

# ZVYŠOVÁNÍ ŽIVOTNOSTI NÁŘADÍ A PROCES MONITORING V KOVÁRNĚ ŠKODA AUTO

## INCREASING THE LIFETIME OF THE FORGING DIES AND PROCESS MONITORING IN ŠKODA AUTO FORGE PLANT



ING. JAN OTOUPALÍK [jan.otoupalik@4dot.cz](mailto:jan.otoupalik@4dot.cz), ING. GUSTAV GRÁF, PH.D. [gustav.graf@skoda-auto.cz](mailto:gustav.graf@skoda-auto.cz)

### Abstrakt

Životnost upínače nářadí kovárenských strojů je často připisována vlivu plastické deformace stolu rámu stroje, která způsobuje mezeru mezi upínačem nářadí a stroje vedoucí k praskání upínače. V tomto příspěvku je vysvětlen vliv opotřebení komponent stroje a jejich seřízení na životnost upínače nářadí a souvislosti mezi jednotlivými parametry sledovanými technologií Adaptivního nástroje společnosti 4dot v kovárně Škoda Auto v Mladé Boleslavi. Dále jsou popsány možnosti a přínosy sledování tuhosti soustavy nástroje a vůlí ve vedení beranu stroje a nástroje samotného. Zároveň je nastíněn potenciál a budoucí směr rozvoje technologií v oblasti sledování kondice komponent tvářecích strojů a sledování procesu kování.

### Abstracts

Lifetime of die holder of forging presses is commonly attributed to the plastic deformation of the press table which causes development of gap between the table and holder leading to the holders' failure. This article presents explanation of the influences of the die set wear and its set-up on lifetime of die holder and connection between analyzed parameters obtained by 4dot Adaptive die set technology deployed in Škoda Auto forge in Mladá Boleslav. Possibilities and benefits of monitoring of the die holder-die system stiffness and clearances within the ram is presented. Furthermore, potential and future direction of the technology development in the field of condition monitoring systems for forging machines and process monitoring is described.

**Klíčová slova** Upínač nářadí, kovací lis, životnost, kondice, stůl lisu, seřizování stroje, proces monitoring, měření, analýza, vůle vedení, plastická deformace

**Key Words** die holder, forge press, lifetime, condition, press table, machine adjustments, process monitoring, measuring, analysis, guides clearances, plastic deformation

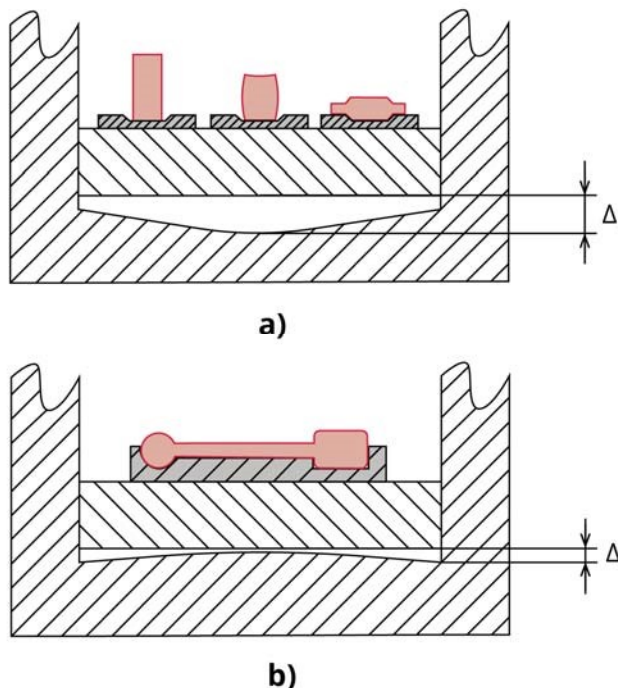
### 1. ŽIVOTNOST UPÍNAČE NÁŘADÍ

Za účelem zvýšení životnosti upínače nářadí v kovárně Škoda Auto v Mladé Boleslavi byl implementován diagnostický systém společnosti 4dot umožňující sledování kondice upínače. V následujícím textu je tato problematika a jeho řešení popsána společně s dalšími možnými přínosy dané technologií.

