

FORCE EFFECTS OF JAW CRUSHER MECHANISM

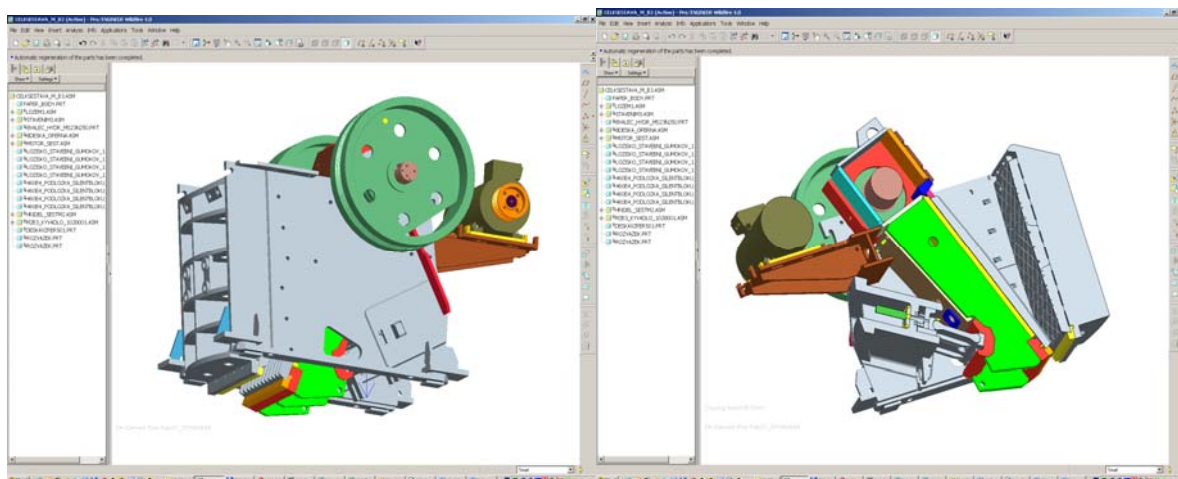
M. Kyncl*, P. Punge*

Summary: *The article deals with characteristics of the crusher mechanism, whose kinetics is determined by a combination of rotary and pendulum motion of the elements. Force effects of mechanism seated on flexible silent blocks are analyzed. Method of dynamic balancing is derived. Useful application of the presented approach is the method of determination of silent block stiffness by means of violation of balancing.*

1. Úvod

Čelistové drtiče (jednovzpěrné či dvouvpěrné) jsou stroje určené k primárnímu drcení všech druhů kameniva a rudy, armovaného betonu, stavební suti, cihel. Mechanismus těchto strojů může vykazovat nadměrné kmitání, přenos dynamických sil do základů či uložení, kmitání okolní konstrukce. Důsledkem mohou být únavové poruchy v tělese stroje i v základové konstrukci. Vliv na okolí se může projevit nepříznivými podmínkami pro obsluhu, nadměrným hlukem a pod. Minimalizace či eliminace těchto nežádoucích účinků je důležitým úkolem, který je nutno řešit jak v etapách vývoje, tak ve specifických podmínkách provozu.

Pro řešení vlastností mechanismů drtičů byla odvozena potřebná teorie a vytvořeny aplikační programy. K analýzám jsou využívány i systémy metody konečných prvků ANSYS, systém ProENGINEER/MDO, a přístroje pro technickou diagnostiku a tenzometrická měření.



Obrázek 1: Čelistový drtič DCJ 1200x1000

* RNDr. Martin Kyncl, CSc., Ing. Petr Punge: PSP Engineering a.s.; Kojetínská 3186/79; 75053 Přerov; tel.: +420.581 233 194; e-mail: kyncl@pspeng.cz, petr.punge@pspeng.cz

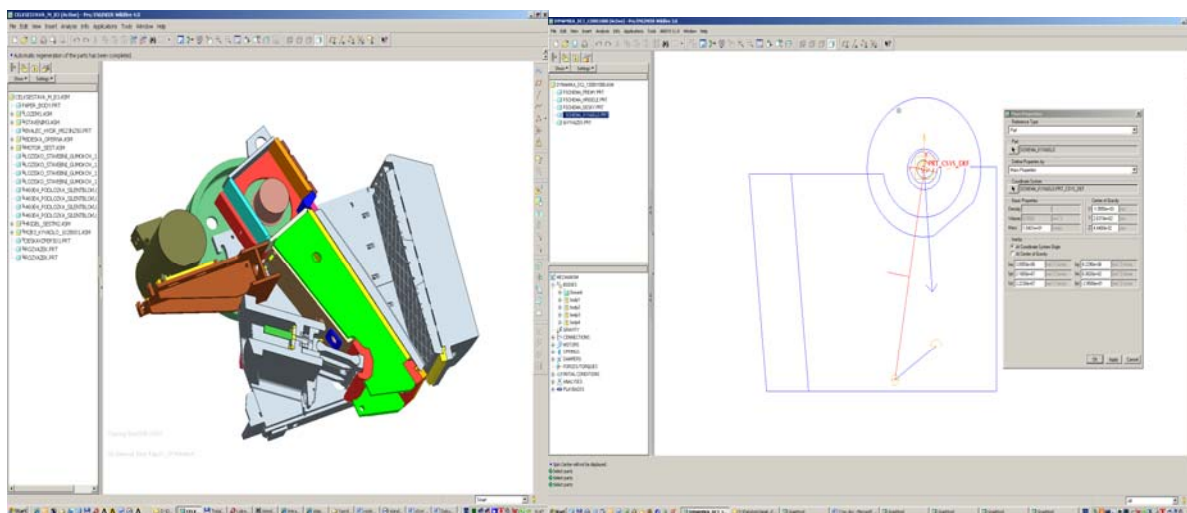
Výpočtová kinematická a dynamická analýza mechanismu vede k určení budících sil a sil reakčních v uložení. Minimalizace nežádoucích účinků na okolí se provádí volbou optimálních parametrů uložení a vyvážení mechanismu. Při znalosti klíčových parametrů mechanismu lze formulovat speciální výpočtové modely k určení sil působících na jednotlivé členy mechanismu při drcení. Znalost silových poměrů vede k dalším analýzám s pomocí metody konečných prvků a k optimálnímu dimenzování stroje.

