



ZÁPADOČESKÁ
UNIVERZITA
V PLZNI

FAKULTA STROJNÍ - KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ

DISERTAČNÍ PRÁCE

Výzkum vlastností kovacích lisů v závislosti na použitých
technologických procesech a možnosti zvyšování jejich
efektivnosti

Autor:
Školitel:

Ing. Martin Zahálka
doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.

PLZEŇ, PROSINEC 2015

Prohlášení

Předkládám k posouzení disertační práci, jejíž téma je Výzkum vlastností kovacíh lisů v závislosti na použitých technologických procesech a možnosti zvyšování jejich efektivnosti.

Tato práce je koncipována dle požadavků Studijního a zkušebního řádu ZČU Plzeň, tj. obsahuje zejména vlastní výsledky výzkumu v rámci tvorby disertační práce, včetně původních a uveřejněných výsledků.

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

V Plzni dne:.....

.....

podpis

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat všem, kteří mě podporovali a u kterých jsem našel cenné rady a informace přínosné pro zpracování této práce. Největší dík patří především mému školiteli doc. Ing. Jiřímu Staňkovi, CSc.

Upozornění

Podle zákona o právu autorském č. 35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR), § 17, zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. je využití a společenské uplatnění výsledků práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků, nebo jakékoliv nakládání s nimi možné pouze na základě autorské smlouvy za souhlasu autora, autorů citovaných prací a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

ANOTACE

Tvářecí stroje slouží k tváření materiálu, tedy ke změně jeho tvaru bez odebrání materiálu.

Nosným tématem práce je zjistit možnosti tvářecích strojů ve vztahu k prováděným technologickým operacím s ohledem na namáhání konstrukce stroje a zároveň s ohledem na využitelnost stroje v konkrétním výrobním procesu.

Výstupem z práce jsou znalosti vlivu technologické operace na zatížení konstrukce stroje s vytipováním nejnejpříznivějších stavů. Získané znalosti poté mohou být zúročeny při navrhování konstrukcí nových strojů tak, aby byly tyto stavy co možná nejvíce eliminovány. Dále mohou být znalosti použity k definování dovolených zátěžných stavů u provozovaných strojů tak, aby nedocházelo k jejich přetěžování a následnému poškození nesprávným používáním.

Druhým výstupem je měla být analýza nejčastěji používaných strojů ve výrobě s ohledem na možnosti zefektivňování výroby na těchto strojích.

V průběhu zkoumání jednotlivých strojů jsou využívány poznatky získané z projektů, které jsou řešeny ve spolupráci s předními výrobci tvářecích strojů. Vzhledem k zaměření výrobců strojů a také rozmanitosti tvářecích technologií je disertační práce zaměřena především na hydraulické a mechanické lisovací domácích producentů.

Pro získání věrohodných vstupních dat do analýz strojů a procesů je vycházeno z prováděných technologických operací. Pro správné zmapování těchto technologií je využit program DEFORM 3D.

ANOTATION

Forming machines are used for material molding, i.e. to change its shape without removing of the material.

The main topic of this work is to determine the possibility of forming machines in relation to the technological operations carried out with respect to the machine loading and also with respect to the usability of the machine at manufacturing process.

The outputs of the work are knowledge of the influence of technological operations loading with finding the most unfavorable conditions. Obtained knowledge can be used in the design of new machines so that these states can be eliminated, if possible. Further knowledge can be used to define permitted conditions for currently operating machine to prevent them from overloading and damage by wrong use.

The second output is the analysis of the most commonly using of the forming machines in production lines with regard to the possibility of improving the efficiency of production on these machines.

During the examination of individual machines are used the knowledge gained from projects that are dealt with collaboration with leading manufacturers of forming machines. Due to the orientation of the machine manufacturers and the diversity of forming technologies this work is based on hydraulic and mechanical presses of domestic producers.

To obtain the reliable input data to the machine analysis and process is started from the performed technological operations. For the correct mapping of these technologies is used the program DEFORM 3D.

1 Obsah

1	Obsah.....	2
2	Úvod	5
3	Cíle disertační práce	6
4	Vztah mezi tvářecím strojem a tvářecí technologií	7
5	Přehled základních konvenčních tvářecích operací.....	9
5.1	Základní rozdělení technologií – volné a zápusťkové kování.....	9
5.1.1	volné kování	9
5.1.2	zápusťkové kování	9
5.2	Vybrané technologické operace	10
5.2.1	Pěchování	10
5.2.2	Prodlužování.....	11
5.2.3	Osazování	11
5.2.4	Probíjení otvorů (děrování)	12
5.2.5	Kování věnců a dutých těles.....	12
5.2.6	Prosazování.....	13
5.2.7	Stříhání	14
5.2.8	Kování zalomených hřídelí v přípravku	14
5.2.9	Kování v úhlových kovádlech.....	15
5.3	Shrnutí uvažovaných technologií	15
6	Přehled základních konvenčních tvářecích strojů.....	16
6.1	Dělení tvářecích strojů a jejich charakteristické parametry.....	16
6.1.1	Charakteristické parametry lisů – hydraulické i mechanické	16
6.1.2	Dělení strojů podle zahraniční literatury	16
6.2	Hydraulické lisy	17
6.2.1	a síla.....	18
6.3	Mechanické lisy.....	18
6.3.1	Rychlost a síla.....	19
6.3.2	Modifikace klikového mechanismu.....	21
6.3.3	Možnosti přetížení klikového mechanismu	23
6.4	Vřetenové lisy.....	24
7	Porovnání strojů a technologií z hlediska vzájemné vhodnosti	26
8	Analýza nejrozšířenějších procesů (používaných strojů a technologií) v kovárnách	28
8.1	Kusová výroba.....	28
8.2	Sériová výroba.....	28
9	Podrobná analýza vlivu technologických operací na namáhání hydraulického kovacího lisu	30
9.1.1	Porovnání technologií.....	30
9.1.2	Stanovení okrajových podmínek výpočtů	30
9.2	Konkrétní případ vlivu technologie na stroj „prodlužování“	30

9.2.1	Ovlivnění výpočtu namáhání konstrukce lisu vlivem okrajových podmínek.....	32
9.2.2	Porovnání výsledků	39
9.2.3	Analýza technologické operace prodlužování	40
9.2.4	Zatížení při různé excentricitě	48
9.3	Stříhání	52
9.3.1	Výpočet síly s využitím programu Deform 3D	52
9.3.2	Odečtení dat z programu Deform 3D a stanovení působíště výsledné síly	53
9.3.3	Zatížení konstrukce lisu při stříhání	54
9.4	Porovnání technologických operací	55
9.5	Shrnutí zjištění v kapitole hydraulické lisu	56
10	Analýza chování klikového kovacího lisu ve vztahu k okrajovým podmínkám výpočtu	57
10.1	Volba simulovaného případu.....	57
10.2	Simulace tváření ojnice	58
10.3	Standardní analytický výpočet	60
10.4	Analytický výpočet s proměnnou silou	63
10.5	Virtuální simulace lisu.....	65
10.5.1	Zatížení modelu - implementace tvářecí charakteristiky	65
10.5.2	Uchycení stojanu	67
10.5.3	Vazby mezi tělesy.....	67
10.5.4	Definice pohybu	68
10.6	Výsledky analýzy	69
10.6.1	Síla na beranu	69
10.6.2	Moment na excentrovém hřídeli.....	69
10.7	Shrnutí zjištění v kapitole analýza chování klikového kovacího lisu ve vztahu k okrajovým podmínkám výpočtu.....	70
11	Studie možností zvyšování produktivity kování s využitím rotačního tváření.....	72
11.1	Technologický postup kování se zařazením předkovacích operací.....	73
11.1.1	Technologie bez předkování.....	73
11.1.2	Použití sériově řazených lisů	73
11.1.3	Technologie s předkováním na kovacích válcích.....	74
11.1.4	Technologie s překováním pomocí příčného klínového válcování	76
11.2	Porovnání obou variant pomocí virtuální simulace.....	78
11.2.1	Volba tvaru předkovku	78
11.2.2	Parametry simulace tváření	79
11.2.3	Simulace PKV	79
11.2.4	Simulace KV	81
11.2.5	Výstupy ze simulací	82
11.3	Shrnutí kapitoly možností zvyšování produktivity kování s využitím rotačního tváření	82
12	Přínosy práce	83
13	Závěr.....	85