#### 1.1 Hlavní vlivy na životnost upínače nářadí

Při procesu kování dochází k významnému namáhání převážně většiny částí kovacího stroje. U zápustkového kování se kovací síly pohybují v řádech desítek meganewtonů. Tuto sílu musí

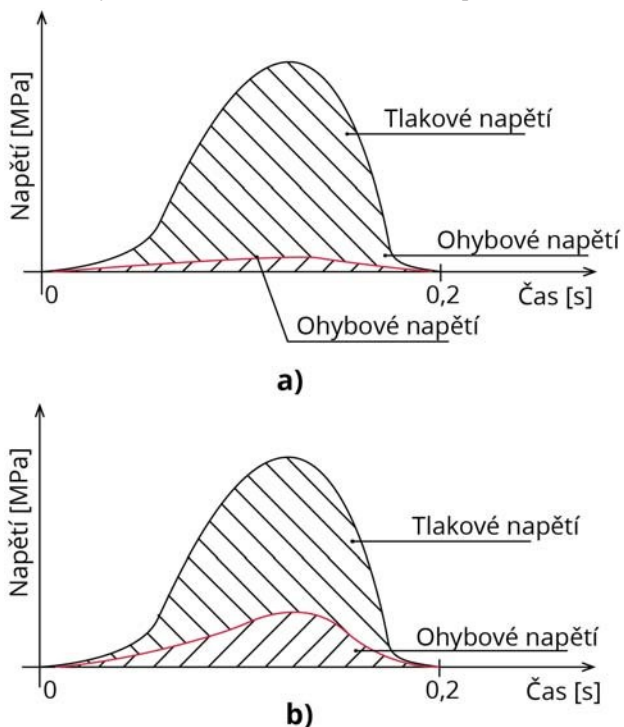
zápustka společně s upínačem nářadí a stolem stroje absorbovat nejlépe tak, aby nedocházelo k plastické deformaci upínače nářadí, ani stolu stroje. V reálném prostředí se však stůl stroje značně plasticky deformuje. Tvar a rychlost propagace této deformace je závislá převážně na kovací síle, geometrii kovaného dílce, konstrukci upínače a materiálových charakteristikách jednotlivých komponent. Plastická deformace vytváří mezeru mezi stolem a upínačem. Tento fenomén plastického deformování stolu stroje nazýváme prokování a v dalším textu ho budeme takto referovat. Příklady tvaru prokování jsou schematicky zobrazeny na obr. 1.



**Obr. 1** Vliv sortimentu výroby na tvar prokování stolu frémy a) rotační výkovek, b) podlouhlý výkovek.

Síla mezi frémou a upínačem, respektive upínačem a zápustkou je přenášena vzájemnými stykovými plochami a převážně namáháním typu tah-tlak a stykovým (Hertzovým) napětím. Oba tyto typy namáhání jsou typově normálovým napětím. Vlivem zvyšujícího prokování frémy stroje se zmenšuje styková plocha upínače nářadí a frémy, která tyto síly přenáší. Zároveň je upínač nářadí namáhán na ohyb, na což není konstruován (větší vliv konstrukčních koncentrátorů napětí). Obr. 2 demonstruje změnu

poměru ohybového a tlakového namáhání upínače při prokování stolu frémy. Mění se také rozložení Hertzova napětí.