2. Mechanismus čelistového drtiče

Mechanismus jednovzpěrného čelistového drtiče obsahuje masivní excentrický hřídel s jedním nebo dvěma setrvačníky, opět masivní kyvnou drtící čelist a vzpěrnou desku. U dvouvzpěrných drtičů přibývá ojnice a další vzpěrná deska. Pohyblivá drtící čelist tvoří s pevnou čelistí, uloženou v rámu, drtící prostor pro drcení nerostných materiálů.

Mechanismus je souměrný kolem svislé roviny symetrie stroje. Těžiště všech článků mechanismu se pohybují v této rovině, jedná se tedy o rovinný mechanismus. Jednotlivé členy mechanismu (excentr, kyvná čelist, vzpěrná deska, ojnice) jsou spolu spojeny pomocí kloubů. Kinematický řetězec je uzavřen pevným článkem mechanismu, kterým je rám stroje. Obecně obsahuje mechanismus n členů a $n+1$ kloubů. Hnacím členem mechanismu je klika (excentr), jejíž polohou jsou určeny polohy všech ostatních pohyblivých členů mechanismu.

Pro předpoklady pevného uložení rámu a konstantní úhlové rychlosti kliky excentru byla odvozena teorie mechanismu a vytvořeny příslušné výpočtové programy. Metoda spočívá v rozložení celkového kinematického řetězce na tzv. binární dvojice, které postupně řešíme. Např. první binární dvojici tvoří spojnice kloubů excentru a kyvadla a spojnice kloubů kyvadla s kloubem vzpěrné desky v rámu. Z kruhového pohybu kloubu excentru lze jednoznačně odvodit polohy, relativní a absolutní rychlosti a zrychlení v rozhodujících uzlech mechanismu (klouby, resp. těžiště členů). Každý člen mechanismu pak vyvolává svým pohybem setrvačné síly a momenty, které vyhodnocujeme (pomocí znalosti hmotností a hmotných momentů setrvačnosti) v těžištích členů. Ze znalosti celkových působících sil a momentů určujeme rozložení reakčních sil v pevném uložení drtiče.



Obrázek 2. Řez střední rovinou drtiče, náhradní model

Podmínka konstantní úhlové rychlosti hnacího členu nebývá splněna především při rozběhu a doběhu stroje. Rovněž tak i průběh drcení a dopady materiálu zavádějí do pohybu setrvačnicku nerovnoměrnosti. Častým případem je uložení drtiče na pružných silentblocích. Mechanismus i s rámem na pružinách tvoří nový dynamický celek, reakční síly v pružinách se oproti pevnému uložení mění. Takové složitější případy jsou analyzovány pomocí programového systému ProENGINEER/MDO (Mechanism Dynamic Option).

3. Dynamické účinky do uložení

Výpočtový dynamický model

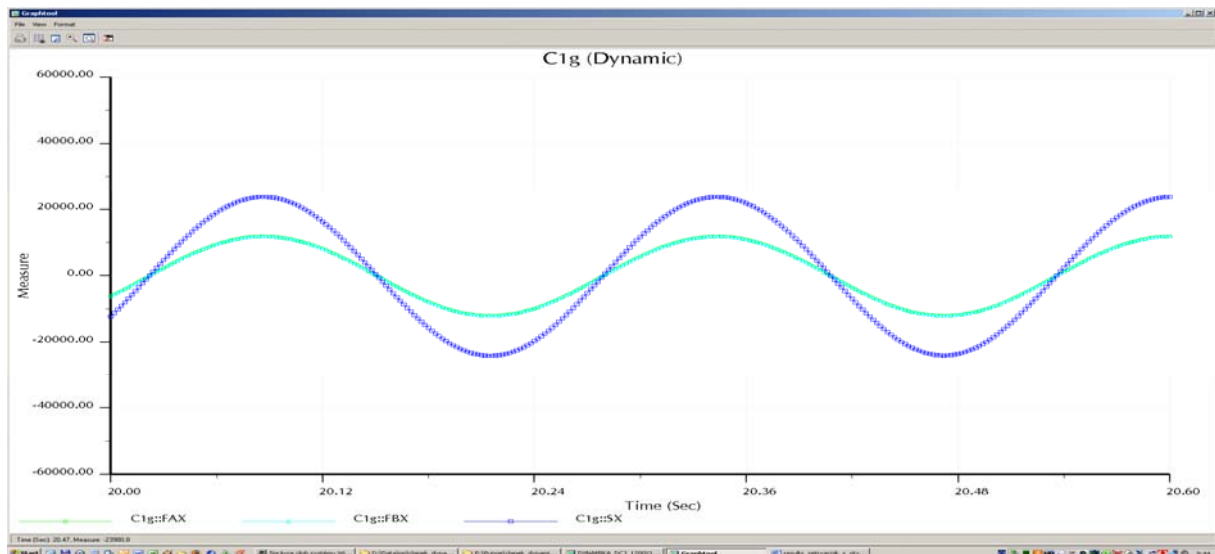
Podklady pro analyzovaný model drtiče získáváme z konstrukčního modelu (ProENGINEER). Úplný prostorový model (software MDO) lze vytvořit přímo z konstrukčního modelu pomocí nejnútnejších úprav a zavedením příslušných okrajových podmínek.

