input checked="" type="checkbox"/>						
OK Apply Cancel							

Obrázek 59: Sensors

5.2.4 Cut data

V této kartě byly nastaveny řezné parametry, průměr polotovaru a vlastnosti nástroje.

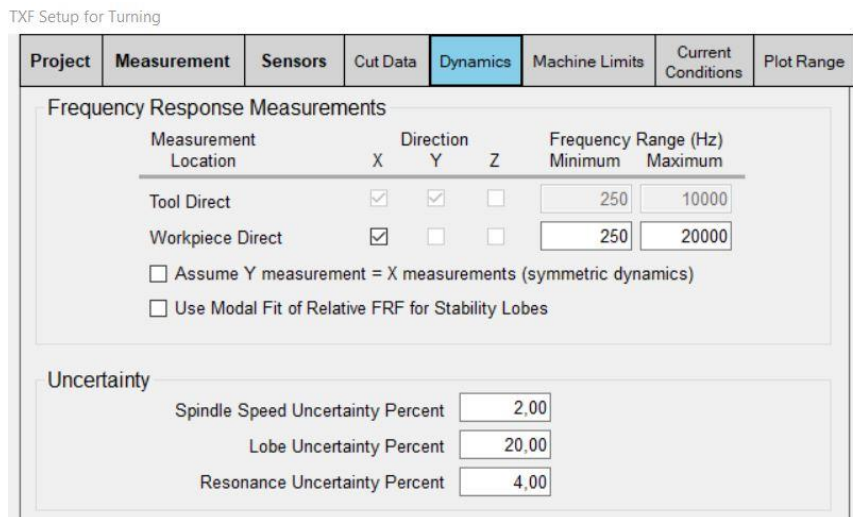
TXF Setup for Turning

Project	Measurement	Sensors	Cut Data	Dynamics	Machine Limits	Current Conditions	Plot Range
Target Cutting Parameters							
Spindle Speed	200 rpm						
Depth of Cut	0,450 mm						
Feed per Revolution	0,100 mm						
							
Tool Properties							
Tool	Soustružnický nůž			Add to DB			
Part Diameter	10,300 mm						
Number of Tool Teeth	1						
Lead Angle	95,00 degrees						
Back Rake Angle	5,00 degrees						
Side Rake Angle	10,00 degrees						
Nose Radius	0,400 mm						
OK Apply Cancel							

Obrázek 60: Cut Data

5.2.5 Dynamics

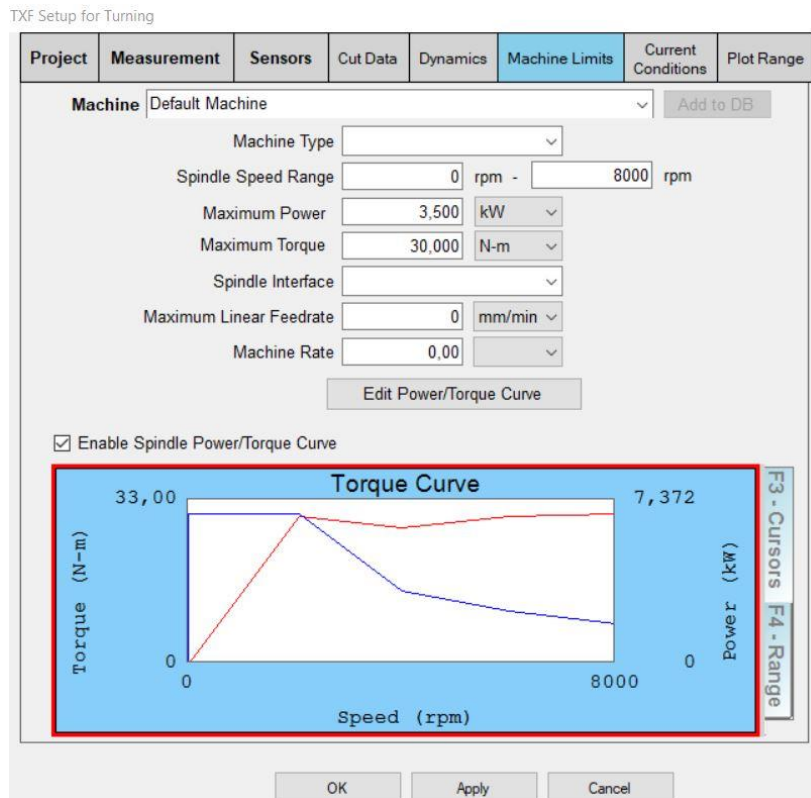
V této kartě byl nastaven objekt měření a v jakém směru bude měřen. Ostatní parametry byly automaticky vyplněny.



Obrázek 61: Dynamics

5.2.6 Machine Limits

V této kartě byly automaticky zobrazeny informace o stroji, které již byly zadány v kartě „Project“.



Obrázek 62: Machine Limits

5.2.7 Current Conditions

V této kartě byly zadány řezné parametry, které se zobrazují v diagramu stability, a zjišťuje se při těchto podmínkách chování řezného procesu.

TXF Setup for Turning

Project	Measurement	Sensors	Cut Data	Dynamics	Machine Limits	Current Conditions	Plot Range
Spindle Speed <input type="text" value="400"/> rpm							
<input type="radio"/> Plunge Feedrate							
<input checked="" type="radio"/> Feed per Revolution <input type="text" value="0,104"/> mm <input type="text" value=""/>							
Tool Radial DOC (AE) <input type="text" value="0,000"/> mm <input type="text" value=""/>							
Current Condition <input type="text" value=""/>							
<input type="button" value="Set Current Condition = Cutting Parameters"/>							
<input type="button" value="Set Chipload = Current Condition Chipload"/>							

Obrázek 63: Current Conditions

5.2.8 Plot Range

V této kartě byl nastaven automatický rozsah grafu Real/Imag Relative Frequency Response X.

TXF Setup for Turning

Project	Measurement	Sensors	Cut Data	Dynamics	Machine Limits	Current Conditions	Plot Range																
Plot Scaling <input type="text" value="Real/Imag Relative Frequency Response - X Direction"/>																							
<input checked="" type="radio"/> Autoscale the plot over a given x-axis range																							
Tool Frequency Range: <input type="text" value="100"/> to <input type="text" value="20000"/>																							
Workpiece Frequency Range: <input type="text" value="100"/> to <input type="text" value="20000"/>																							
Cross Frequency Range: <input type="text" value="100"/> to <input type="text" value="20000"/>																							
<input type="radio"/> Fix the plot range																							
<table border="1"><thead><tr><th></th><th>Minimum</th><th>Maximum</th><th>Divisions</th></tr></thead><tbody><tr><td>Y-Axis (Top)</td><td><input type="text" value="0,000E+000"/></td><td><input type="text" value="0,000E+000"/></td><td><input type="text" value="1"/></td></tr><tr><td>Y-Axis (Bottom)</td><td><input type="text" value="0,000E+000"/></td><td><input type="text" value="0,000E+000"/></td><td><input type="text" value="1"/></td></tr><tr><td>X-Axis</td><td><input type="text" value="0"/></td><td><input type="text" value="0"/></td><td><input type="text" value="1"/></td></tr></tbody></table>									Minimum	Maximum	Divisions	Y-Axis (Top)	<input type="text" value="0,000E+000"/>	<input type="text" value="0,000E+000"/>	<input type="text" value="1"/>	Y-Axis (Bottom)	<input type="text" value="0,000E+000"/>	<input type="text" value="0,000E+000"/>	<input type="text" value="1"/>	X-Axis	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>
	Minimum	Maximum	Divisions																				
Y-Axis (Top)	<input type="text" value="0,000E+000"/>	<input type="text" value="0,000E+000"/>	<input type="text" value="1"/>																				
Y-Axis (Bottom)	<input type="text" value="0,000E+000"/>	<input type="text" value="0,000E+000"/>	<input type="text" value="1"/>																				
X-Axis	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>																				
<input type="button" value="Load Plot Range"/>																							
<input type="radio"/> Remember the previous plot range																							
<input type="button" value="Set Plot Range Now"/>																							
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Apply"/> <input type="button" value="Cancel"/>																							

Obrázek 64: Plot Range

5.3 Experimenty

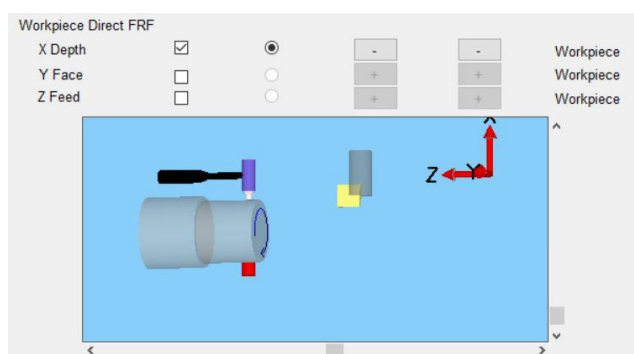
5.3.1 První část experimentu

První část experimentu se zabývala vlivem jednotlivých os polotovaru na výsledný diagram stability. Experiment byl uskutečněn na válcovém polotovaru o průměru 10,3 mm a délky vyložení 150 mm.

Průběh experimentu

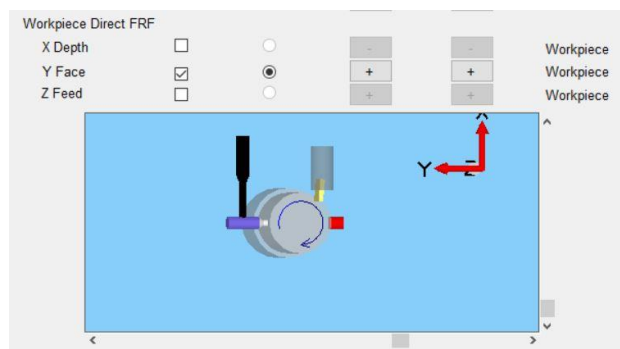
Jednotlivé osy měření byly nastaveny v záložce „**Measurement**“. Osy měření odpovídaly souřadnicovému systému pro soustružení. Směry uchycení akcelerometrů a směry nárazu kladívka jsou zobrazeny na obrázcích 65,66,67.

První měření bylo provedeno v ose X.