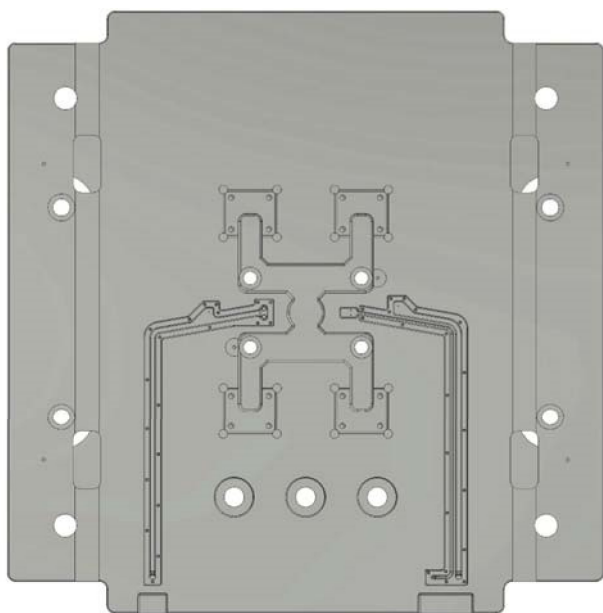


**Obr. 2** Rozložení namáhání u frémy a) bez prokování a b) s rozvojem prokování během pracovního zdvihů.

S rostoucí velikostí prokování frémy jsou také více namáhány upínací šrouby upínače, u kterých může docházet i k praskání.

### 1.2 Monitoring upínače nářadí

Znalost geometrie součástí a jmenovité kovací síly umožňuje určit limitní ohybové napětí, při kterém dochází v kritických místech (v koncentrátořech napětí) ke vzniku prasklin vedoucí k prasknutí celého upínače. S tímto předpokladem byla v kovárně Škoda Auto implementována technologie pro měření prokování frémy a mechanického namáhání upínače. Konstrukčními úpravami na spodní straně upínače, znázorněných na obr. 3, bylo umožněno zabudovat do upínače senzory schopné měřit potřebné veličiny. Rozmístění senzorů je navrženo tak, aby konstrukční úpravy co možná nejméně snižovaly tuhost upínače, nevytvářely v konstrukci koncentrátoři napětí a umožňovaly dané veličiny měřit v požadovaných místech.



**Obr. 3** Konstrukční úpravy spodní strany upínače nářadí.

Senzory v upínači je možné měřit vzdálenost mezi upínačem a stolem stroje (prokování), mechanické namáhání a zrychlení při procesu kování.

### Vzdálenost

Pro měření vzdálenosti je použit indukční senzor vzdálenosti. Umístění senzoru musí být v oblasti největšího průhybu upínače (největší prokování).

### Mechanické napětí

Mechanické napětí je na základě znalosti materiálových charakteristik přepočítáváno z mechanického přetvoření měřeného pod povrchem kontaktních ploch upínače a stolu frémy. Mechanické přetvoření se měří tenzometricky. Optimální místo měření je místo s největším mechanickým namáháním při dané operaci (popřípadě pouze u operace s největší kovací silou).

### Zrychlení

Zrychlení, respektive vibrace, jsou měřeny piezoelektrickými akcelerometry. Data ze senzoru zrychlení určují absolutní pohyb upínače při procesu kování a umožní tak rozdělení jednotlivých druhů namáhání. Data dále zobrazují vibrační odezvu systému, která umožňuje vzhled do procesu kování.

### 1.3 Výstupy analýzy

Na základě měřených dat je možné vhodnými metodami zpracování signálu měřit průběh prokování v čase, mechanické namáhání a jeho rozdělení. Aplikací matematicko-fyzikálního modelu tak lze odhadnout zbytkovou životnost upínače. Ta však není přímo závislá pouze na velikosti prokování. Je totiž také potřeba zohlednit únavu materiálu neboli počet pracovních zdvihů, který upínač musel absorbovat. Na obr. 4 je porovnání dvou průběhů prokování měřených na stejném stroji se stejným sortimentem, pouze s jinými upínači. Spodní modrá křivka znázorňuje prokování při použití nepoškozeného upínače. Horní fialová křivka má značně strmější průběh. V tomto případě byl stroj používán s prasklým upínačem. Ten nedokázal absorbovat energii a způsoboval značně rychlejší prokování frémy.