Pohodlnější a časově přijatelnější práce je s náhradním modelem. V tomto případě celou konstrukci převádíme na rovinnou úlohu se základní geometrií klíčových členů mechanismu, které jsou spojeny klouby. Respektujeme dané hmotnostní charakteristiky, momenty setrvačnosti a pod.

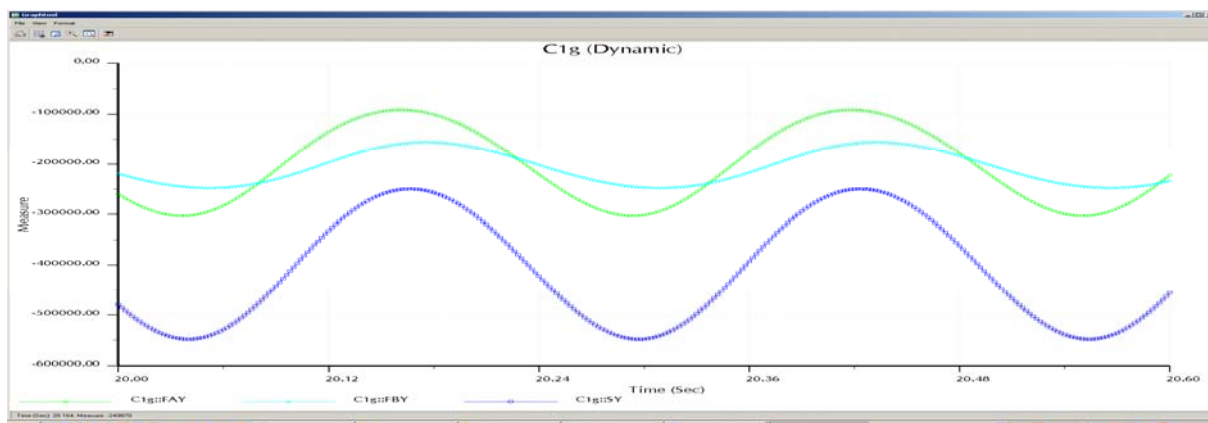
U řešených případů řešíme ustálený stav kmitání při provozních otáčkách. Pro potřeby ladění tuhostí a porovnání s experimentálním měřením jsou zkoumány i stavy rozběhu a doběhu stroje. Jsou sledovány reakční síly v patkách uložení. V případech pružného uložení jsou řešeny i posuvy v pružinách a vlastní frekvence během rozběhu a doběhu.

Metodika vyvážení stroje

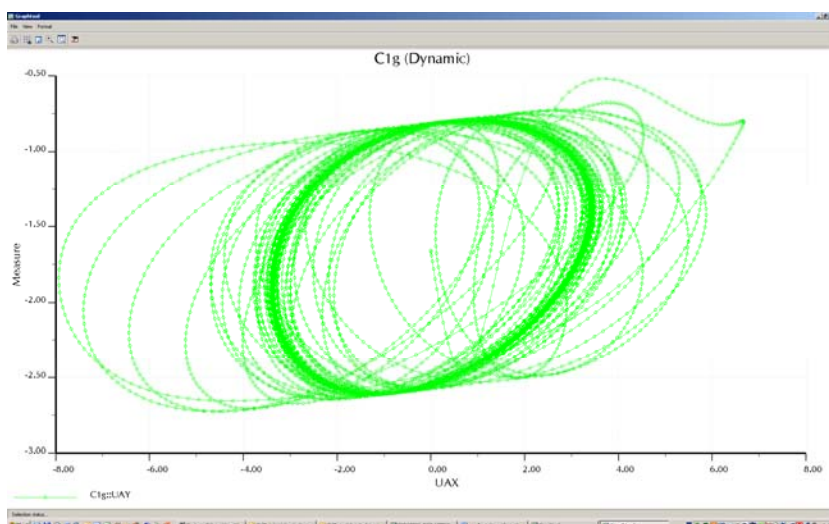
Při ustáleném stavu kmitání sledujeme časový průběh silového a momentového působení do uložení. Pro případy jednovzpěrného i dvouvzpěrného drtiče je časový průběh každé ze složek reakcí (vodorovné i svislé) blízký sinusovému tvaru $\sin(\varphi+\delta)$ (s různým zpožděním δ), s menšími rezidui ve vyšších harmonických.