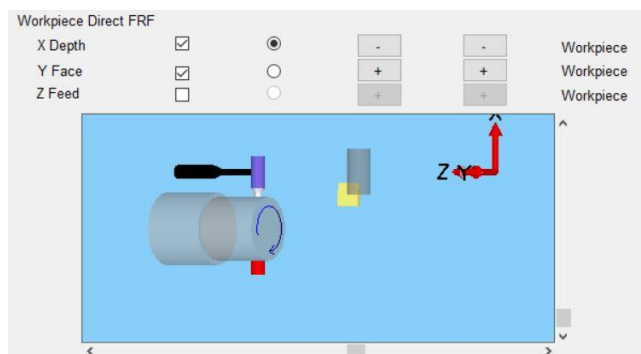
Obrázek 65: Měření v ose X

Druhé měření v ose Y.



Obrázek 66: Měření v ose Y

Třetí měření v osách XY.



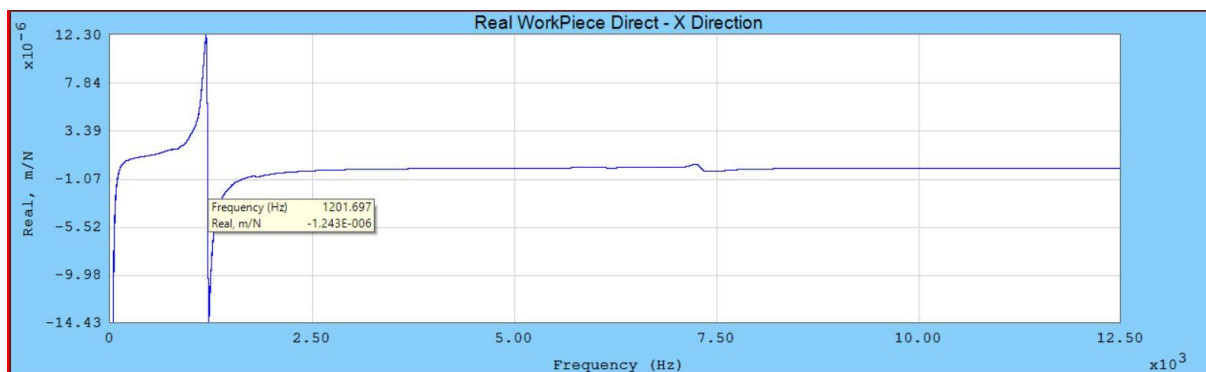
Obrázek 67: Měření v osách XY

Ze zaznaměných hodnot byly vygenerovány dva typy grafů.

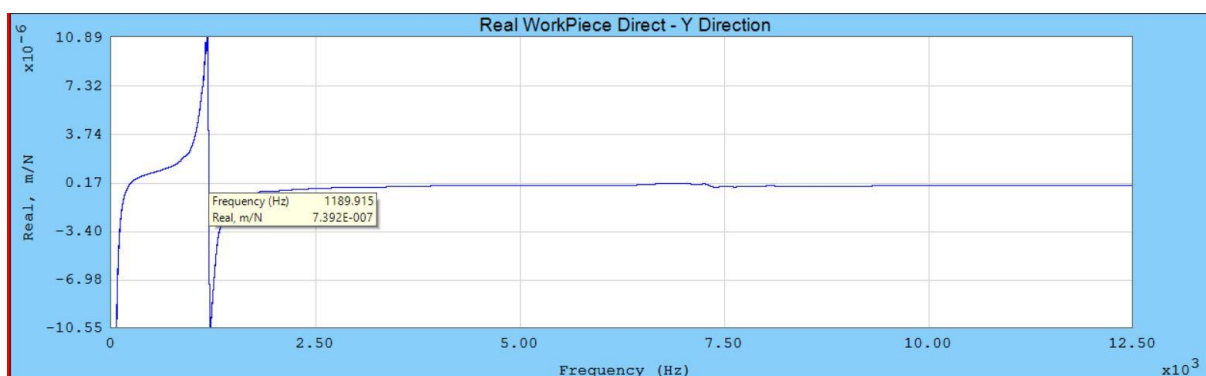
- Real Relative Frequency Response
- Diagram stability

Hodnocení

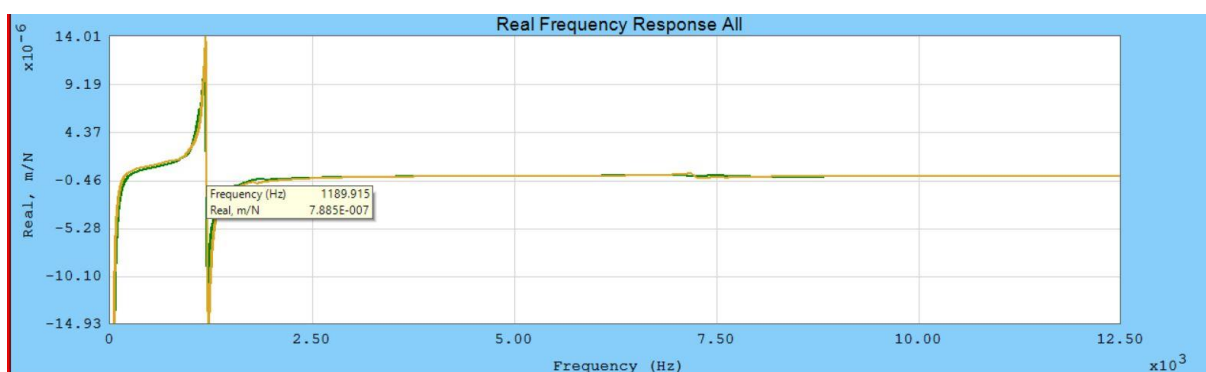
Prvním typem je graf „Real Relative Frequency Response“.



Obrázek 68: Real WorkPiece Direct - X Direction



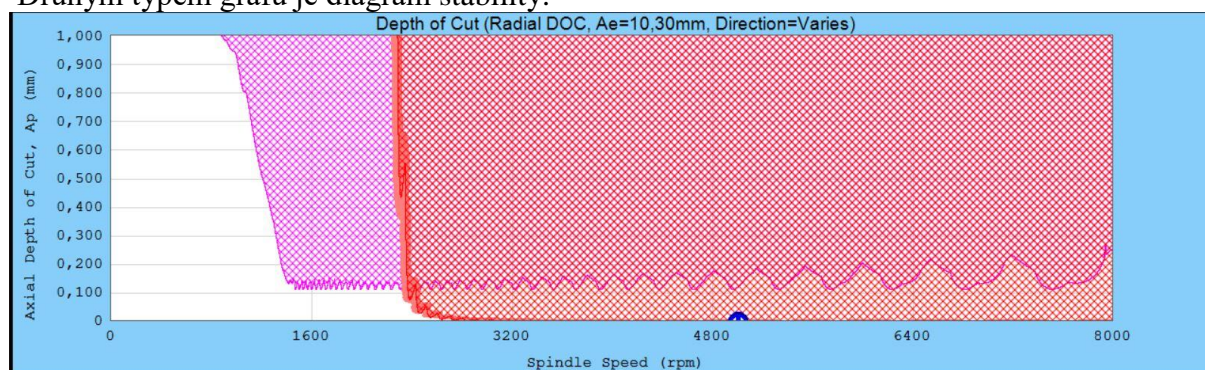
Obrázek 69: Real WorkPiece Direct - Y Direction



Obrázek 70: Real Frequency Response All

Z vygenerovaných grafů bylo zjišťováno, zda měření v jednotlivých osách ovlivňuje vlastní frekvenci polotovaru. Vlastní frekvence se pohybovala kolem 1200 Hz a z toho vyplývalo, že vlastní frekvence nebyla ovlivněna osou měření. Tvary křivek jednotlivých měření se lišily jen nepatrně.

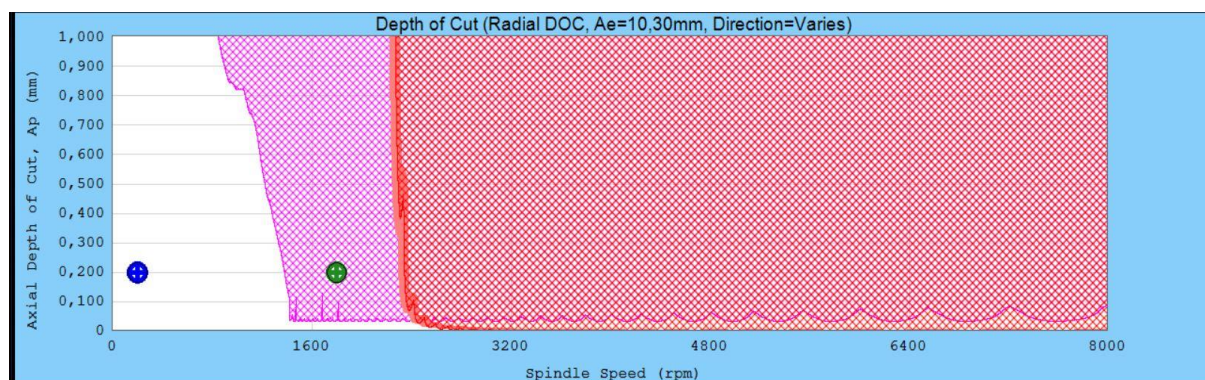
Druhým typem grafu je diagram stability.



Obrázek 71: Diagram stability v ose X



Obrázek 72: Diagram stability v ose Y



Obrázek 73: Diagram stability v ose XY

Z předchozích grafů jak již bylo uvedeno, se vlastní frekvence soustavy pohybovala kolem 1200 Hz. Z tohoto důvodu jsou diagramy stability v jednotlivých osách téměř totožné. Výraznější odlišnost mezi diagramy byla v posunutí fialové oblasti (vibrace vyvolané řeznou silou) směrem dolů.

Následujícím krokem bylo určení řezných podmínek z diagramu stability. Diagramy znázorňují, že při obrábění polotovaru hloubkou řezu 0,45 mm bude probíhat stabilní obrábění až do 1100 ot/min. Podle praktických zkušeností, i provedených testů, docházelo k uklidnění řezu maximálně při otáčkách 200-300 ot/min.

Z analýzy diagramů vyplývá, že diagramy stability jsou chybné a tato skutečnost vedla ke hledání příčin této chyby.