Zbytková životnost upínače je určena funkcí obsahující parametry jako velikost kovací síly, počet cyklů, momentální hodnota prokování a další. Průběžné sledování rozvoje prokování frémy a namáhání upínače umožňuje řízené opravy vedoucí ke zvyšování životnosti upínače i frémy. Tak mohou být eliminovány neplánované odstávky a tím sníženy provozní a výrobní náklady kovárny.

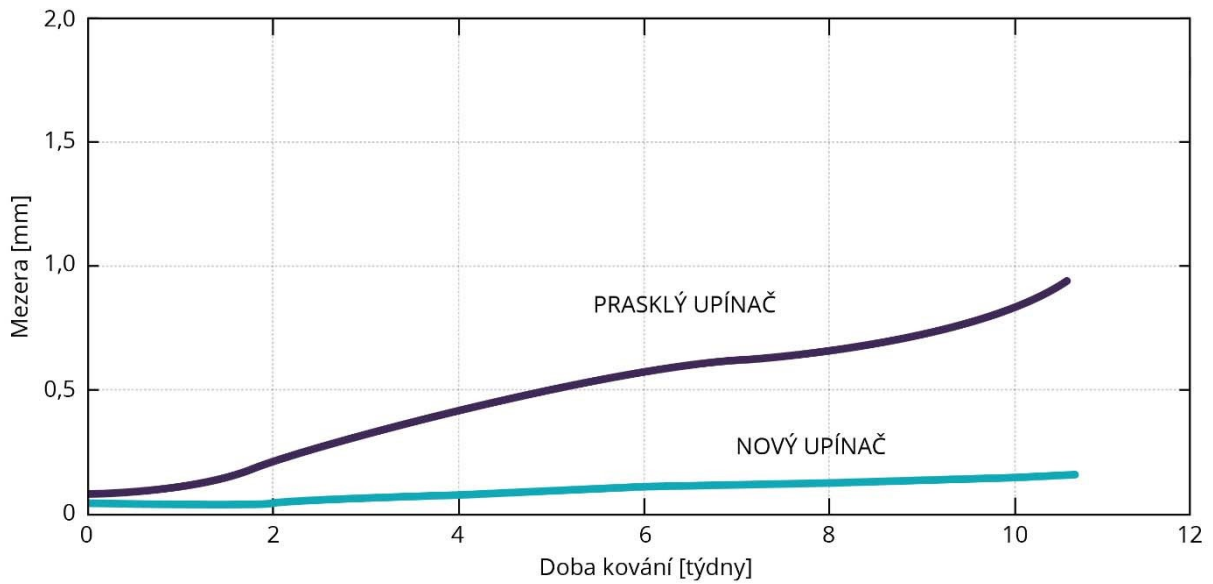
## 2. SEŘIZOVÁNÍ STROJE

Současné řešení problematiky sledování upínače nářadí prokázalo technický a ekonomický přínos, a proto s plánovanou modernizací kovací linky dojde k doplnění monitorovacího systému o senzory v beranu, na ložiscích a na frémě, které umožní rozšířit možnosti monitorování stroje. Vedle monitorování kondice ložisek bude sledována kinematika beranu s cílem omezení nežádoucích pohybů zhoršující stabilitu procesu a tím kvality výroby. Hlavní sledované parametry budou vůle vedení, tuhost uložení upínače a klopné momenty beranu. Do beranu budou zabudovány senzory zrychlení, měřící jeho pohyb během kování. Senzory budou snímat pohyb beranu v axiálním a radiálním směru a umožní tak určení klopných momentů.