14	Použité zdroje	87
----	----------------------	----

2 Úvod

Tvářecí stroje slouží k tváření materiálu, tedy ke změně jeho tvaru.

Většina tvářecích strojů je konstruována pro konkrétní technologii tváření, z čehož vyplývá jejich poměrně velká specializace. Přesto je v praxi možné stejné operace provádět na několika různých strojích. Každý stroj má však svoje specifika a dá se říci, že některý je vhodnější pro tu kterou technologii a jiný méně vhodný. V případě, že je stroj využit pro jinou technologii, než pro kterou byl zkonstruován, dochází často k velkému poklesu jeho efektivity výroby.

Právě z důvodu prozkoumání uvedené problematiky bylo vybráno téma této práce: Výzkum vlastností kovacích lisů v závislosti na použitých technologických procesech a možnosti zvyšování jejich efektivity.

Vývoj v oblasti tvářecích technologií je do značné míry ovlivněn technologickými požadavky na výrobu stále větších, jakostnějších (bez potřeby následného obrábění), složitějších komponent a tváření nových materiálů. Naproti tomu jsou kladeny stále větší nároky na snížení výrobních nákladů. Tyto požadavky mohou být naplněny, kromě kontinuální modernizace, jakou je vývoj nových technologických postupů a strojů, také efektivnějším využíváním stávajících zařízení.

Vývoj ve všech oblastech tváření má za cíle:

- zvýšit produktivitu
- zlepšit kvalitu výrobků
- snížit výrobní náklady a náklady na údržbu (minimalizací ztrát, snížením počtu potřebných operací nebo vyšší životností nástrojů)
- zvýšit flexibilitu výroby o možnosti vyrábět větší, složitější a přesnější díly

Tvářecí stroje a zařízení významně ovlivňují všechny tyto výše uvedené faktory. Proto je potřeba věnovat výběru strojů a zařízení patřičnou pozornost.

Výběr tvářecího stroje a vybavení vyžaduje důkladné porozumění funkci zařízení, provozním vlastnostem stroje při provádění uvažované technologické operace. Dále nesmí být opomenuta energetická náročnost jednotlivých strojů. Současná znalost tvářecích strojů a technologií by měla zejména přispívat k účinnějšímu a hospodárnějšímu využití strojů a zařízení a pak také k přesnějšímu vymezení možností stávajících výrobních kapacit.

Určitou nevýhodou je z pohledu optimálního využití tvářecích strojů jejich vysoká životnost, která se pohybuje v desítkách let. Pro běžného uživatele je obtížné zajistit vhodné využití stroje po celou dobu jeho životnosti, jelikož v době pořízení není uživatel schopen určit sortiment výroby podniku za deset či dvacet let. Určitou výjimkou jsou v tomto směru stroje dodávané do automobilového průmyslu.

3 Cíle disertační práce

Nosným tématem disertační práce je zjistit možnosti tvářecích strojů ve vztahu k prováděným technologickým operacím s ohledem na namáhání konstrukce stroje a zároveň s ohledem na využitelnost stroje v konkrétním výrobním procesu.

Výstupem z práce by měly být znalosti vlivu technologické operace na zatížení konstrukce stroje s vytipováním nejnepříznivějších stavů. Získané znalosti poté mohou být zúročeny při navrhování konstrukcí nových strojů tak, aby byly tyto stavy co možná nejvíce eliminovány. Dále budou znalosti použity k definování dovolených zátěžných stavů u provozovaných strojů tak, aby nedocházelo k jejich přetěžování a následnému poškození nesprávným používáním.

Druhým výstupem by měla být analýza nejčastěji používaných strojů ve výrobě s ohledem na možnosti zefektivňování výroby na těchto strojích.

V průběhu zkoumání jednotlivých strojů budou využívány poznatky získané z projektů, které jsou řešeny ve spolupráci s předními výrobci tvářecích strojů. Vzhledem k zaměření výrobců strojů a také rozmanitosti tvářecích technologií bude disertační práce zaměřena především na hydraulické a mechanické lisy domácích producentů.

Pro získání věrohodných vstupních dat do analýz strojů a procesů bude vycházeno z prováděných technologických operací. Pro správné zmapování těchto technologií bude využit program DEFORM 3D.

Posloupnost práce:

- Provést shrnutí základních technologických operací a strojů.
- Vytvořit provázání technologických operací s jednotlivými stroji.
- Pro hydraulický i klikový lis definovat nejvhodnější účel použití a analyzovat jeho výhody a nevýhody.
- Pro nejpoužívanější představitele tvářecích strojů (hydraulický lis, klikový lis) vytvořit popis okrajových podmínek pro jednoduché a správné stanovování namáhání konstrukce.
- Stanovit slabá místa konstrukce strojů, pokud možno ve vztahu k prováděné technologické operaci, již na základě zpřesněných okrajových podmínek.
- Analyzovat možnosti dalšího rozvoje a použití strojů, případně jejich příslušenství, za účelem zvyšování jejich efektivity s ohledem na nové (nekonvenční) trendy v technologii tváření.