Nejdříve byly provedeny změny parametrů a prozkoumání jejich vlivu na diagram stability.

Hodnocení

Parametry nástroje

Mezi důležité parametry nástroje patří:

- Length; Stickout
- **Cutting Diameter**
- **Effective cutting edge**
- Length cutting edge
- **Nose radius**

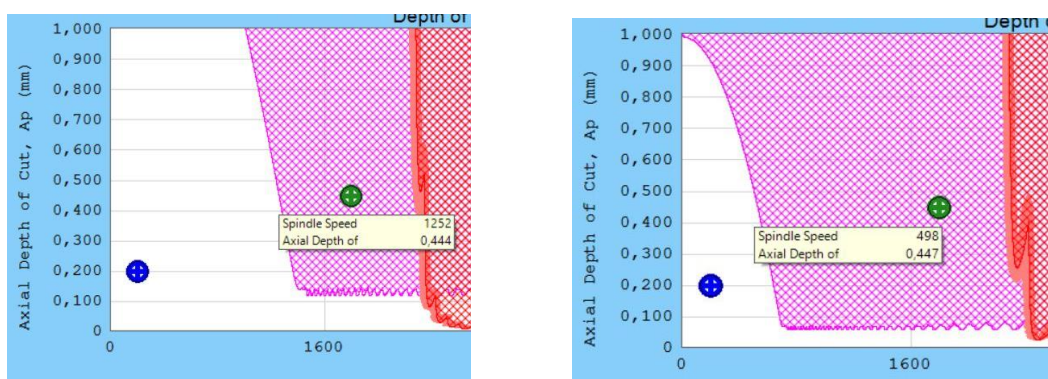
Zvýrazněné parametry a jejich vliv na diagram jsou popsány níže. Nezvýrazněné parametry nástroje slouží k vypočtení limitů v diagramu stability.

Cutting Diameter

Podle obrázku na kartě v SW (Obrázek 19) lze usuzovat, že tento parametr udává průměr řezného nástroje. V průběhu experimentu bylo zjištěno, že parametr „Cutting Diameter“ při procesu soustružení představuje průměr polotovaru. Tento parametr velmi ovlivňuje výsledky měření, proto je důležité jeho správné vyplnění.

Effective cutting edge

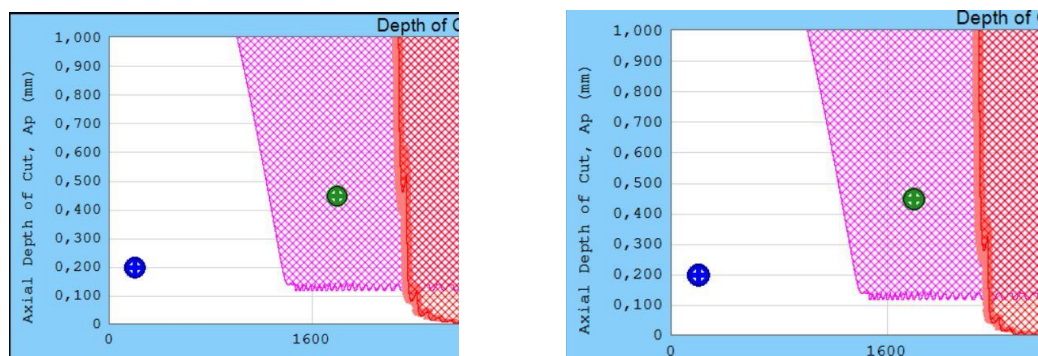
Největší vliv na změnu oblasti nestability má počet řezných břitů. Při vytvoření nového nože jsou automaticky nastaveny čtyři břity, proto je velmi důležité tento parametr vyplnit. Diagramy v závislosti na počtu řezných břitů jsou zobrazeny na obrázku 74.



Obrázek 74: Počet řezných břitů: vlevo 1 břit vpravo 2 břity

Nose radius

Vyšší hodnota poloměru zaoblení nože posouvá červené loby do nižší polohy. (Obrázek 75)



Obrázek 75: Rádus nože: vlevo 0,4 vpravo 0,8

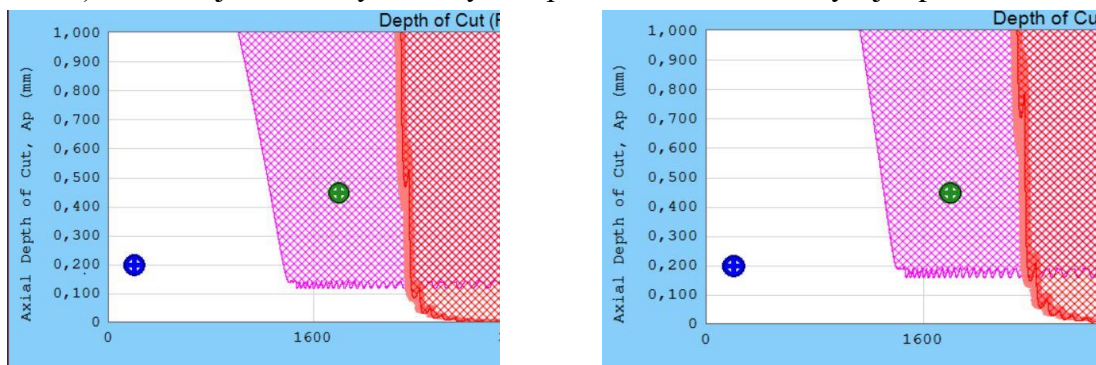
Parametry materiálu

Mezi důležité parametry materiálu patří:

- **Cutting Stiffness**
- **Process Damping Wavelength**

Cutting Stiffness

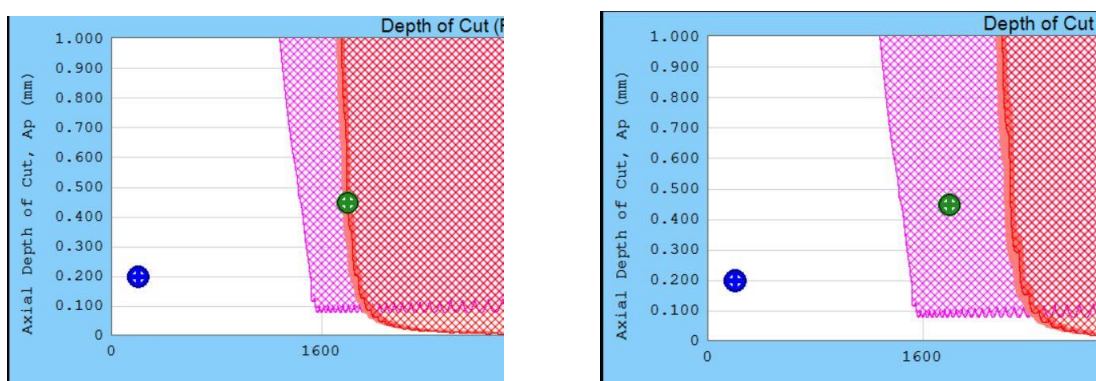
Měrný řezný odpor materiálu ovlivňuje pásmo vibrací způsobených řeznou silou (fialová oblast). Se snižujícím měrným řezným odporem materiálu se zvyšuje spodní hranice oblasti.



Obrázek 76: Měrný řezný odpor: vlevo $2000[N/mm^2]$ vpravo $1500[N/mm^2]$

Process Damping Wavelength

Proces tlumení lze modelovat jako funkci vlnové délky, kde kratší vlnová délka poskytuje zvýšenou stabilitu procesu. (Obrázek 77) Podle studie je vlnová délka ovlivněna druhem materiálu, úhlem hřbetu a opotřebením na hřbetu nástroje. [19]



Obrázek 77: Process Damping wavelength: vlevo $\lambda=1$ vpravo $\lambda=0,8$

Zhodnocení experimentu

Z grafu „Real Relative Frequency Response“ bylo zjištěno, že vlastní frekvence měřeného objektu se lišila nepatrně v jednotlivých osách. To znamená, že upnutí polotovaru bylo stabilní v jednotlivých osách stroje.

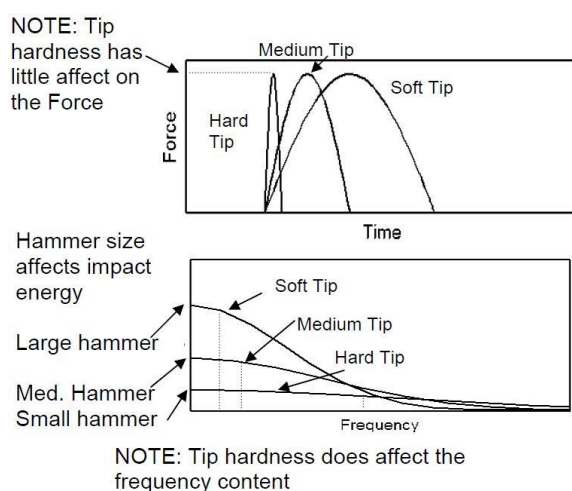
Nejvýraznější vliv na změnu diagramu stability mají parametry nástroje a materiálu. Rapidní změna diagramu může nastat chybným nastavením počtu břitů nástroje. Výraznější změna je způsobená vlnovou délkou, která je ovlivněna jak úhlem hřbetu, tak i opotřebením. Ovlivnění vlnové délky těmito faktory nebylo ověřeno v této diplomové práci, ale vychází ze článku 19.

Navzdory nalezení parametrů, které ovlivňují diagram stability, nebyla nalezena příčina špatného nastavení programu. Tato skutečnost vedla k tomu, že byla hledána chyba ve volbě koncovky rázového kladívka.

5.3.2 Druhá část experimentu

Druhá část experimentu se zabývá měřením objektu s různými koncovkami kladívka a jejich vlivem na frekvenční odezvu funkci. Tento experiment vychází z pravidel od firmy Metalmax.

Výběr kladívka a akcelerometru je v zásadě intuitivní rozhodnutí. Kladívko od firmy Kistler se dodává se čtyřmi koncovkami. Každá koncovka má jinou tvrdost, délku trvání rázu a frekvenční odezvu. Tvrdost koncovky kladívka ovlivňuje frekvenční odezvu, ale má malý vliv na velikost síly.