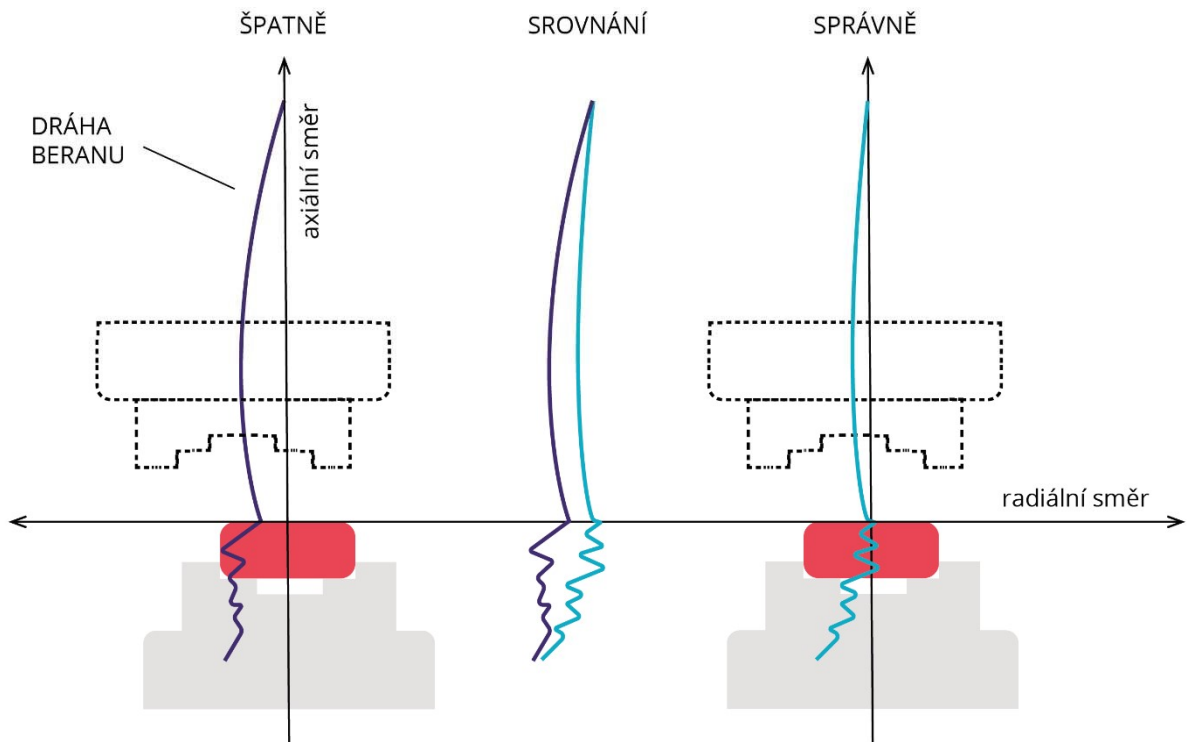
### 2.1 Vůle ve vedení

Vůle ve vedení je mezera mezi beranem a rámem stroje (vodících lišt). Vůle vedení se skládá z konstrukční mezery, která umožňuje pohyb beranu například při různém zahřátí lisu a nekonstrukční mezery, která vzniká nesprávným nastavením a opotřebením vedení. U nových strojů se zvětšuje vůle postupným opotřebením vedení a má negativní vliv na jakost výkovků. Větší vůle ve vedení totiž způsobuje nesouosost zápustek a dochází tak k přesazení jednotlivých zápustek vůči sobě, což má negativní vliv na geometrii výkovku, jak je znázorněno na obr. 5. S větší vůlí stoupá i radiální zatěžování zápustek a upínačů nářadí.