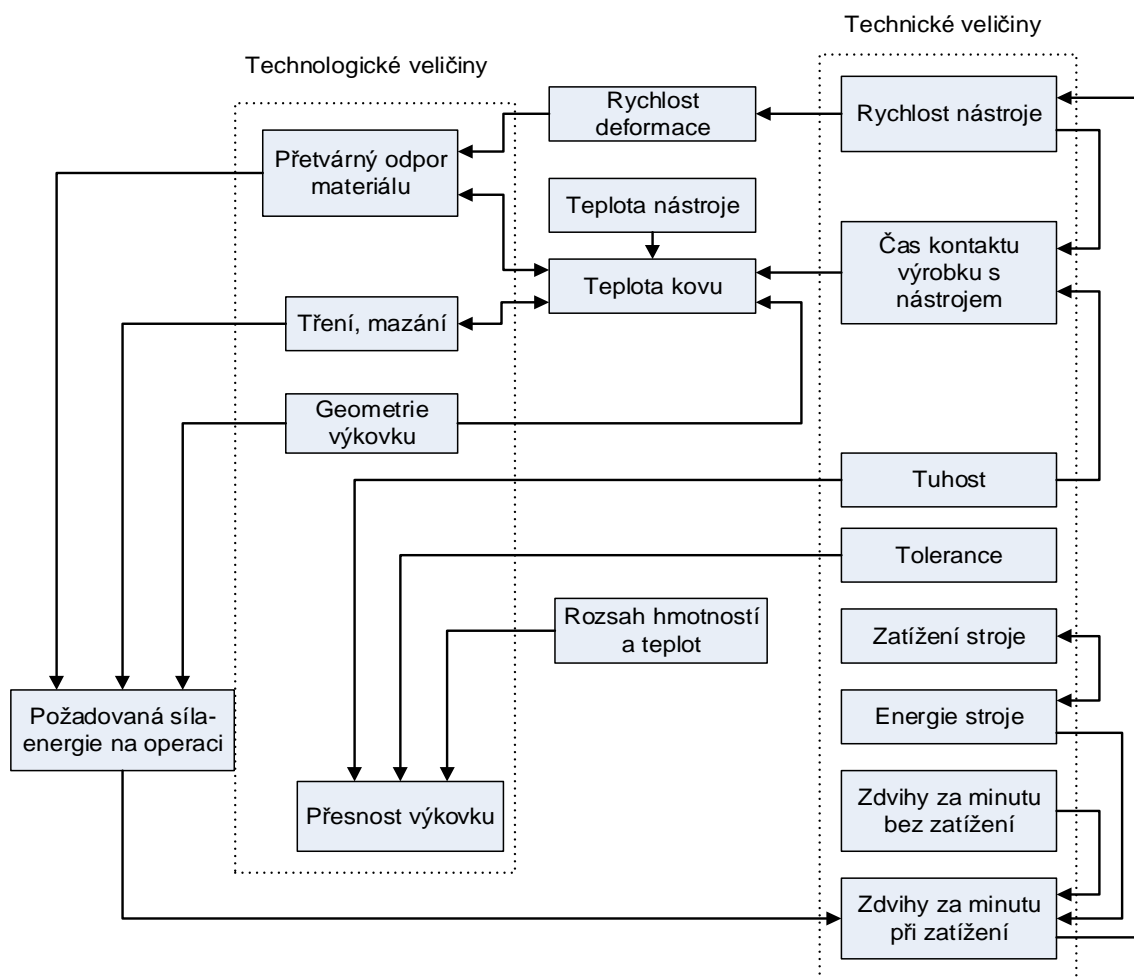
4 Vztah mezi tvářecím strojem a tvářecí technologií

Optimální vztah mezi strojem a technologií je takový, že z technologie vzešlé požadavky jsou promítnuty do stavby stroje. Takovými technologickými požadavky, které jsou podstatné pro stavbu stroje, jsou např.:

- Maximální síla
- Velikost zdvihu stroje
- Potřebná energie pracovního zdvihu
- Rychlost a průběh rychlosti výstupního členu tvářecího stroje
- Tvarová a rozměrová přesnost výrobku (včetně opakovatelnosti)
- Produktivita stroje
- Velikost pracovního prostoru (maximální velikost výrobku)
- Teplotní odolnost stroje

Ve výrobní praxi ovšem nastává opačný problém, a to řešení, který z dostupných strojů je optimální pro aktuální požadovanou technologii. Vztah mezi tvářecím strojem a tvářecí technologií je tedy obousměrný.

Následující obrázek 1 ukazuje příklad interakce mezi vlastnostmi tvářecího stroje a technologickými požadavky, vyplývající z příslušné technologie.



Obrázek 1 Příklad vztahů mezi technologií a strojem (zde pro tváření za tepla) [3]

Na obrázku vlevo je uvedeno, že přetvárný odpor (třecí podmínky, geometrie, rozměry a tvar výrobku) určují požadované zatížení při každé operaci stroje a tedy i energii nutnou na přetváření materiálu.

Velikosti jednotlivých proměnných vychází z vlastnosti tvářeného materiálu. Například přetvárný odpor materiálu roste se zvyšující se rychlostí deformace (poměrná rychlost tváření) a klesá s rostoucí teplotou materiálu. Nepříznivý vliv tření vzrůstá s rostoucím chlazením nástroje (zápustek), jak je naznačeno spojem k objektu "Teplota kovu".

Vedení tepla a tím i změny teplot ve výkovku jsou do značné míry ovlivněny:

- časem kontaktu materiálu s nástrojem
- teplotou nástroje

Další teplo může vznikat i v důsledku plastické deformace materiálu a třením mezi tvářeným materiálem a nástrojem. Avšak v porovnání s předchozími uvedenými vlivy jsou zanedbatelné.

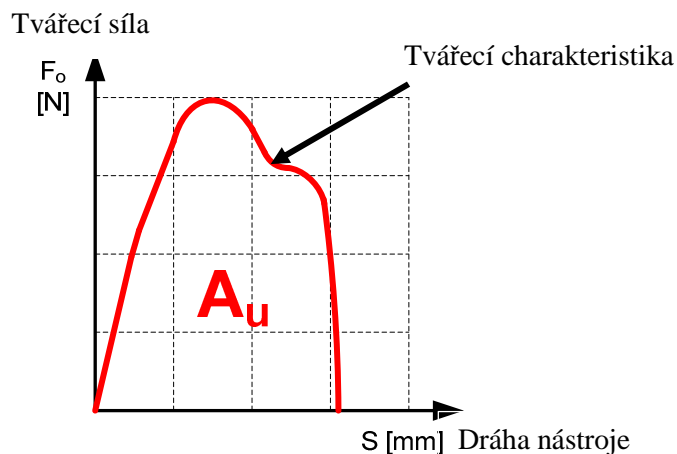
Rychlost nástroje určuje především rychlost deformace (poměrnou rychlost tváření) a dobu kontaktu materiálu s nástrojem. Počet zdvihů za minutu ovlivňuje množství energie spotřebované strojem (příkon), ta vychází z potřebné užitečné práce (energie potřebná pro jednu operaci) a ztrát.

Kombinace všech výše uvedených faktorů ovlivňuje zatížení stroje i kvalitu samotného výkovku. Proto je vhodné těmto veličinám věnovat patřičnou pozornost a některé neopomíjet.

Celková energetická bilance jednoho pracovního cyklu stroje bez uvažování rozběhu a doběhu lze uvést následovně:

$$A_c = A_u + A_z + A_d$$

Kde: A_c - celková vykonaná práce
 A_u - užitečná práce
 A_z - ztrátová práce
 A_d - deformační práce



Z výše uvedeného schématu je zřejmé, že všechny proměnné procesu tváření se mezi sebou vzájemně různě ovlivňují. V následující kapitole jsou podrobněji popsány vybrané tvářecí operace spolu s tvářecími charakteristikami, které velmi ovlivňují proces tváření na jednotlivých strojích a rozhodují o použitelnosti jednotlivých strojů pro danou operaci. Rozbor tvářecích strojů, spolu s přiřazením vhodných tvářecích technologií, je proveden v dalších kapitolách.

5 Přehled základních konvenčních tvářecích operací

V této kapitole je proveden rozbor vybraných tvářecích operací. Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, použitá technologie zásadně ovlivňuje výběr vhodného tvářecího stroje a naopak. Vybrané tvářecí operace jsou doplněny virtuálními simulacemi tváření provedenými v softwaru DEFORM, ve kterém byla odměřena konkrétní tvářecí charakteristika. Získané průběhy charakteristik byly porovnány s údaji uváděnými v literatuře.