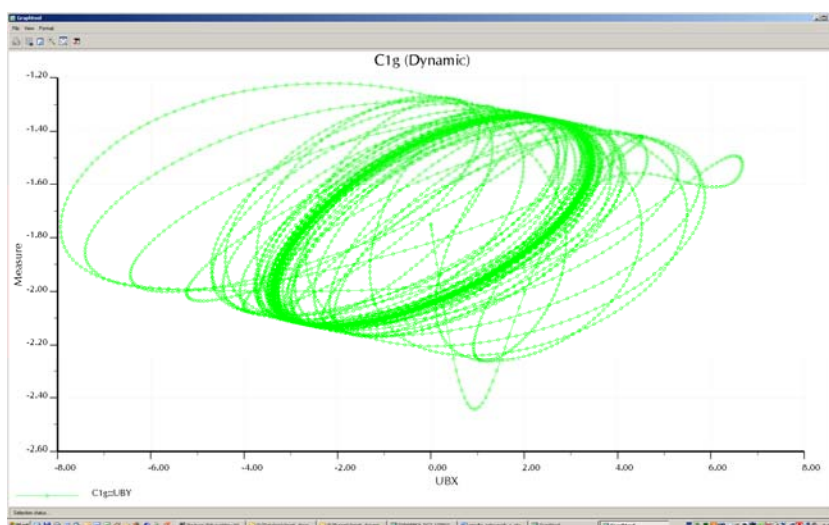
Obrazek 3. Časový průběh posuvů v uložení – vodorovná složka pro nevyvážený stav