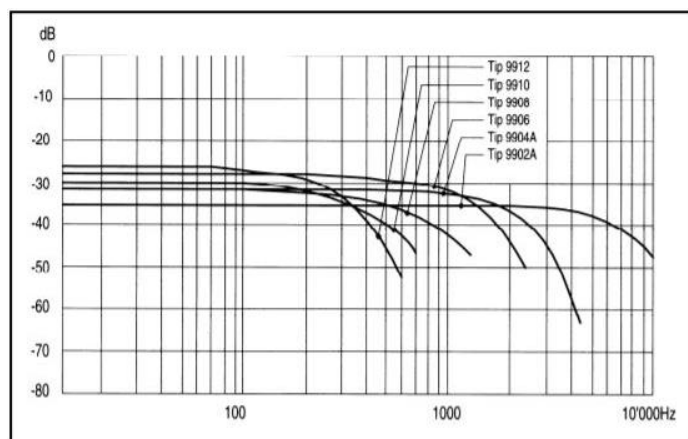
Obrázek 78: Charakteristika koncovek [15]

Průběh experimentu

Pro experiment byly vybrány 3 typy koncovek:

- Zelená koncovka (Hard) 9908
- Červená koncovka (Medium) 9910
- Bílá koncovka (Soft) 9906

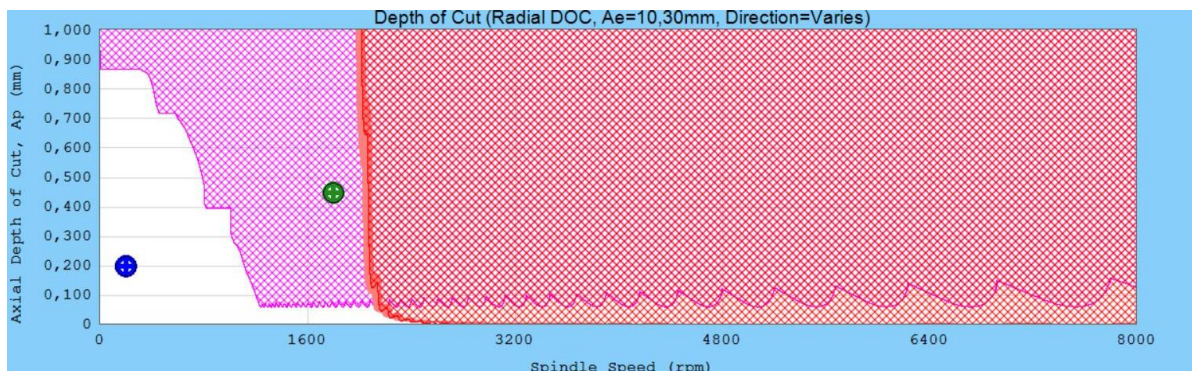
Šedá koncovka je nejměkčí z celé sady, a proto nebyla použita v experimentu.



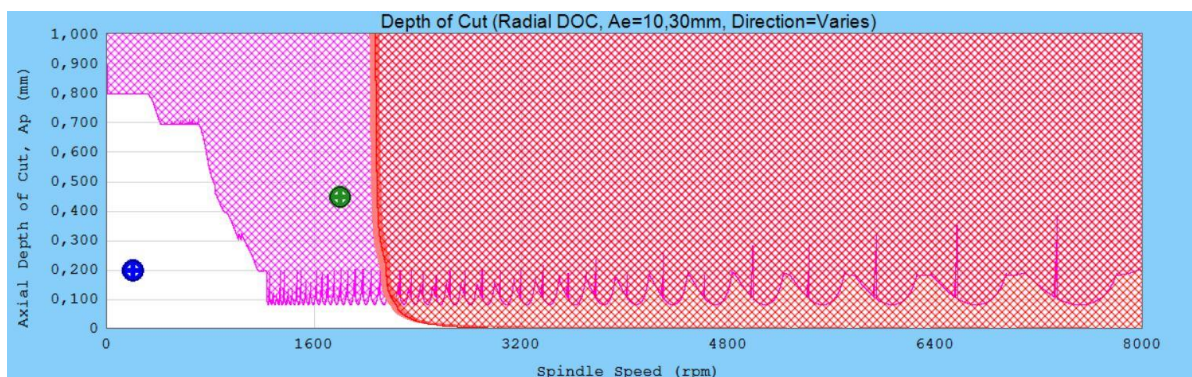
Obrázek 79: Typy koncovek

Pro každý typ koncovky byla realizována dvě měření. Měření byla provedena ve směru osy X. Uchycení akcelerometru a směr nárazu kladívka jsou zobrazeny na obrázku 65. Ze zaznamenaných hodnot byly následně generovány diagramy stability.

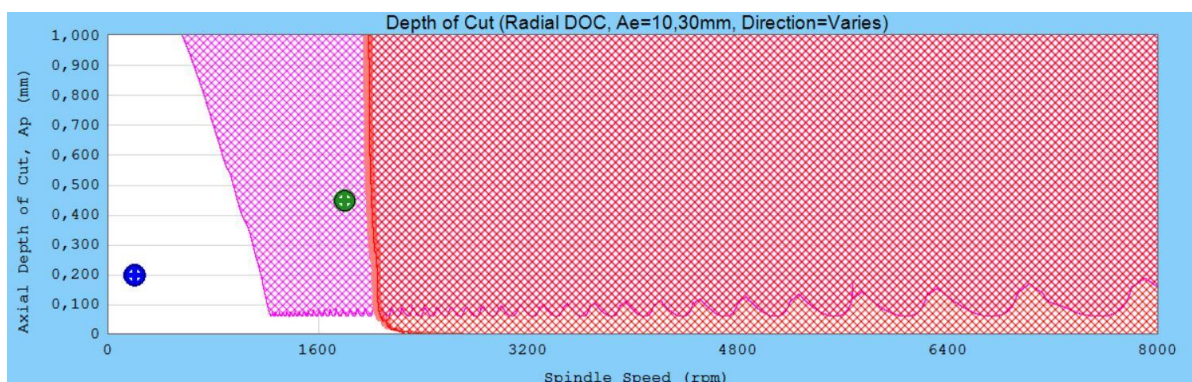
Hodnocení



Obrázek 80: Zelená koncovka



Obrázek 81: Červená koncovka

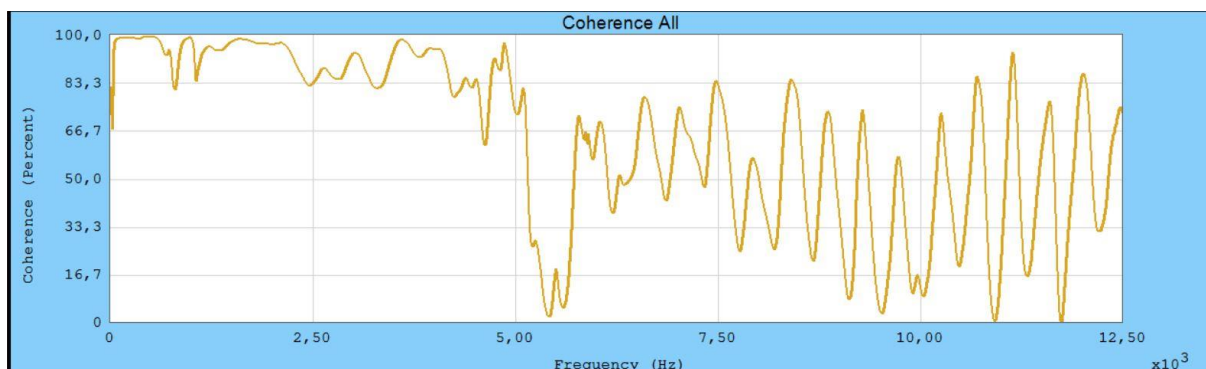


Obrázek 82: Bílá koncovka

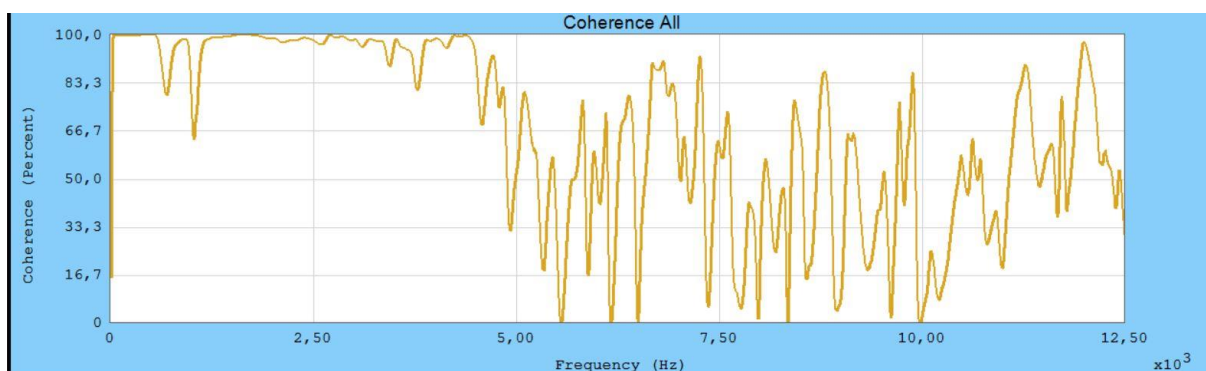
Z výsledných diagramů stability se jeví, že nejvhodnější koncovka pro měření je zelená. Podle hlediska průběhu měření během experimentu byla zvolena jako nejvhodnější koncovka bílá. Při měření s červenou a zelenou koncovkou docházelo k mnoha dvojitým úderům.