5.1 Základní rozdělení technologií – volné a zápustkové kování

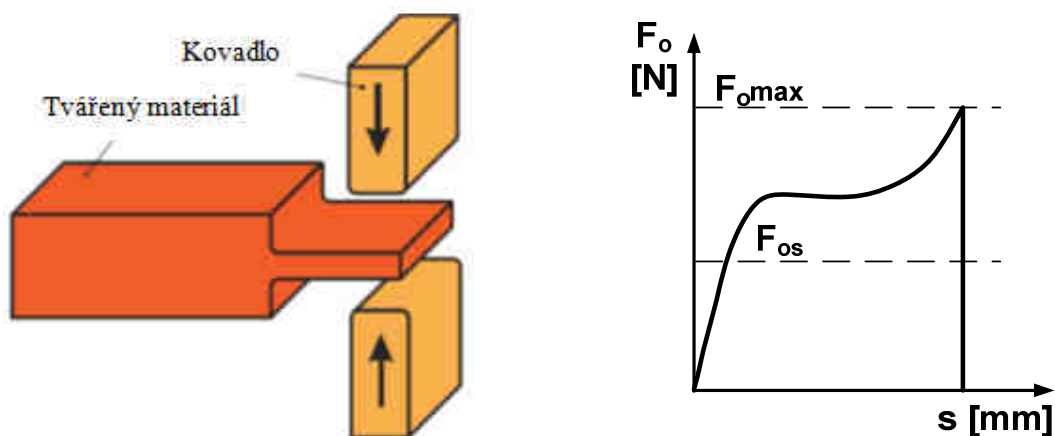
Technologie kování je v základu rozdělena podle používaných nástrojů na volné a zápustkové. Rozdíl je zřejmý z následujících obrázků 2 a 3.

5.1.1 volné kování

Při volném kování se provádí zejména kování tyčí, podélných výkovků, kotoučů a kruhových desek, kroužků a hřídelí. Výsadou volného kování je výroba dutých těles na trnu (dutých válců, prstenců, kroužků, přírub, nádob apod.), pěchování, kování rozměrných výkovků (zalomené hřídele apod.). Do volného kování zahrnujeme pěchování, prodlužování, prosazování, osazování, ohýbání, dělení materiálu, atd.

Volné kování se používá pro výrobu rozměrných výkovků nebo pro kusovou výrobu, kde by byla výroba zápustek neekonomická.

Jako příklad volného kování je uvedeno prodlužování mezi rovnými kovádky. Připojena je i tvářecí charakteristika.

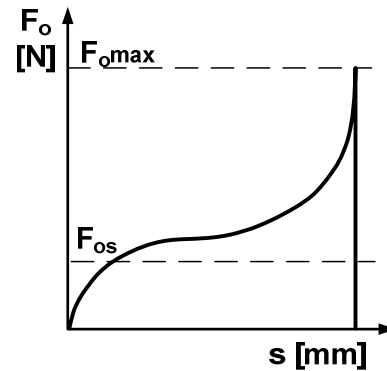
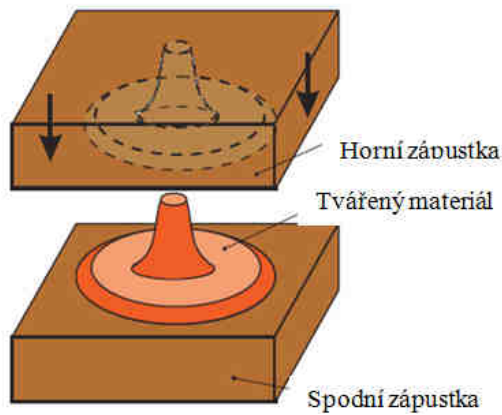


Obrázek 2 Schéma a obecná tvářecí charakteristika prodlužování

5.1.2 zápustkové kování

Zápustkové kování je prováděno v otevřených nebo uzavřených zápustkách (nástroj s negativním tvarem výkovku). Oproti volnému kování se vyznačuje větší přesností výkovků.

Do zápustkového kování zahrnujeme například: pěchování, ražení, atd.



Obrázek 3 Schéma a obecná tvářecí charakteristika zápustkového kování

5.2 Vybrané technologické operace

Každá konkrétní operace je zařaditelná do základního dělení volného nebo zápustkového kování. Z velkého množství různorodých technologických operací u volného kování jsou vybrány a popsány základní typy, které jsou v další práci využité.

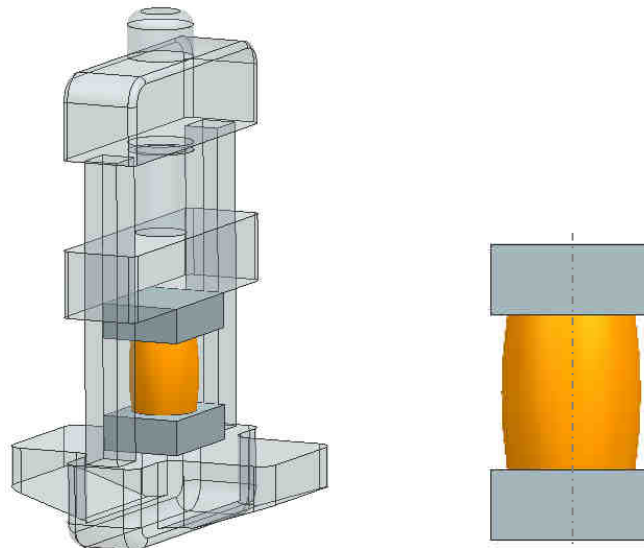
Všechny operace jsou znázorněny spolu s lisem, na kterém mohou být a také jsou nejčastěji prováděny.

5.2.1 Pěchování

Pěchování je stlačování kovů ve směru hlavní (svislé) osy lisu. Při pěchování se zvětšuje průřez kolmý k hlavní ose a tím se zvětšuje odpor materiálu a tedy i síla nutná k pěchování. Tato operace je důležitá především z důvodu zlepšení prokovaní. Ingot se nejdříve vyrovná na osmihranný profil. Na straně hlavy se vyková manipulační stopka. Tato stopka slouží k zachycení ingotu kleštěmi manipulátoru nebo objímkou vahadla. Po vyrovnání se usadí ingot stopkou do podložky a na vrchní čelní plochu dosedne pěchovací deska.

Při pěchování dochází k centrickému zatěžování stroje, a proto je při něm využívána maximální síla lisu. Při této operaci musí být brán zřetel na centrické umístění kovaného kusu. Pokud dojde k jeho vychýlení, lis je excentricky zatížen. Směr a velikost excentrické síly pak závisí na vyosení kovaného kusu.