Obrázek 4. Časový průběh posuvů v uložení – svislá složka pro nevyvážený stav



Obrázek 5. Křivka pohybu v patce A uložení – nevyvážený stav

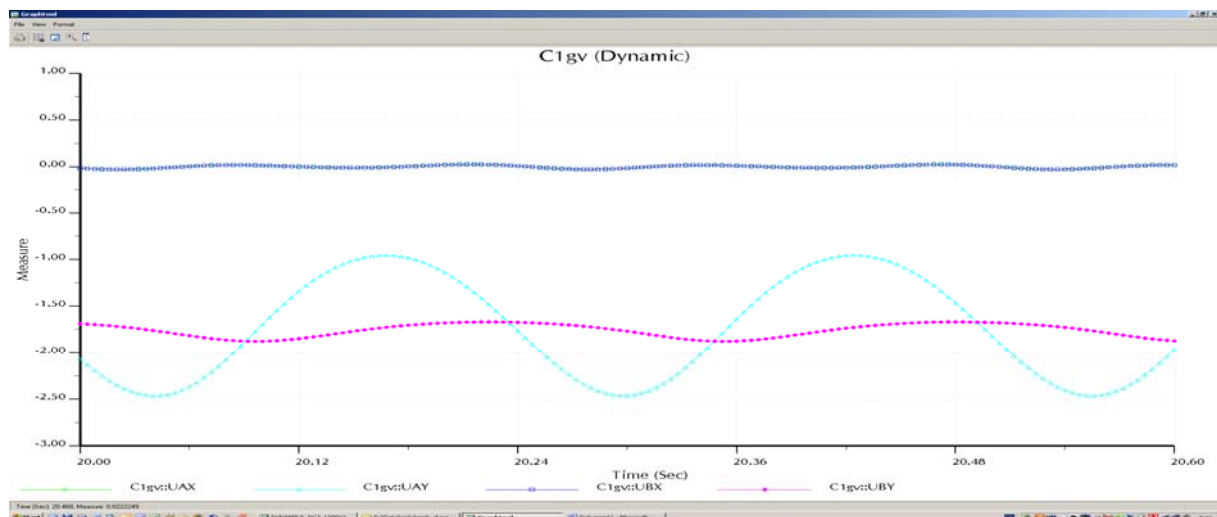


Obrázek 6. Křivka pohybu v patce B uložení – nevyvážený stav

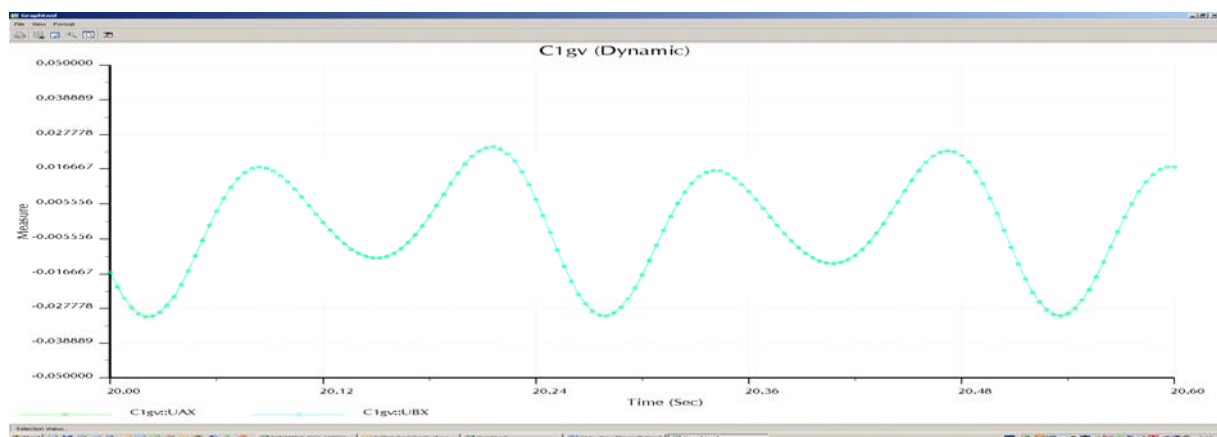
Uvedených poznatků s výhodou využíváme pro vyvažování stroje ve zvoleném směru vibrací. Z časového průběhu silových účinků do uložení plyne, že lze nalézt umístění a velikost vhodného vývažku, neboli přídavné rotující radiální síly Fr (na setrvačnicku), tak, aby byla minimalizována volená složka účinku sil v patkách uložení. Průběh vodorovné (Fr_x) či svislé silové složky (Fr_y) od vývažku Fr je totiž popsán opět první harmonickou ($\sin(\varphi+\delta_1)$, či $\cos(\varphi+\delta_2)$).

Drtiče bývají často uloženy pružně na rámu o nezanedbatelné výšce, s omezenou tuhostí rámu. Proto je vhodné minimalizovat především vodorovné silové účinky. Obojí složky sil F_x , F_y současně obecně současně optimálně minimalizovat nelze z důvodů nevhodných rozdílů zpoždění argumentů δ_i v sinusovém či cosinusovém průběhu.

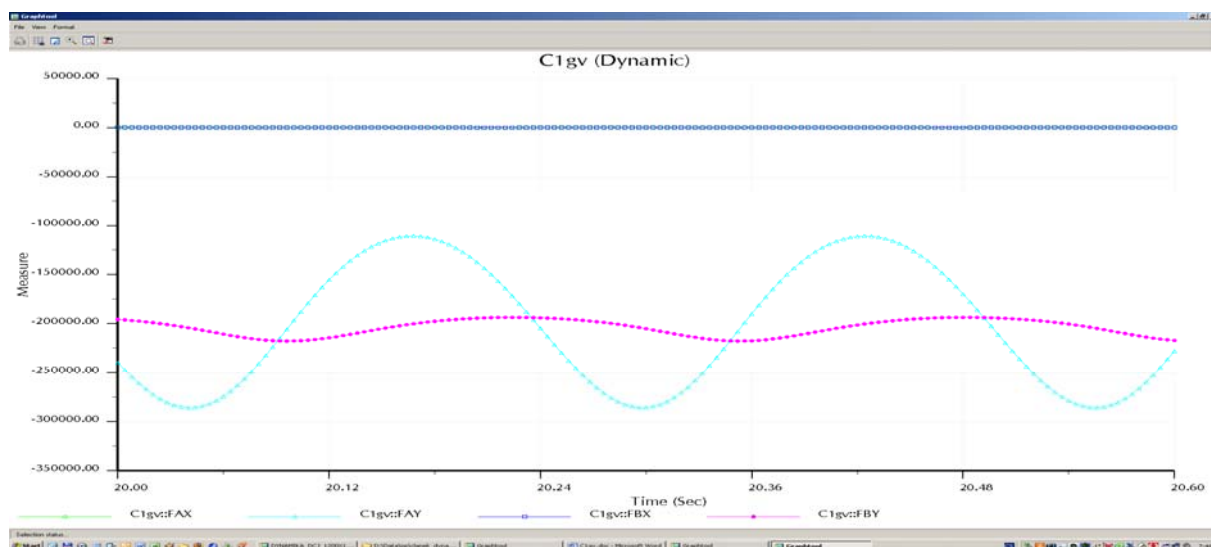
Výpočtová analýza modelu s pevným uložením vede k nalezení vhodných universálních předvývažků již v etapě konstrukčního návrhu. Konečné optimální dovyvážení na konkrétním uložení na silentblocích se děje ve spolupráci se zkušebnou a s aplikací metod experimentálních měření. Je využívána metoda vyvažování ve dvou rovinách. Vývažky odpovídajících hmotností jsou umisťovány na daný poloměr a úhel setrvačnicku.



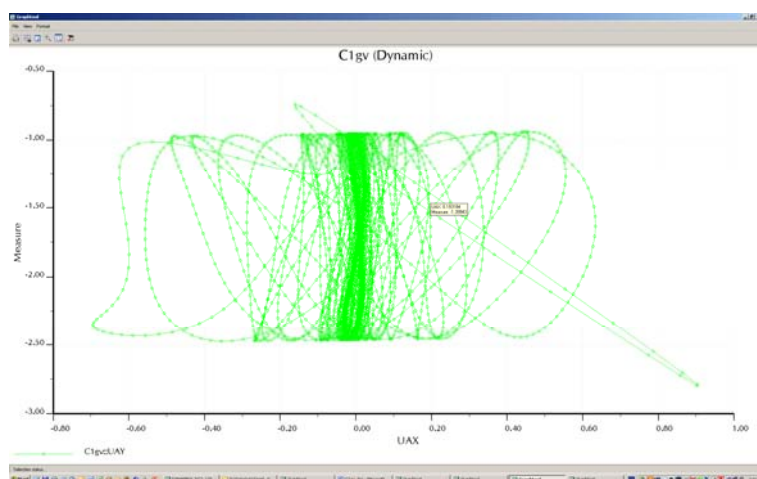
Obrázek 7. Časový průběh posuvů v uložení – vyvážený stav (vodorovně)