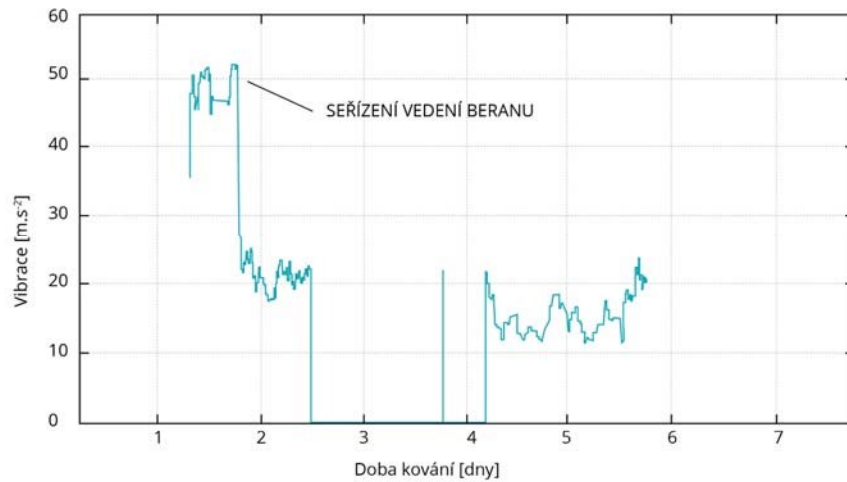
Na tento typ zátěže však nejsou tyto části konstruované, což vede ke snižování jejich životnosti. Radiální síly způsobené větší vůlí jsou měřitelné už při stávající konfiguraci diagnostického systému, a to pomocí impulsní odezvy upínače od samotného kování. Měření impulsní odezvy znázorněné na obr. 6 průkazně ukazuje možnosti kontroly vůle. Obrázek znázorňuje impulsní odezvu od samotného kování při vůli 1,5 mm a po seřízení 0,5 mm. Aktuálně je toto měření využíváno k průběžné kontrole vůle vedení na kovacím lisu.



Obr. 4 Vliv kondice upínače na rychlost prokování frémy.



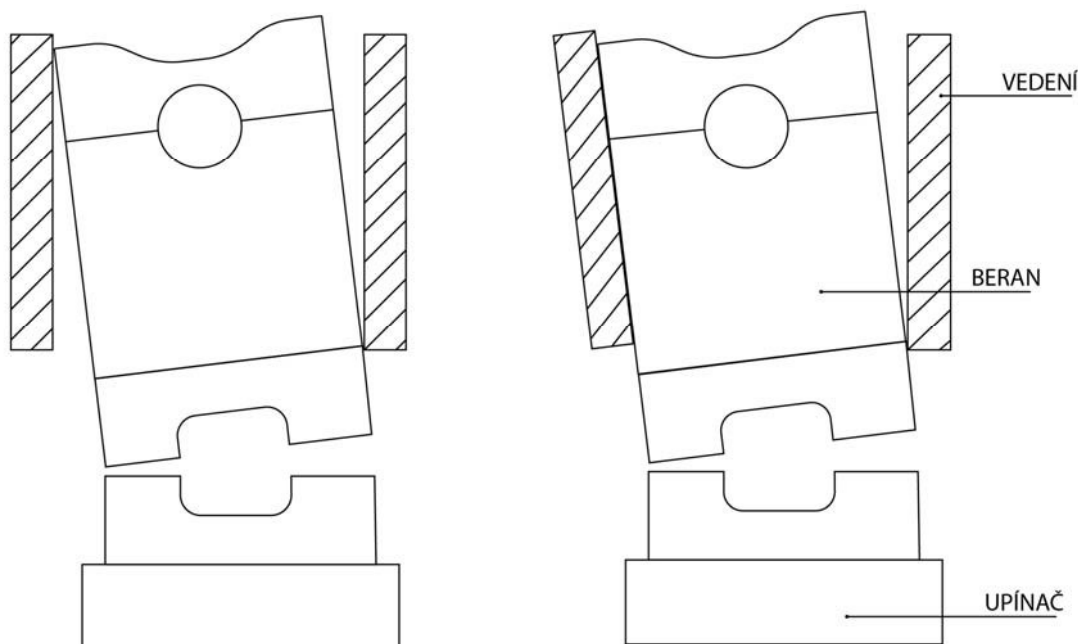
Obr. 5 Schéma znázorňuje správný chod beranu (vpravo) a špatný chod způsobený vůlemi ve vedení (vlevo).