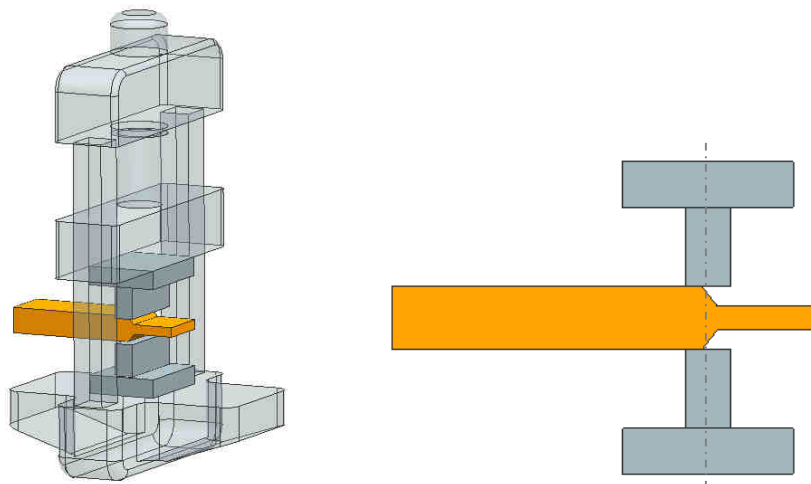
Excentrické zatížení lisu při pěchování mohou vyvolat také technologické chyby. Například nerovnoměrné prohnutí kovaného ingotu může způsobit posun zatěžující síly při kování mimo osu lisu a zatěžovat konstrukci lisu nežádoucím způsobem.



Obrázek 4 Pěchování na hydraulickém lise

5.2.2 Prodlužování

Prodlužování bývá také nazýváno vytahování nebo kování do délky. Je to nejběžnější kovářská operace, používaná při volném kování na lisech. Hlavními nástroji jsou rovná nebo tvarová kovadla (Prodlužování tvarovými kovadly je podrobněji popsáno dále- kování v úhlových kovadlech).

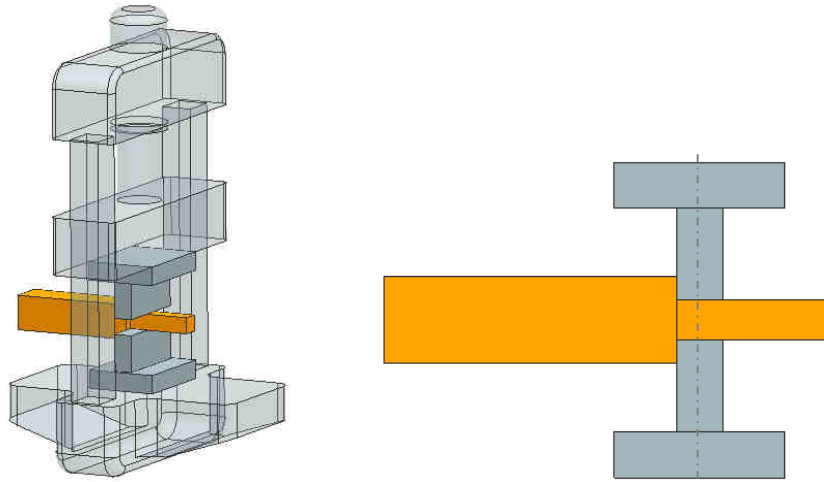


Obrázek 5 Prodlužování na hydraulickém lise

Při prodlužování dochází ke specifickému excentrickému namáhání stroje, vyvolanému přesazením kovadel přes hranu již částečně zmačknutého kusu. Hodnota excentrického zatížení závisí na přesazení nástroje.

5.2.3 Osazování

Osazování je operace, které se používá, pokud je nutno kovat různé osazované kusy. Nejprve se materiál příložkami (tzv. sekáči) zasekne a tím se vymezení část, která se pod lisem vytahuje do délky.

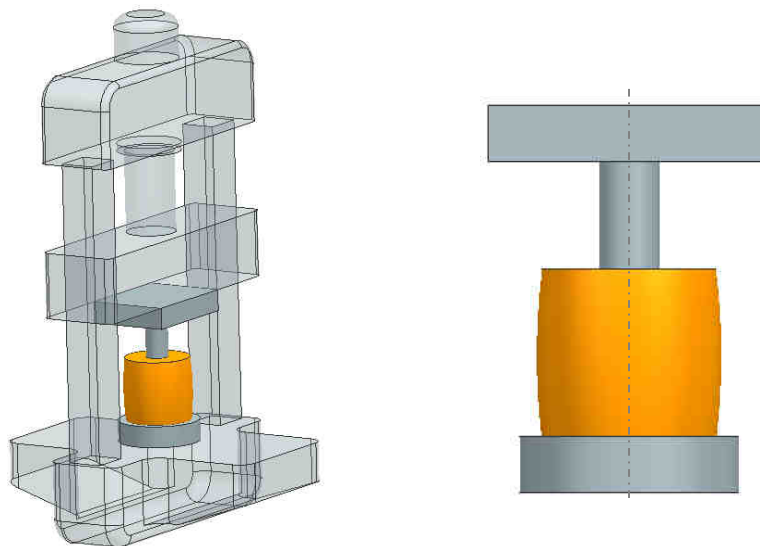


Obrázek 6 Osazování na hydraulickém lise

Při osazování je lis namáhán převážně centrickým namáháním.

5.2.4 Probíjení otvorů (děrování)

Probíjení otvorů do průměru 400mm se realizuje plnými průbojníky, otvory o větším průměru se děrují dutými průbojníky.



Obrázek 7 Probíjení otvorů na hydraulickém lise

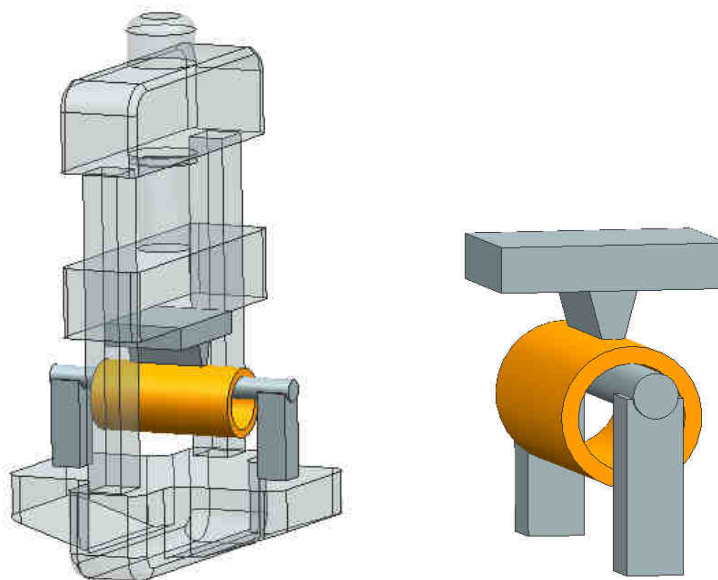
Z hlediska zatěžování se jedná podobně jako u pýchování o centrické namáhání konstrukce stroje. Excentricitu při této operaci mohou způsobit převážně technologické chyby jako nerovnoměrné prohřátí, nebo materiálové vady vzniklé při odlévání ingotu. Excentricita se zvětšuje s délkou průboje.

5.2.5 Kování věnců a dutých těles

Věnce a bezešvá dutá tělesa se kovají na trnu. Na trnu lze kovat dvěma způsoby a to rozháněním materiálu ve směru obvodu válcového tělesa a rozháněním materiálu ve směru osy válcového tělesa. Výkovky se kovají z prokovaného ingotu, který se nejdříve napěčuje

na kotouč a ten se poté děruje. Mají-li průměry a výška věnce odpovídat požadovaným rozměrům, musí být hmotnost materiálu poměrně přesně vypočtena.