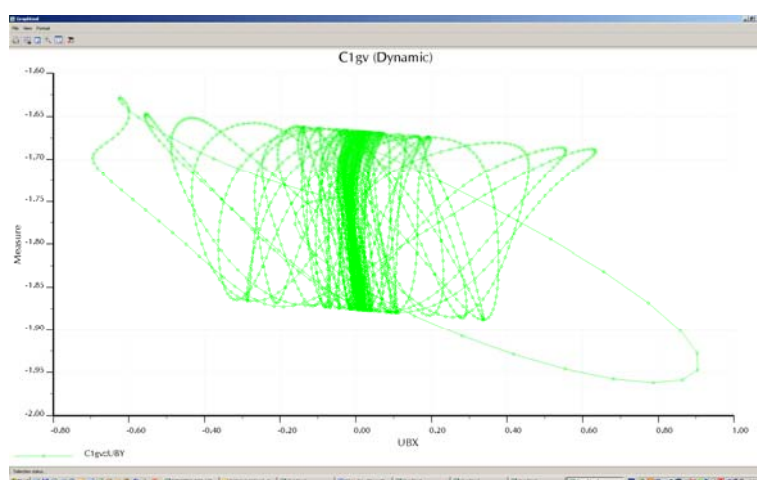
Obrázek 8. Časový průběh vodorovných posuvů v uložení – vyvážený stav (vodorovně)



Obrázek 9. Časový průběh složek sil v uložení – vyvážený stav (vodorovně)



Obrázek 10. Křivka pohybu v patce B uložení – vyvážený stav



Obrázek 11. Křivka pohybu v patce B uložení – vyvážený stav

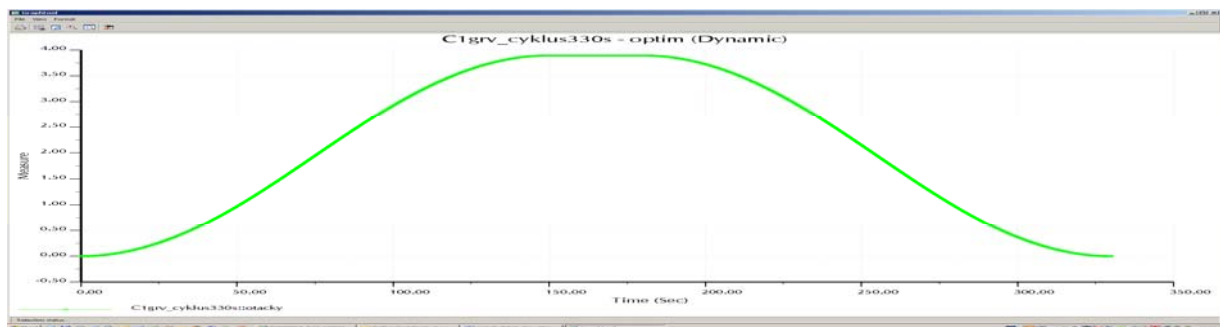
Analýza vlastností uložení

Znalost tuhostí (statických či dynamických) je klíčová pro stanovení dynamických sil zatěžujících nosnou konstrukci při prostém běhu stroje, při režimech rozměhu a doběhu, při drcení, či dopadu materiálu. Tabulkové statické i dynamické tuhosti a útlumy silentbloků předávané od výrobce však často (z různých důvodů) neodpovídají skutečnosti. Vzhledem k vysokým hmotnostním a silovým poměrům u drtičů je získávání těchto údajů velmi obtížné.

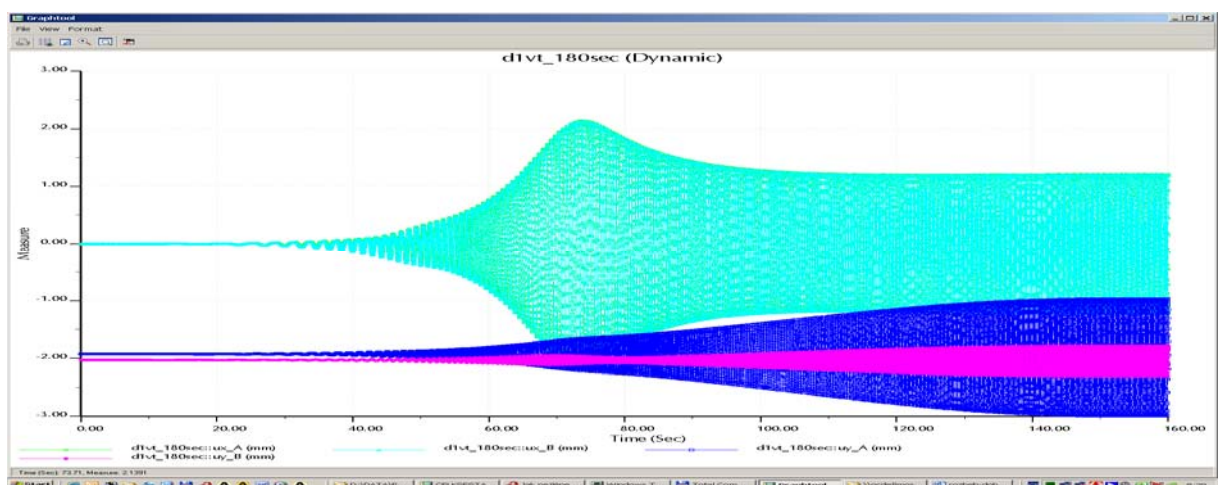
Jako prakticky použitelná a užitečná se jeví námi odvozená metodika určování (především) vodorovné dynamické tuhosti uložení pomocí voleného nevývažku:

Pružně uloženou sestavu drtiče nejprve vyvážíme ve vodorovném směru. Poté na zvolený úhel a poloměr setrvačnicků umístíme volený nevývažek. Změříme dynamické posuvy silentbloků, nejlépe ve vodorovném i svislém směru. Pro oba stavy – vyvážený i rozvážený - měříme kmitání při rozběhu a doběhu i stav ustálený.

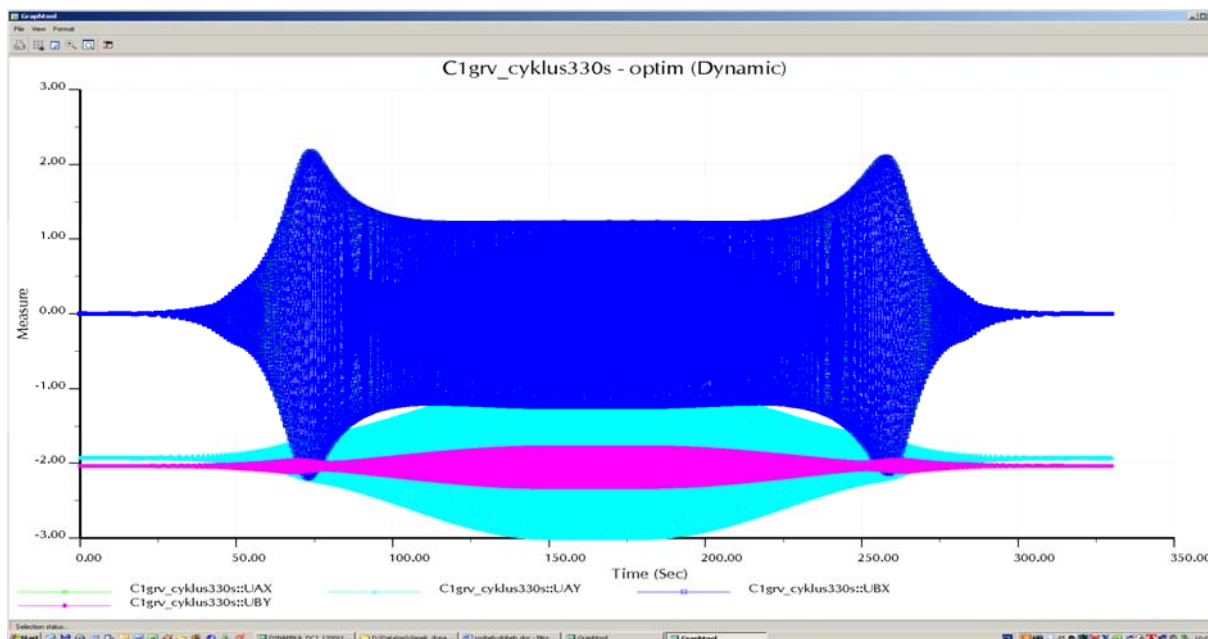
Ve výpočtovém modelu provedeme proces vyvážení pro předběžné tabulkové hodnoty tuhostí a útlumů. Poté zavedeme daný vývažek. Analyzujeme časový průběh posuvů i sil v uložení při rozběhu, doběhu i při ustáleném stavu. Důležitým kritériem jsou příslušné vlastní frekvence zjištěné z přibližného modelu (hmota-pružina), z výpočtového modelu a z měření (při rozběhu a doběhu). Ke shodě vypočtených a naměřených hodnot ve sledovaných režimech vyvážení a rozvážení dospějeme optimalizací hodnot výpočtových tuhostí a útlumů.