Dále bylo provedeno posouzení kvality naměřených dat pomocí diagramu koherence. Kvalita úderu kladívkem se hodnotí pomocí koherence. Koherence se používá při vícekanálovém měření ke zjištění vlivu signálu na jiný a představuje tedy míru závislosti jednoho signálu na druhý. Závislost dvou signálů roste, čím je hodnota koherence vyšší. Když koherence klesá, tak

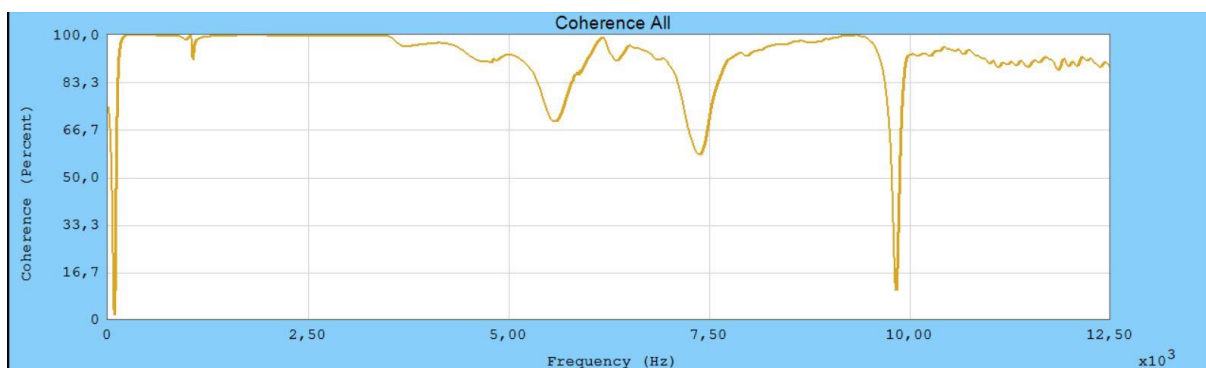
to znamená, že odezva je závislá i na jiném typu signálu než na buzení. Na výstupní signál může mít vliv například šum (vzniká při nedostatečném buzení) nebo jiný typ signálu. [20]



Obrázek 83: Diagram koherence zelené koncovky



Obrázek 84: Diagram koherence červené koncovky



Obrázek 85: Diagram koherence bílé koncovky

Kvalita naměřených dat v diagramech koherence byla posuzována do 2500 Hz. Z výše přiložených diagramů je zřejmé, že bílá koncovka je nejvhodnější pro experiment.

Zhodnocení experimentu

Z jednotlivých měření a posouzení kvality naměřených dat vyšla jako nejlepší varianta bílá koncovka. Na výstupní signál při měření zelenou a červenou koncovkou mělo s největší pravděpodobností nedostatečné buzení objektu.

Ve druhé části experimentu byla potvrzena správná volba bílé koncovky pro měření. Ani v této části experimentu nebyla nalezena příčina chyby diagramu stability, a proto byla hledána v jiné oblasti softwaru.

5.3.3 Třetí část experimentu

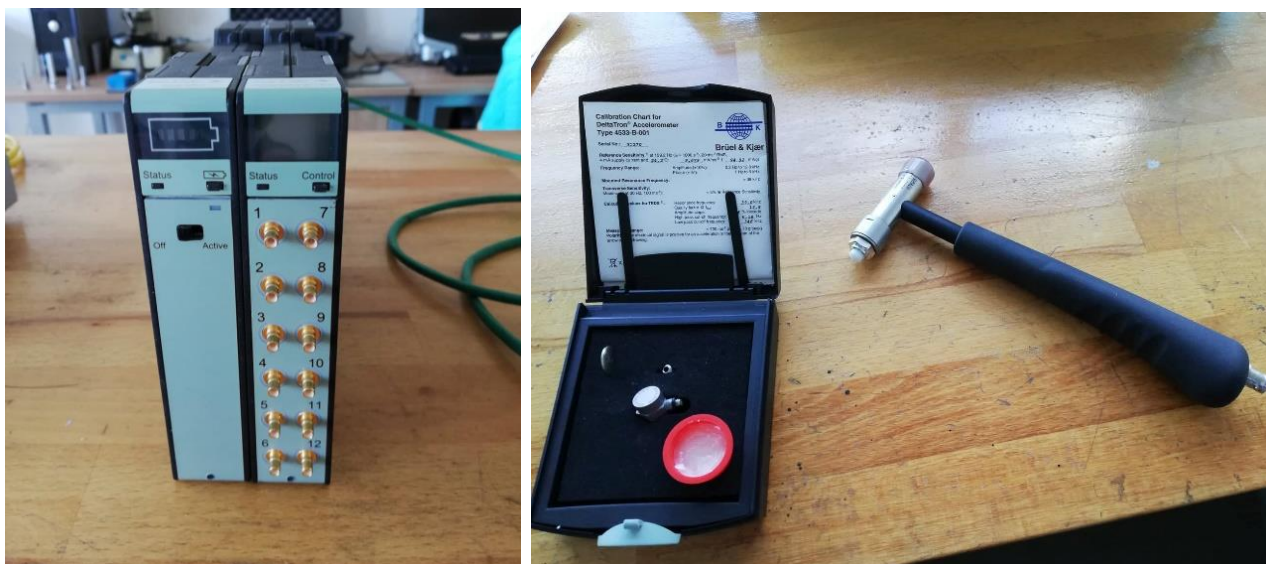
Třetí část experimentu se zabývá ověřením korektnosti převodu spojitého signálu na diskretní, který byl převeden digitalizační kartou od firmy Kistler a kartou od firmy Brüel & Kjær.

Průběh experimentu

Měření bylo rozděleno na dvě části. V první části byla zjištěna vlastní frekvence polotovaru ve směru X a vyhodnocena programem TXF. Ke druhé části měření byl přizván Ing. Michal Křížek, Ph.D., který zopakoval měření a vyhodnotil vlastní frekvenci softwarem Brüel & Kjær.

Měřicí sestava Brüel & Kjær:

- CCLD akcelerometr TYPE 4533-B
- Rázové kladívko TYPE 8206
- Modul generátoru TYP 3160



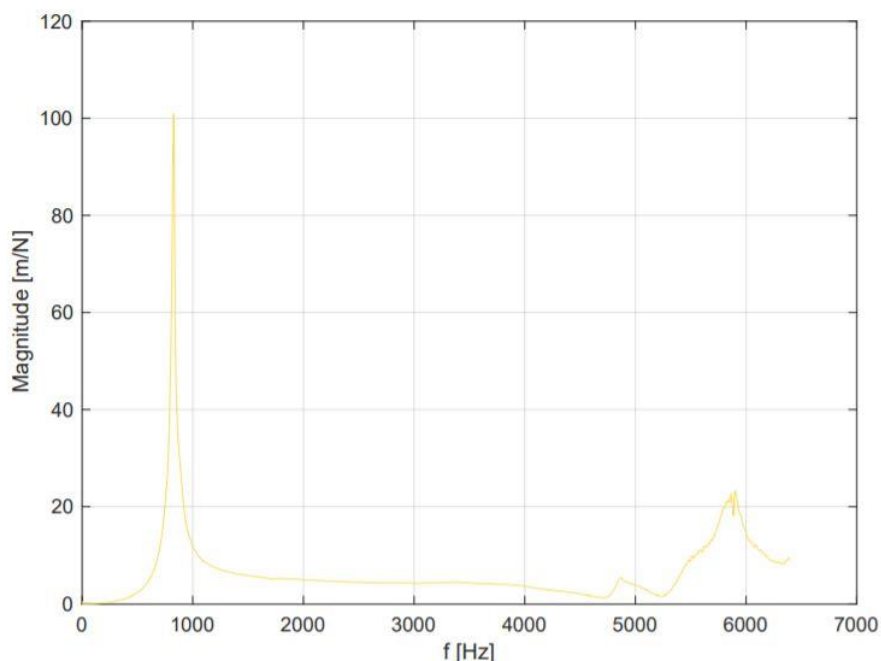
Obrázek 86: Měřicí sestava Brüel & Kjær

Hodnocení

Výsledné grafy obou měření jsou zobrazeny níže.



Obrázek 87: Graf TXF – Magnitude All



Obrázek 88: Graf Brüel & Kjær – Magnitude All

Z výsledných grafů vyplývá, že vlastní frekvence polotovaru se liší o 200 Hz. Tyto výsledky vedly k domněnce, zda není špatně zvolena vzorkovací frekvence vůči šířce pásma. Nyquist-Shanonn teorém říká, že spojitý signál může být rekonstruován z řady diskrétních vzorků pouze tehdy, pokud je vzorkovací frekvence alespoň dvojnásobná oproti maximální frekvenci vstupního signálu. Tento teorém vedl ke zkontrolování vzorkovací frekvence. (Tabulka 2) [10]

Vzorkovací frekvence [Hz]	Šířka měřeného pásma [Hz]	Podíl
2500	1000	2,5
6250	2000	3,125
12500	5000	2,5
25000	10000	2,5
50000	20000	2,5
62500	20000	3,125

Tabulka 2: Vzorkovací frekvence, šířka pásma měření a jejich podíl

Výsledné hodnoty v tabulce odpovídají Nyquist- Shanonovu teorému.

Zhodnocení experimentu

Z porovnání dvou měření z různých programů vyšlo najevo, že vlastní frekvence u stejného polotovaru se výrazně liší. Dále byla hledána příčina ovlivnění změřených výsledků. Jedna z možných příčin byla určena špatná vzorkovací frekvence vůči šířce měřeného pásma. Vzorkovací frekvence se dále vyhodnotila podle Nyquist - Shanonnova teorému.

Ve třetí části experimentu bylo zjištěno, že změřený vstupní signál s velkou pravděpodobností neodpovídá reálnému signálu. Tyto výsledky vedly k další části experimentu.