Při kování věnců a dutých těles je lis zatěžován v oblasti horní a pohyblivé traverzy obdobně jako při pýchování, případně se přenáší do těchto částí menší excentrické zatížení. Nejvýraznější rozdíl v zatížení lisu je zde v oblasti spodní traverzy, která je zatížena přes podpory trnu, na němž visí kovaný kus, a síly tak na ni působí v krajních oblastech. Díky tomu je namáhána značným ohybem.

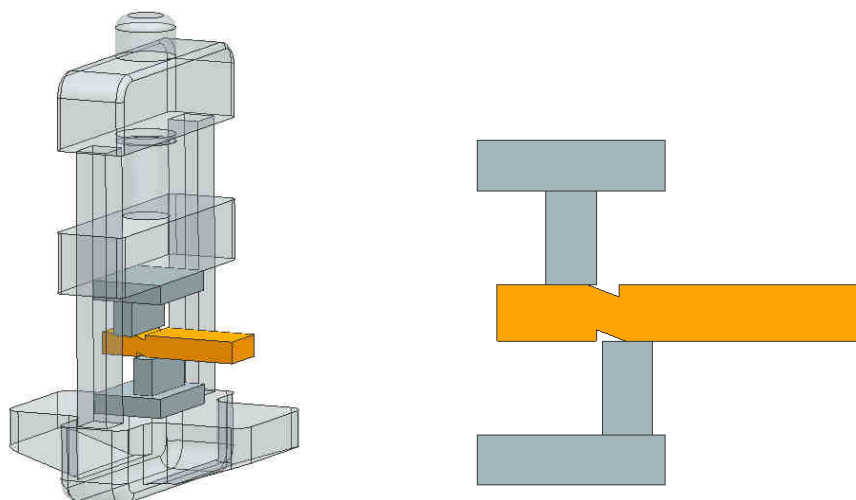


Obrázek 8 Kování věnců a dutých těles na hydraulickém lise

5.2.6 Prosazování

Jedná se o operaci, která je na kovacíh lisech často používána. Její podstatou je sesmyknutí dvou u sebe blízkých průřezů, přičemž osa přesmyknuté části zůstane rovnoběžná s původní osou. Při této operaci se využívá posuvného pracovního stolu lisu, na němž je uchyceno spodní kovadlo.

Při prosazování vzniká excentrické zatížení obdobně jako u prodlužování, které ohýbá lis. Velikost excentricity závisí na hodnotě přesazení kovadel.

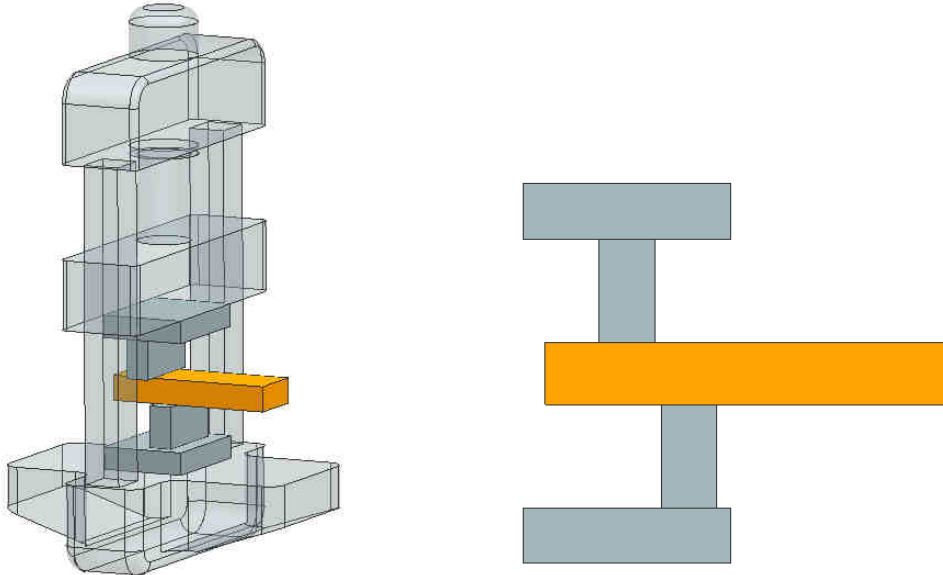


Obrázek 9 Prosazování na hydraulickém lise

5.2.7 Stříhání

Schéma operace je vidět na následujícím obrázku. Při stříhání jsou kovádla lisu přesazena přes sebe jeden konec stříhaného materiálu držen v manipulátoru a druhý je stříháný.

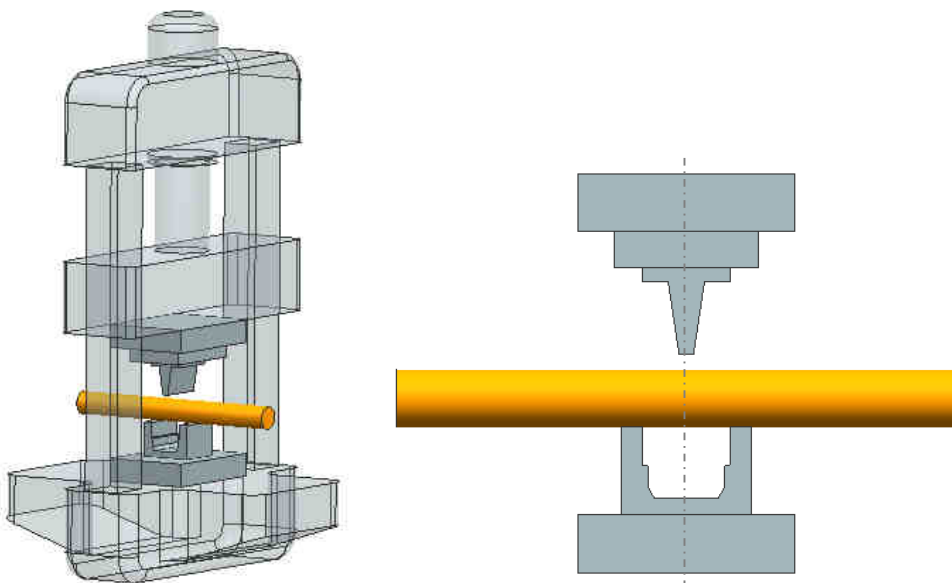
Při stříhání je namáhání lisu obdobné jako u prodlužování nebo prosazování.



Obrázek 10 Stříhání na hydraulickém lise

5.2.8 Kování zalomených hřídelí v přípravku

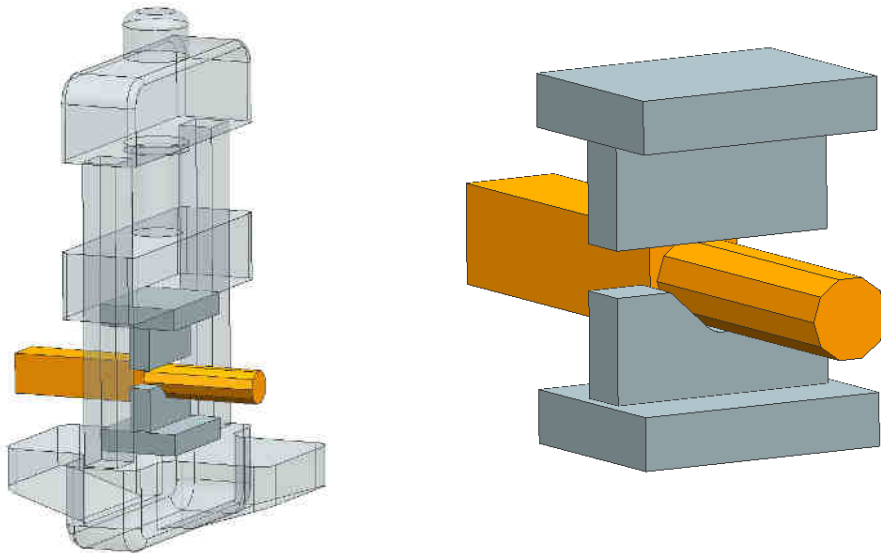
Při kování zalomených hřídelí v přípravku dochází k relativně příznivému namáhání stroje, který je namáhán centricky. Případná excentricita zatížení závisí na přesném ustavení nástrojů.