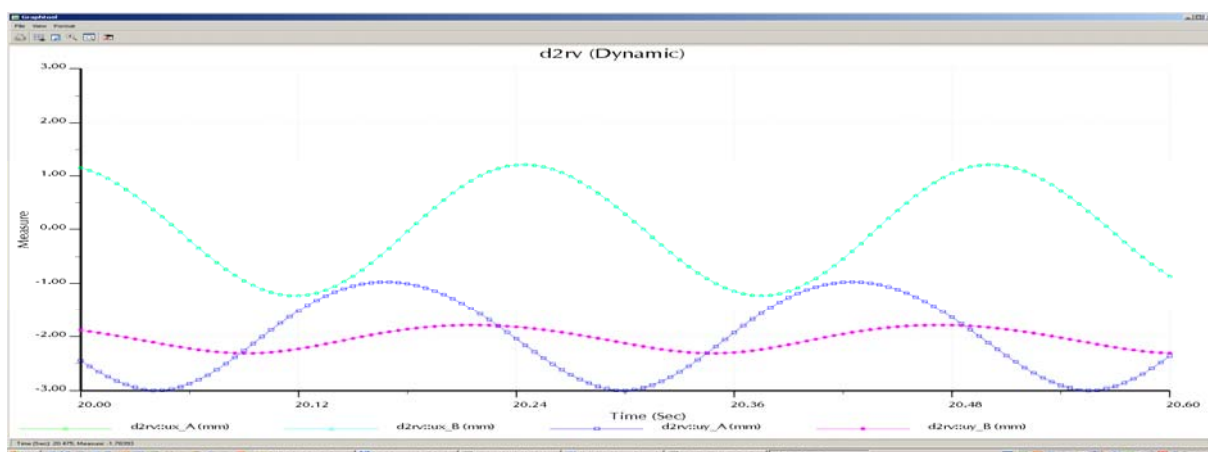
Obrázek 12. Otáčky setrvačnicku v úseku rozběh, provoz, doběh



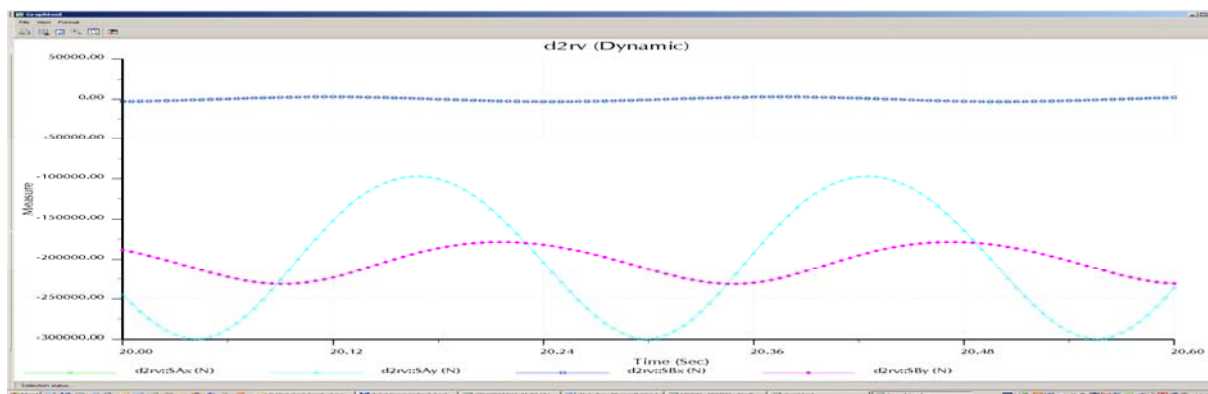
Obrázek 13. Časový průběh posuvů v uložení včetně rozběhu – stav s rozvažkem



Obrázek 14. Průběh posuvů v uložení včetně rozběhu a doběhu – stav s rozvažkem



Obrázek 15. Časový průběh posuvů v uložení – stav s rozvažkem



Obrázek 16. Časový průběh sil v uložení – stav s rozvažkem

Drcení materiálu

Hnací obvodová síla P na excentru, daná výkonem pohonu, setrvačnický a příslušným převodem, má být schopna v kterémkoli místě drtící čelisti vyvodit drtící sílu větší, než síly potřebné k rozdrčení jednotlivých kusů materiálu. Pro posouzení účinku mechanismu drtiče je důležitý časový průběh rovnovážné drtící síly Q_e , která je v rovnováze s účinkem síly P . Potřebný průběh Q_e je řešen z podmínky rovnováhy mezi aktivními silami P , Q_e , vyjádřené principem virtuálních prací. Výsledek je ovlivněn především polohou drtící síly Q a poměrem rychlostí v místech sil P, Q a slouží k optimálním návrhům účinného mechanismu stroje. Maximální drtící síla Q_{max} se propočítává pro danou pevnost drceného materiálu a jeho určené rozložení.

V rámci analýz vlastností mechanismu byly řešeny různé varianty časového průběhu drtící síly mezi čelistmi a průběhu rychlosti členu excentru a hodnocen pohyb celku a reakční síly v uložení.

4. Závěry

V předchozích kapitolách byly uvedeny základní přístupy používané v PSP Engineering k analýze budících sil v mechanismu, určování reakcí v uložení a posléze k minimalizaci nežádoucích dynamických účinků drtičů.

5. Literatura

- Kyncl, M. & Punge, P. (2009) Silové účinky mechanismu jednovzpěrného drtiče a tuhost uložení. Interní výzkumná zpráva PSP Engineering, Přerov.
- Kyncl, M. (2007) Minimalizace nežádoucích dynamických účinků strojů. Konference CE-MENT 2007, Přerov
- Štěpánek V. (1980) Klikový mechanismus čelistových drtičů. Interní výzkumná zpráva PSP Engineering, Přerov
- Růžička M. (1976) K vyvažování mechanismu čelistových drtičů. Výzkumná zpráva SVUSS Běchovice