5.3.4 Čtvrtá část experimentu

V této části experimentu bylo zjišťováno, zda změřená vlastní frekvence soustavy odpovídá reálné hodnotě. K tomuto účelu byla použita ladička o vlastní frekvenci 440 Hz. (Obrázek 89)



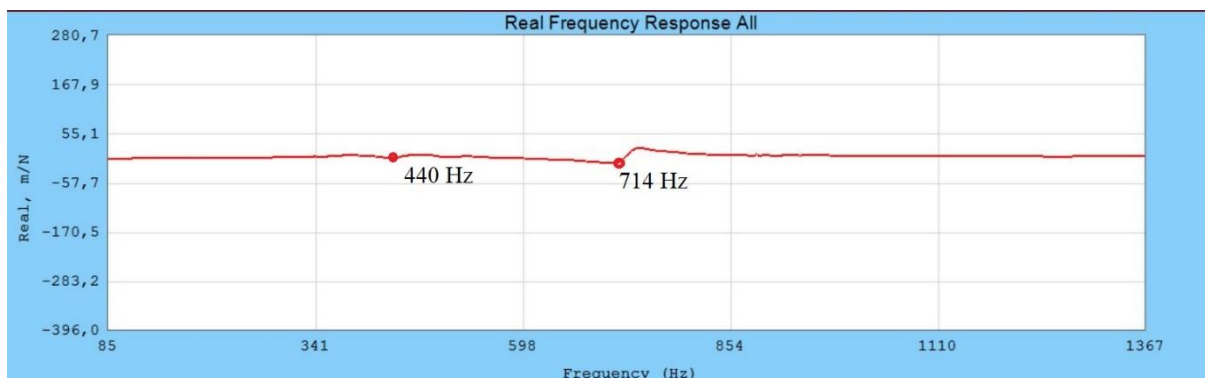
Obrázek 89: Ladička o vlastní frekvenci 440 Hz

Průběh experimentu

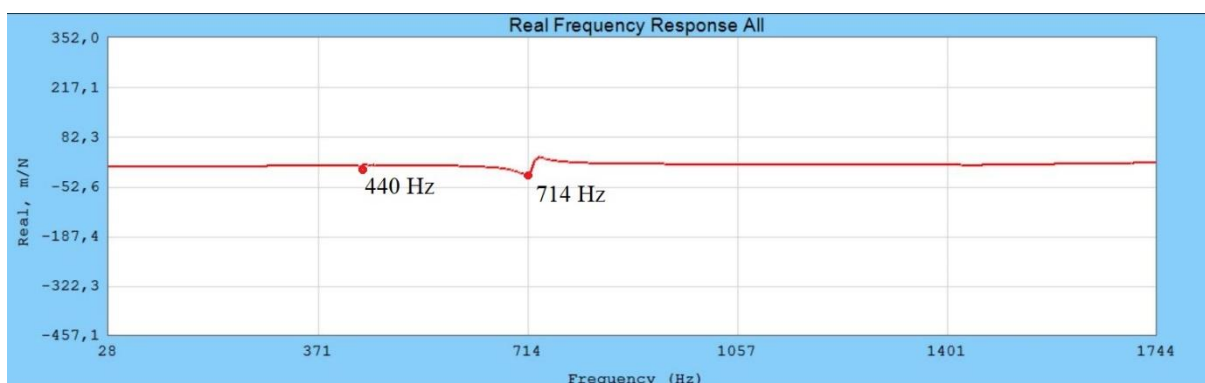
V rámci experimentu byla provedena dvě měření.

Hodnocení

Výsledné grafy jsou zobrazeny níže.



Obrázek 90: Graf Real Frequency Response 1. měření



Obrázek 91: Graf Real Frequency Response 2. měření

Vlastní frekvence ladičky podle měření by měla dosahovat hodnoty 714 Hz. Reálná hodnota vlastní frekvence ladičky se zobrazila jako nepatrná prohlubeň křivky.

Zhodnocení experimentu

Poslední část experimentu nepřinesla uspokojivé výsledky. Z měření ladičky o vlastní frekvenci 440 Hz vyšla hodnota měření o 274 Hz.

6 Technicko-ekonomické zhodnocení

Technicko-ekonomické zhodnocení v rámci této diplomové práce nemá význam. V praxi program TXF napomáhá ke zvýšení produktivity podniku a zlepšení jakosti obrobeného povrchu. Z výsledných diagramů stability lze vyčíst maximální možné otáčky vřetena, při kterých nebude docházet k nestabilnímu řezu a tím dojde k úspoře strojního času. Dále se sníží náklady na nástroje a to tím, že se sníží intenzita otupování břitů a zvýší se jeho životnost. Jednou z dalších výhod je i snížení opotřebení stroje a tím se prodlouží jeho životnost.

7 Závěr

Hlavním cílem teoretické části diplomové práce bylo vytvoření návodu programu TXF pro proces soustružení, který dále bude používán k výuce předmětu Praktika z experimentálních metod v obrábění. Výchozím dokumentem pro splnění hlavního cíle byl originální manuál od firmy Metalmax „TXF users manual 2011“, který se specializuje na proces frézování. Vzhledem k tomu, že je program prioritně vytvořen pro frézování, bylo nezbytné nalézt v experimentální části diplomové práce parametry, které odpovídají soustružnickým parametrům.

Cílem experimentální části byla aplikace vytvořeného návodu na reálném měřeném objektu a zhodnocení korektnosti dosažených výsledků. V první experimentální části bylo realizováno měření frekvenční odezvové funkce na polotovaru z materiálu 42CrMo4. Ze získaných výsledků byly poté vytvářeny diagramy stability pomocí programu TXF. Z analýzy diagramů stability vyšlo najevo, že výsledné diagramy stability nejsou pravdivé. Součástí prvního měření bylo nalezení chyby v nastavení programu a vliv jednotlivých parametrů na diagram stability. V rámci prvního měření nebyly nalezeny chyby a ani parametry, které by způsobily nekorektnost diagramů. Tato skutečnost vedla k dalším otázkám, ze kterých dále vyplynuly následující experimenty. Ve druhé části experimentu bylo provedeno měření za účelem zjištění vlivu koncovky rázového kladívka na výslednou frekvenční odezvoovou funkci. Výsledkem experimentu bylo potvrzení správné volby koncovky rázového kladívka při prvním měření. Třetí část experimentu se zabývala ověřením korektnosti převodu spojitého signálu na diskretní, který byl převeden digitalizační kartou od firmy Kistler a kartou od firmy Brüel & Kjær. Výsledné vlastní frekvence polotovaru se lišily o 200 Hz. Tento fakt vedl k poslední experimentální části. Ve čtvrté části experimentu byla měřena frekvenční odezvová funkce ladičky o vlastní frekvenci 440 Hz. Výsledné hodnoty posledního experimentu potvrdily předchozí část experimentu a to tak, že program nevyhodnotil správnou vlastní frekvenci měřeného objektu.

Na závěr lze říci, že vyhodnocené hodnoty během experimentu neodpovídaly teoretickým předpokladům. Jedním z předpokládaných důsledků by mohla být špatná konfigurace mezi měřicí sestavou od firmy Kistler a programem TXF. Další možná příčina špatného měření programu je v neuvažování úhlu nastavení hlavního ostří při výpočtu vibrací způsobených řeznou silou. Další možné příčiny mohou být v tuhosti upnutí polotovaru a nejistoty upevnění akcelerometru na měřený objekt. Pro ověření těchto domněnek by bylo zapotřebí provést další časově náročné experimenty. Z tohoto důvodu by mohla být tato problematika tématem další závěrečné práce.

8 Bibliografie

- [1] HUMÁR, A., *Technologie I.*, Brno : VUT, 2003.
- [2] ČEP, R., *Kmitání při obrábění.*, Ostrava : VŠB, 2011.
- [3] TLUSTÝ, J., ŠPAČEK, L., *Samobuzené kmity v obráběcích strojích.*, Praha : Nakladatelství Československé akademie věd, 1953.
- [4] WIZOVSKÁ, L., *Chvění při obrábění – principy vzniku, způsoby detekce.*, Bakalářská práce., Plzeň : ZČU, 2012.
- [5] FOJTŮ, P., *Problematika samobuzeného kmitání při obrábění.*, Praha : ČVUT, 2009.
- [6] Adaptivní potlačování chvění při frézování. *MM průmyslové spektrum*. [Online] 23. 09. 2014. [Citace:20.12.2018], <https://www.mmspektrum.com/clanek/adaptivni-potlacovani-chveni-pri-frezovani.html>.
- [7] ŘEHOŘ, J., *Přednášky z předmětu Teorie obrábění.*, Plzeň : ZČU.
- [8] Měření vibrací pro diagnostiku opotřebených strojů. *Automatizace.hw.cz*. [Online] 02. 02. 2015. [Citace: 05.01.2019] <https://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/mereni-vibraci-pro-diagnostiku-opotrebeni-stroju.html>.
- [9] Ekosoftware. *Vibrace, měřené veličiny*. [Online] 2016. [Citace: 05.02.2019] <https://www.ekosoftware.cz/vibrace-merene-veliciny>.
- [10] KREIDL, M., ŠMÍD, R., *Technická diagnostika: senzory - metody - analýza signálu*. Praha : BEN, 2006. 80-7300-158-6.
- [11] Automatice.hw.cz. *Principy akcelerometrů - 2. díl - Piezorezistivní*. [Online] 26. 01. 2007 [Citace: 10.01.2019] <https://automatizace.hw.cz/clanek/2007012601>.
- [12] ZUTH, D., VDOLEČEK, F., *Měření vibrací ve vibrodiagnostice.*, Brno : VUT, 2010.
- [13] Ekosoftware. *Rázkové kladívko*. [Online] 01.2017 [Citace: 03.02.2019] <https://www.ekosoftware.cz/razove-kladivko>.
- [14] TOMEH, E., *Analýza signálu.*, Liberec : TUL.
- [15] Metalmax., *TXF Users Manual 2011.*, 2011.
- [16] Reddy, K. S., *Theory of Metal cutting - Principles of Metal cutting, orthogonal and oblique.*, 2017.
- [17] *Advanced turning.*, [Citace:15.04.2019.] <http://mmcpermanent.learnways.com/courses/75/tool-holder-selection-for-external-turning.html>.
- [18] Katedra technologie obrábění. [Online] [Citace: 01. 02. 2019.] https://www.kto.zcu.cz/o-katedre/Vybaveni_katedry/UF106.html.
- [19] Research Gate. *Process damping milling model database*. [Online] 02 2014. [Citace: 25. 03.2019.] https://www.researchgate.net/publication/288160550_Process_damping_milling_model_data_base.
- [20] Ekosoftware. *Koherence*. [Online] 10.2016 [Citace: 26.03.2019] <https://www.ekosoftware.cz/koherence>.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Druhy kmitání [2]	5
Obrázek 2: Regenerativní princip [6]	7
Obrázek 3: Princip polohové vazby [4]	8
Obrázek 4: Optimální rozsahy vibračních veličin [9]	8
Obrázek 5: Jev podélný, příčný, stříhový [10]	9
Obrázek 6: Piezorezistivní akcelerometr [11]	10
Obrázek 7: Kapacitní akcelerometr [8]	10
Obrázek 8: Vliv upevnění akcelerometru na frekvenční charakteristiku [8]	11
Obrázek 9: Rázové kladívko se sadou koncovek	11
Obrázek 10: Reálný a imaginární graf frekvenční odezvové funkce	12
Obrázek 11: Diagram stability	13
Obrázek 12 : Schéma zapojení	14
Obrázek 13: Hlavní obrazovka programu	14
Obrázek 14: Karta Project	15
Obrázek 15: Vzhled obrazovky Machine Details	16
Obrázek 16: Nastavení výkonové křivky stroje	17
Obrázek 17: Nastavení držáku	17
Obrázek 18: Databáze nástrojů	18
Obrázek 19 : Nastavení nástroje.....	18
Obrázek 20 : Databáze materiálů	19
Obrázek 21 : Definování materiálů	20
Obrázek 22 : Test materiálu [15].....	20
Obrázek 23: Karta Measurement.....	22
Obrázek 24: Karta Sensors	23
Obrázek 25: Úprava senzorů	24
Obrázek 26: Karta Cut Data	24
Obrázek 27: Zobrazení řezných parametrů v Diagramu stability	25
Obrázek 28: Geometrie nástroje [16]	25
Obrázek 29: Úhel nastavení hlavního ostří [17].....	26
Obrázek 30: Karta Dynamics	26
Obrázek 31: Karta Machine Limits	27
Obrázek 32: Karta Current Conditions.....	28