Obrázek 11 Kování zalomených hřídelí na hydraulickém lise

5.2.9 Kování v úhlových kovádlech

Kování v úhlových kovádlech je technologie, která namáhá stroj stejně jako technologie prodlužování. Dochází zde k excentrickému namáhání, jehož velikost je v přímé souvislosti s přesazením nástrojů vůči výkovku. Částečně zde také dochází k vzniku boční síly, které posouvá spodní kovádlo. Ta je vyvolána tvarem kusu během kování.



Obrázek 12 Kování v úhlových kovádlech na hydraulickém lisu

5.3 Shrnutí uvažovaných technologií

Přestože se jedná pouze o výběr z tvářecích technologií, je zřejmé, že se zatěžovací parametry stroje výrazně liší. Z těchto parametrů vznikají požadavky na tvářecí stroje. Proto je na místě vytvořit určitý přehled, který může být dále dle potřeby doplňován a pozměňován, a který bude použit pro správné přiřazení tvářecího stroje k technologii.

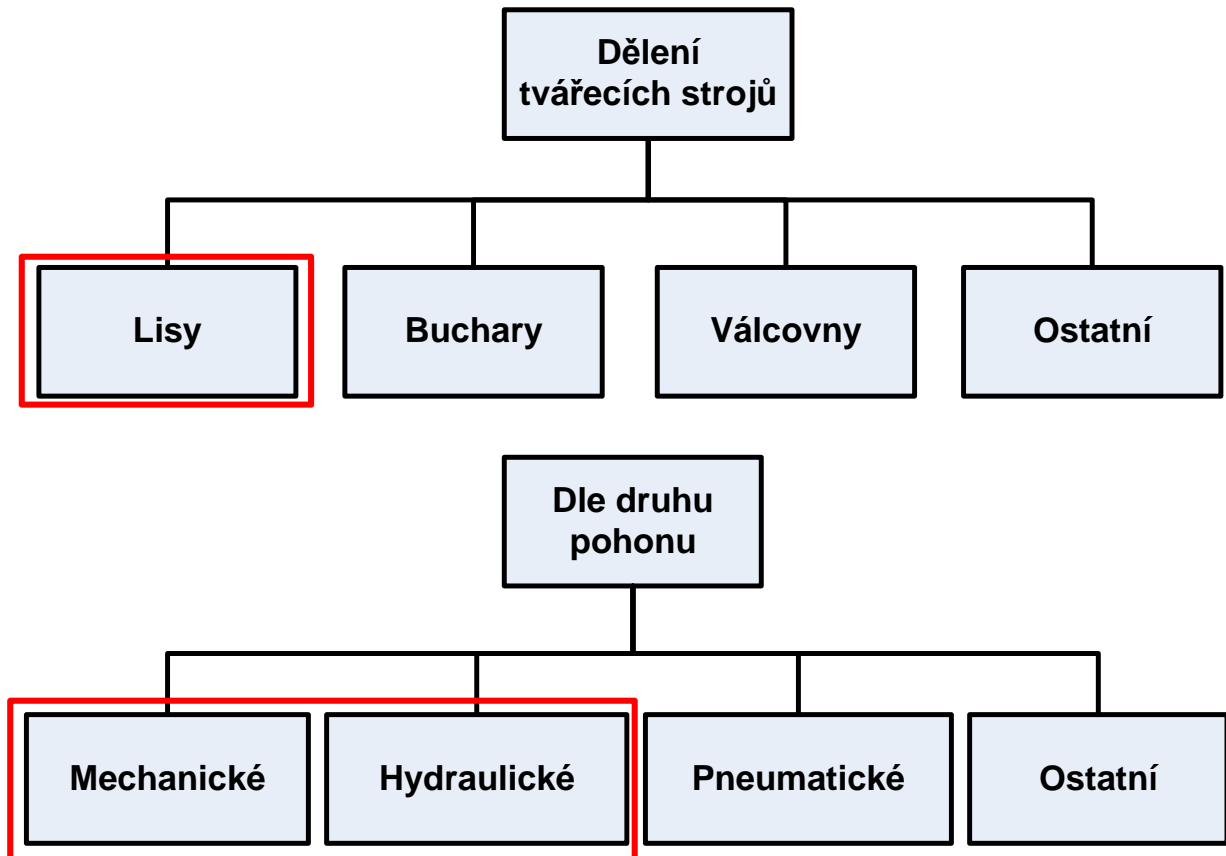
V kapitole 7 uvedené tabulce 2 je uveden popis požadovaných parametrů tvářecích technologií tak, jak by mohl být využit pro správné přiřazení optimálního tvářecího stroje, jejichž přehled je v téže kapitole také uveden. Je pravděpodobné, že se obsah tabulky bude v průběhu dalšího řešení měnit a dále upřesňovat.

6 Přehled základních konvenčních tvářecích strojů

V této kapitole je uveden přehled tvářecích strojů, kterými se ve své práci zabývám. Jedná se o stroje, které jsou pro uvažované technologie použitelné a používané.

6.1 Dělení tvářecích strojů a jejich charakteristické parametry

Na následujícím obrázku je uvedeno základní rozdělení tvářecích strojů s vyznačením těch, které budou dále podrobněji rozebírané.



Obrázek 13 Schéma dělení tvářecích strojů

6.1.1 Charakteristické parametry lisů – hydraulické i mechanické

- Technologické určení
- Jmenovitá pracovní síla
- Velikost pracovního zdvihu
- Velikost pracovního prostoru
- Počet zdvihů za minutu