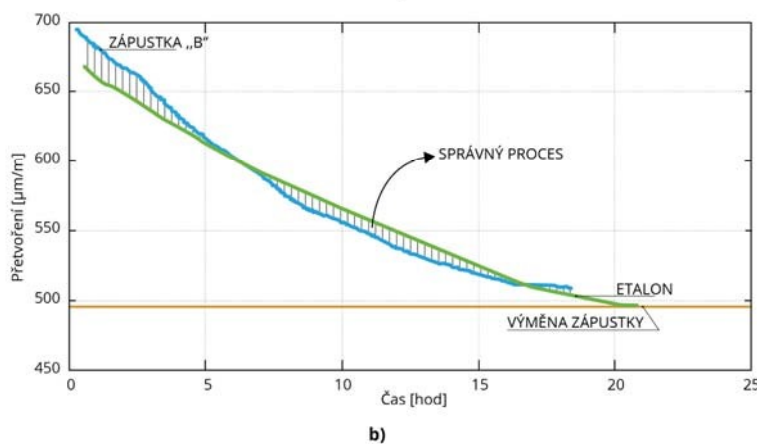
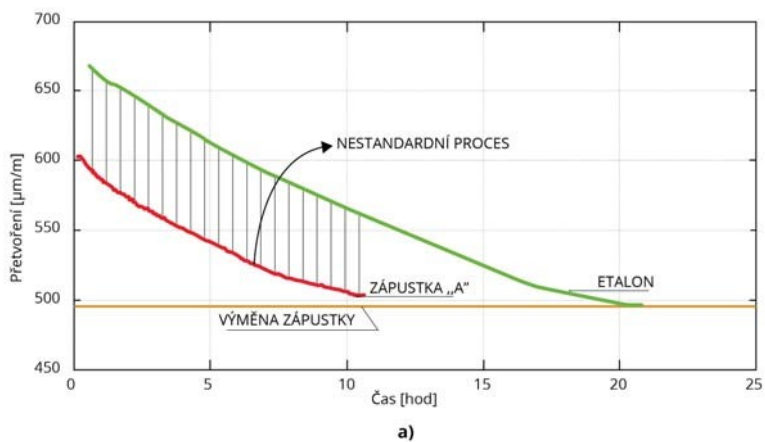
Obr. 6 Sledování vůle vedení beranu pomocí měření impulsní odezvy před a po seřízení vůlí.

Na stroji jsou v současné době spuštěny i analýzy vyhodnocující tuhost uložení upínače. Tyto analýzy také využívají impulsní odezvy. Pokud dojde například k povolení šroubu, dojde ke změně modálních vlastností soustavy a tím i ke specifické změně impulsní odezvy. 2.2 Klopné momenty Větší vůle ve vedení beranu způsobuje, vedle vyosení zápustek, i nerovnoběžnost rovin horní a spodní zápustky. To má, stejně jako vyosení, negativní vliv na geometrii výkovku. Nerovnoběžnost rovin zápustek může být způsobena větší vůlí celého uložení beranu v rámu, jak je vidět na

obr. 7 vlevo, nebo například větší vůlí pouze v horní části beranu, jak je vidět na obr. 7 vpravo. Oba stavy mohou být způsobeny nesprávným seřízením či opotřebením vedení. To vedle negativního vlivu na geometrii výkovku způsobuje i nesymetrické namáhání celého mechanismu stroje. Měření naklonění beranu umožní sledovat změnu naklonění beranu v rámci procesu kování, kontrolovat vůli vedení nejenom ve spodní části zápustky, ale také v horní části, a sledovat silové namáhání beranu od výkovku.



**Obr. 7** Schematické znázornění zvětšené vůle celého uložení beranu (vlevo) a zvětšené vůle pouze v horní části uložení (vpravo).



**Obr. 8** Porovnání průběhu opotřebení zápustek během a) nestandardního procesu a b) správně nastaveného procesu nepřímým sledováním přetvoření upínače nářadí.