Obrázek 33: Karta Plot Range.....	29
Obrázek 34: Obrazovka Practice.....	29
Obrázek 35: Obrazovka měření.....	30
Obrázek 36: Výsledné grafy.....	31
Obrázek 37: Nastavení a analýza diagramu stability	32
Obrázek 38: Karta Legend	32
Obrázek 39: Karta Cursors.....	33
Obrázek 40: Karta Range	34
Obrázek 41: Modální analýza	35
Obrázek 42: Right Click and Zoom options.....	36
Obrázek 43: The File Menu	36
Obrázek 44: Setup Drop Down Menu.....	37
Obrázek 45: Hardwarový test.....	37
Obrázek 46: Preferences.....	38
Obrázek 47: The Plot menu.....	38
Obrázek 48: The Compare menu	38
Obrázek 49: File List.....	39
Obrázek 50: Merge Files	39
Obrázek 51: Polotovar a soustružnický nůž SCLCL 1212F-09 s VBD destičkou CCMT 09T304-SM	40
Obrázek 52: EMCO Maxxturn 25 [18]	40
Obrázek 53: Součásti měřicí sestavy.....	41
Obrázek 54: Setup	42
Obrázek 55: Machine	43
Obrázek 56: Tool.....	43
Obrázek 57: Material.....	44
Obrázek 58: Measurement	44
Obrázek 59: Sensors.....	45
Obrázek 60: Cut Data.....	45
Obrázek 61: Dynamics	46
Obrázek 62: Machine Limits.....	46
Obrázek 63: Current Conditions	47
Obrázek 64: Plot Range.....	47
Obrázek 65: Měření v ose X	48

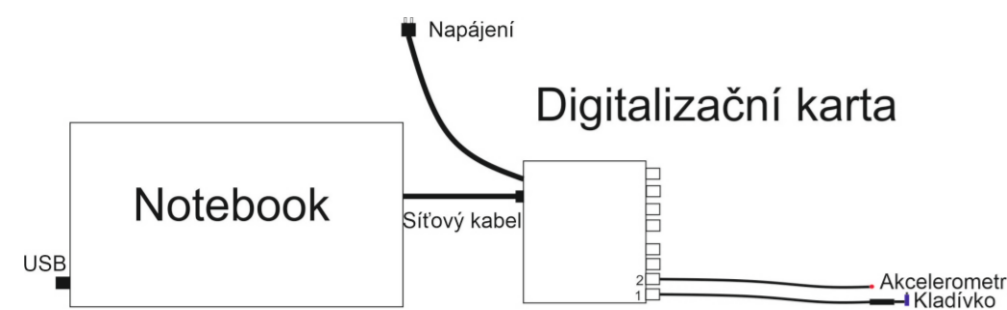
Obrázek 66: Měření v ose Y	48
Obrázek 67: Měření v osách XY	48
Obrázek 68: Real WorkPiece Direct - X Direction.....	49
Obrázek 69: Real WorkPiece Direct - Y Direction.....	49
Obrázek 70: Real Frequency Response All.....	49
Obrázek 71: Diagram stability v ose X	50
Obrázek 72: Diagram stability v ose Y	50
Obrázek 73: Diagram stability v ose XY	50
Obrázek 74: Počet řezných břitů: vlevo 1 břit vpravo 2 břity	51
Obrázek 75: Rádus nože: vlevo 0,4 vpravo 0,8	51
Obrázek 76: Měrný řezný odpor: vlevo 2000Nmm ² vpravo 1500Nmm ²	52
Obrázek 77: Process Damping wavelenght: vlevo $\lambda=1$ vpravo $\lambda=0,8$	52
Obrázek 78: Charakteristika koncovek [15].....	53
Obrázek 79: Typy koncovek	53
Obrázek 80: Zelená koncovka.....	54
Obrázek 81: Červená koncovka	54
Obrázek 82: Bílá koncovka	54
Obrázek 83: Diagram koherence zelené koncovky	55
Obrázek 84: Diagram koherence červené koncovky.....	55
Obrázek 85: Diagram koherence bílé koncovky	55
Obrázek 86: Měřicí sestava Brüel & Kjær	56
Obrázek 87: Graf TXF – Magnitude All.....	56
Obrázek 88: Graf Brüel & Kjær – Magnitude All	57
Obrázek 89: Ladička o vlastní frekvenci 440 Hz.....	58
Obrázek 90: Graf Real Frequency Response 1. měření	58
Obrázek 91: Graf Real Frequency Response 2. měření	58

Seznam tabulek

Tabulka 1: Frekvenční odezvoivá funkce [14].....	12
Tabulka 2: Vzorkovací frekvence, šířka pásma měření a jejich podíl	57

Návod programu TXF 1 - soustružení

1, Zapojení měřicí soustavy



Obr. 1 : Zapojení měřicí sestavy

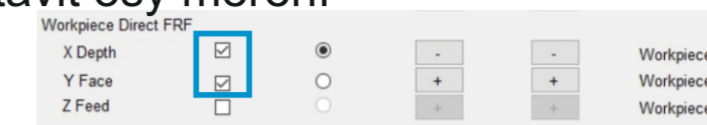
- Zapojit senzory : kladívko s bílou koncovkou 1. kanál akcelerometr 2. kanál
- Zapojit digitalizační kartu do sítě
- Propojit notebook a digitalizační kartu síťovým kabelem.
- Vložit hardwarový klíč do notebooku
- Zapnout digitalizační kartu
- Do webového prohlížeče vložit 169.254.56.117
- Provést kalibraci

2, Setup - karta Project

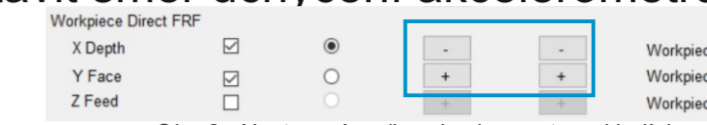
- Stackup number - jméno měření
- Cutting module - Turning
- Machine - vybrat stroj z databáze „Machine Search” - **EMCO Maxxturn 25**
- Tool - definovat přes „Tool Details”:
 - Length Stickout - délka vyložení nástroje
 - Cutting Diameter - průměr polotovaru
 - Effective cutting edges - počet řezných břitů
 - Length cutting edge - délka řezné hrany
 - Overall Length - celková délka nástroje
- Material - vybrat materiál z databáze podle PMKNSH - důležité parametry : Cutting Stiffness
Process Damping Wavelength

3, Setup - karta Measurement

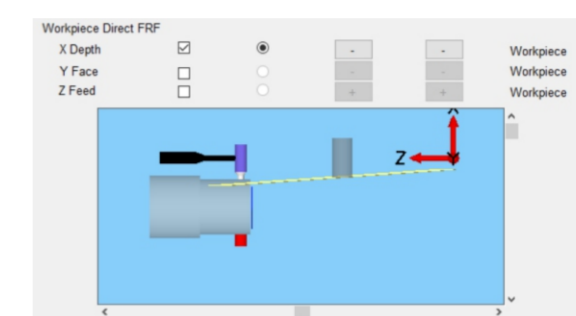
- Measurement Bandwidth - 10 kHz
- Nastavit osy měření
- Nastavit směr uchycení akcelerometru a nárazu kladívka



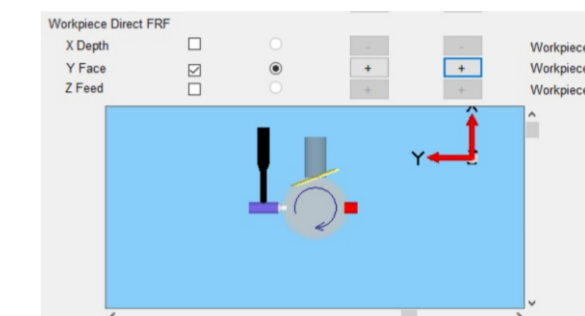
Obr. 2 : Osy měření



Obr. 3 : Nastavení směru akcelerometru a kladívka



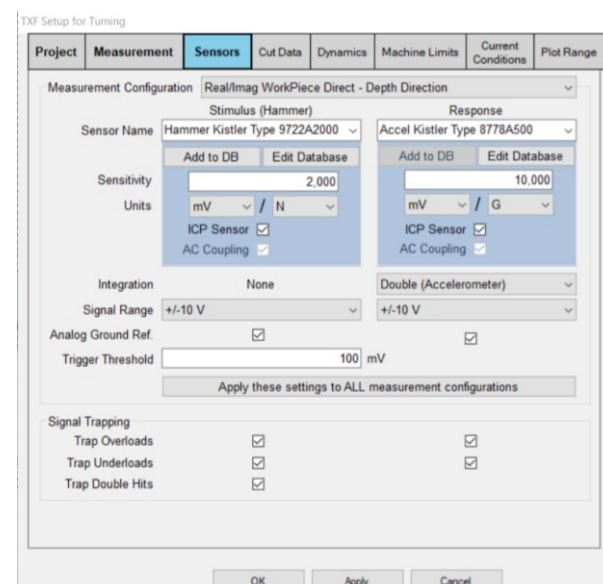
Obr. 4 : Osa X - uchycení akcelerometru a směr nárazu kladívka



Obr. 5 : Osa Y - uchycení akcelerometru a směr nárazu kladívka

4, Setup - karta Sensors

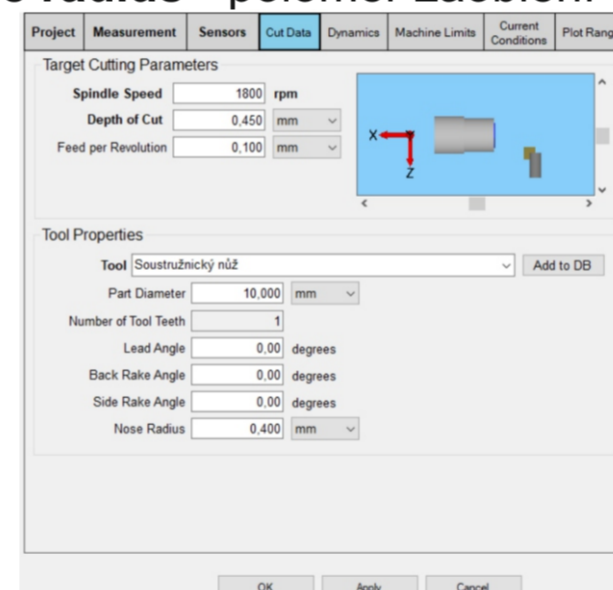
- Zvolit senzory: Hammer Kisltter Type 9722A2000
Accel Kistler Type 8778A500
- Nastavení podle obrázku 6



Obr. 6 : Karta Sensors - nastavení

5, Setup - karta Cut Data

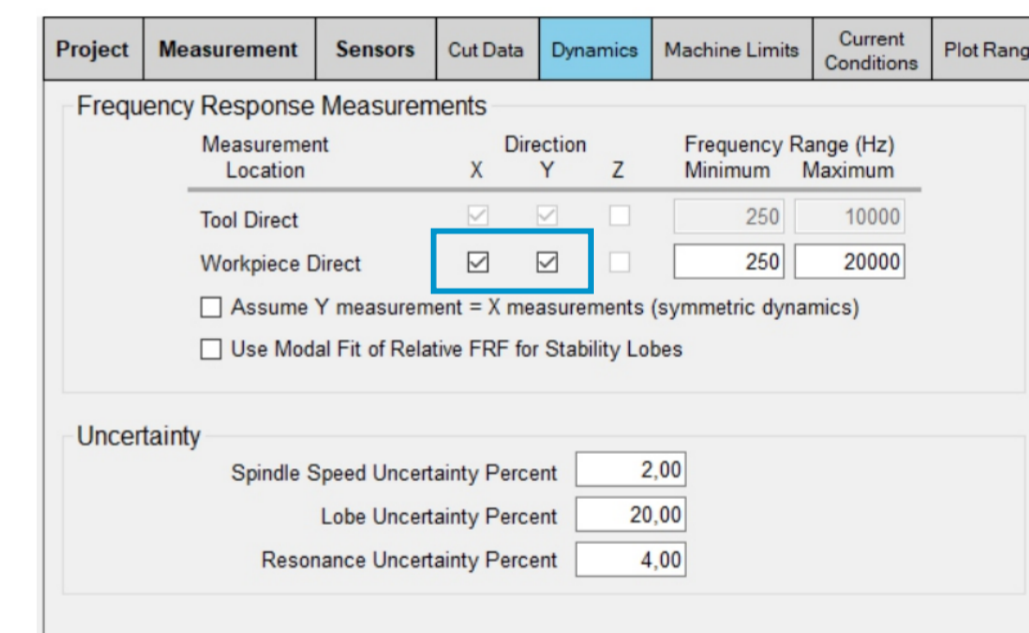
- Vyplnit důležité parametry:
 - Part Diametr - průměr polotovaru
 - Number of Tool Teeth - počet zubů nástroje
 - Nose radius - poloměr zaoblení ostří



Obr. 7 : Karta Cut Data - nastavení

6, Setup - karta Dynamics

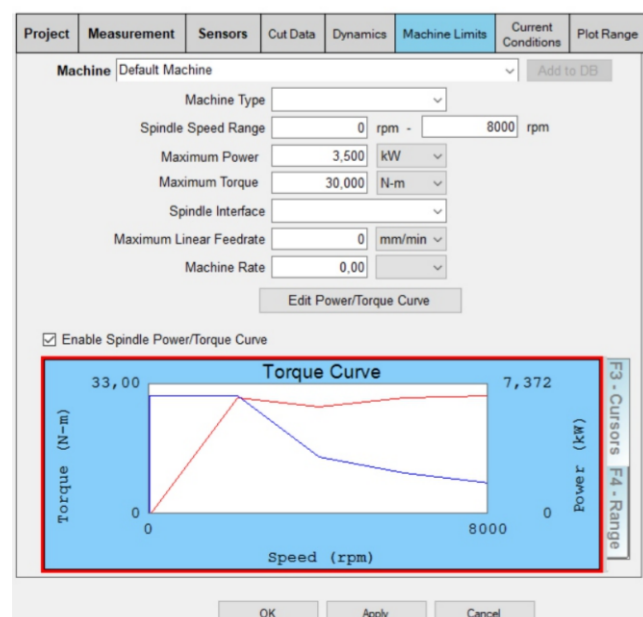
- Zaškrtnou osy měření X a Y
- Nejistoty měření jsou vyplněny automaticky



Obr. 8 : Karta Dynamics - nastavení

7, Setup - karta Machine Limits

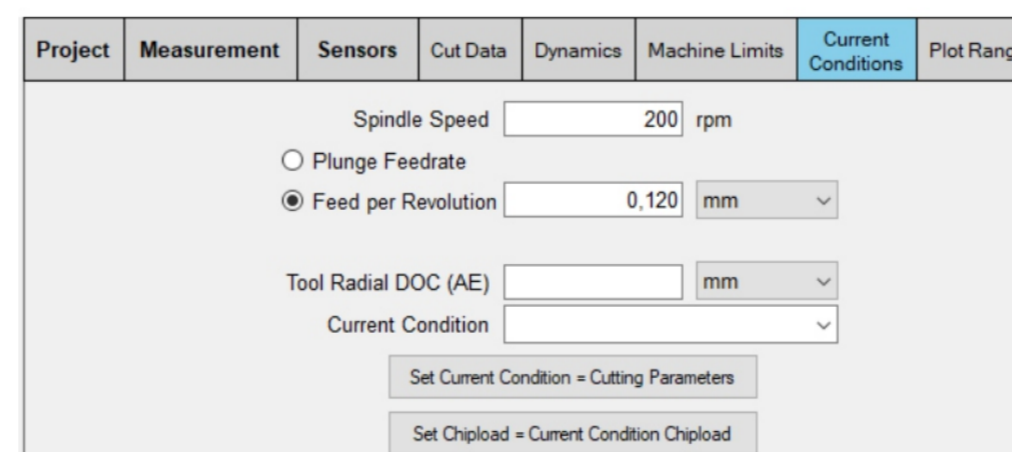
Karta Machine Limits se automaticky vyplní podle nastavených hodnot v kartě Project v sekci Machine.



Obr. 9 : Karta Machine Limits - nastavení

8, Setup - karta Current Conditions

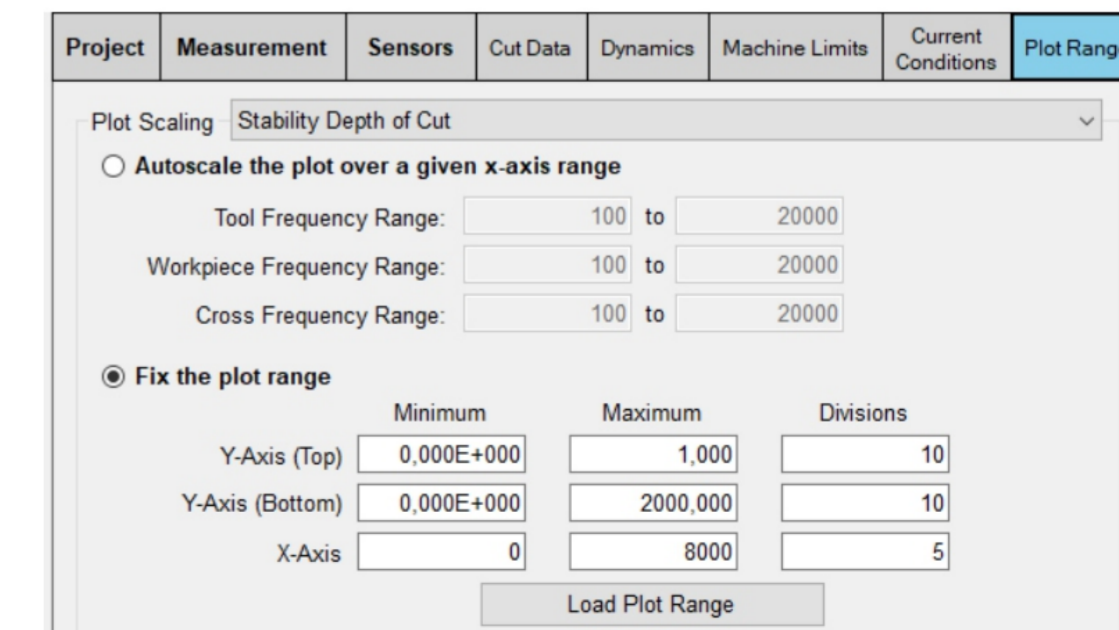
- Vyplnit: **Spindle Speed** - otáčky vřetena
Feed per Revolution - posuv na otáčku
Tyto řezné podmínky jsou zobrazeny v diagramu stability jako modrý terč. Jsou to parametry, kterých chce uživatel dosáhnout.



Obr. 10 : Karta Current Conditions - nastavení

9, Setup - karta Plot Range

- Nastavit **Fix the plot range** podle obrázku 11



Obr. 11 : Karta Plot Range - nastavení