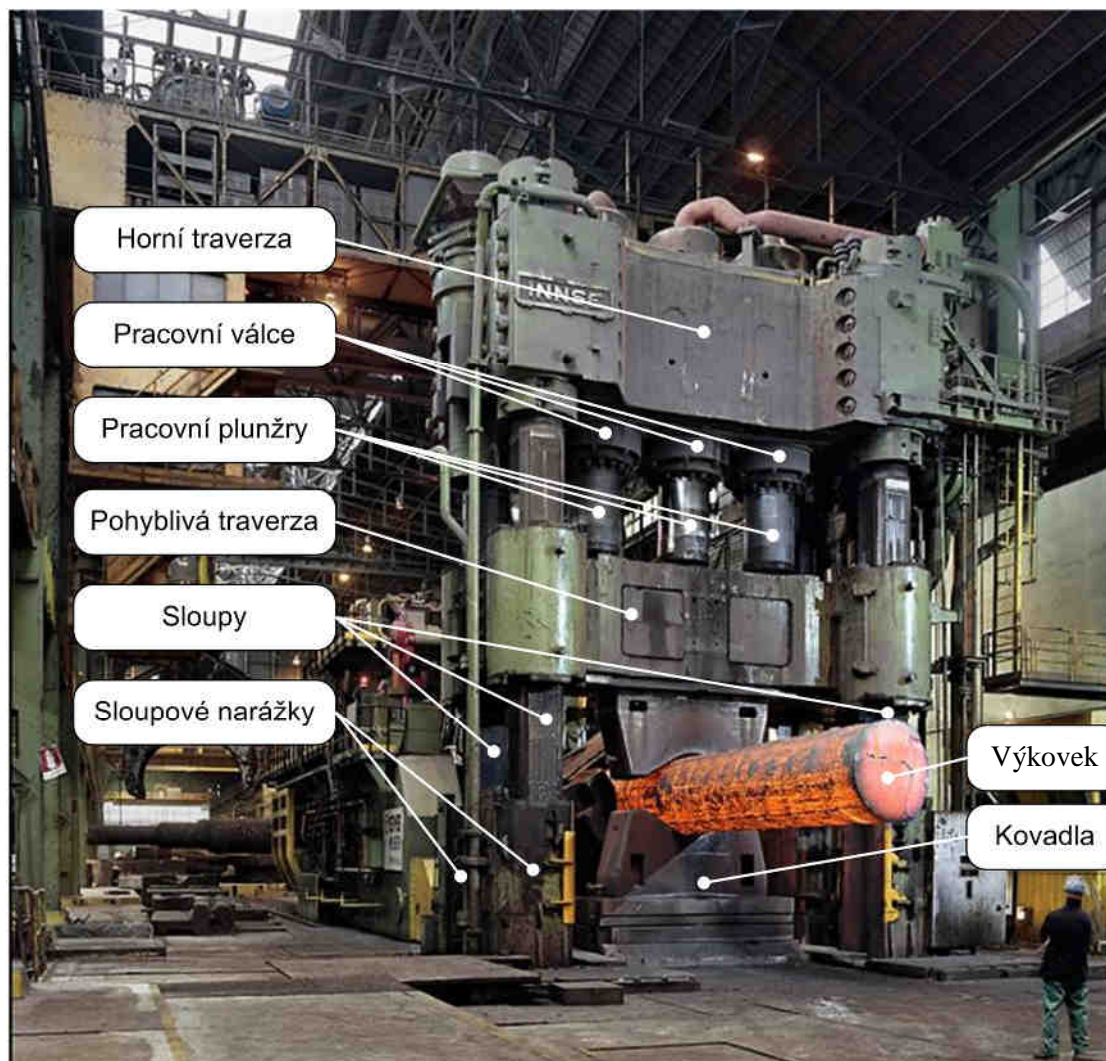
6.1.2 Dělení strojů podle zahraniční literatury

Stroje omezené silou

Stroje omezené zdvihem

Stroje omezené energií

6.2 Hydraulické lisy



Obrázek 14 Hydraulický lis s popisem základních částí [4]

Hydraulické lisy jsou velmi univerzálními stroji, na kterých se provádí celá řada technologických operací. Používají se jak pro volné, tak pro zápuskové kování. Pracovní síla hydraulického lisu je vyvozena hydraulickými válci, které jsou součástí vysokotlakého hydraulického nebo hydropneumatického systému.

K hlavním výhodám hydraulických lisů patří možnost vyvození maximální síly v celém zdvihu lisu, možnost plynulého řízení lisovací síly a rychlosti změnou tlaku ve válcích v průběhu celého zdvihu stroje – to se ovšem děje za značných energetických ztrát. Další výhodou je jednoduchý provoz hydraulického lisu.

Nevýhodou hydraulických lisů je z pravidla nižší počet zdvihů než u mechanického lisu z čehož vyplývá nižší výrobnost. Nevýhodou jsou i ztráty závislé na hydraulickém okruhu.

Pro volné kování

Hydraulické lisy pro volné kování jsou obvykle svislé lisy s horním nebo spodním pohonem. Stavějí se do velikosti 240 MN, výjimečně větší. Slouží pro volné kování velkých a hmotných součástí, hřídelů, sloupů, lodních dílů, pýchování a děrování i pro kování tlustostěnných nádob a prstenců na trnu. Tyto stroje mívají velký čelní průchod 2 až 8 m. Stroje bývají vybaveny manipulačním zařízením pro kování ingotů buď na dvou mostových jeřábech s řetězovým otáčecím zařízením, nebo pojezdným manipulátorem.

Technologie volného kování je typická pro hydraulické lisy. Vynutila si koncepci půdorysu lisu do úzkého obdélníka, a jeho dimenzování s ohledem na možnost značně excentrického zatížení. Lisy bývají řešeny jako dvou nebo čtyř-sloupové konstrukce.

Pro zápustkové kování

Tvářecí charakteristiky pro zápustkové kování se od sebe mohou značně lišit, a to podle složitosti kovaného výkovku. Jedno však mají společné, že pro přesné kování musí lisy mít dostatečnou tuhost a dobré vedení v porovnání s lisy pro volné kování.

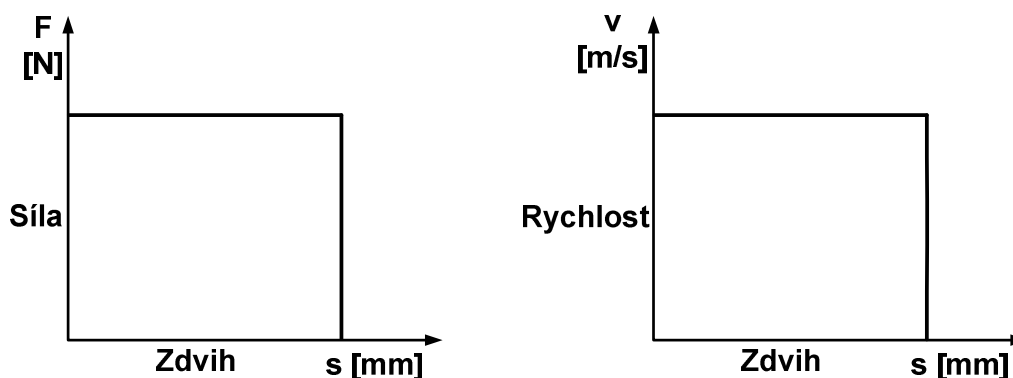
Bývají řešeny jako lisy čtyř-sloupové konstrukce se sloupy rozmístěnými do čtverce, aby ve všech směrech byla dostatečně vysoká tuhost. Lisy pro zápustkové kování se obvykle vyrábí i v těch největších tonážích (až 500 MN).

Vytlačovací

U lisů pro vytlačování se jedná se většinou o horizontální (mohou být i vertikální) dvou, tří a čtyř-sloupové konstrukce, které jsou opatřeny výměnným kontejnerem na výchozí materiál obvykle kruhového průřezu, z něhož se vytlačují přes nástroj trubky nebo profily nejrůznějších tvarů a to otevřené i uzavřené. Mohou být jak z oceli, tak i z neželezných kovů. Konstrukční řešení je rozdílné podle toho, jde-li o vytlačování oceli nebo neželezných či lehkých kovů. Hydraulické vytlačovací lisy mají rozsah velikostí průměru kontejneru od 100 do 360 mm a délku kontejneru od 560 do 1000 mm. Vytlačovací rychlost u menších lisů bývá až $150 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$.

6.2.1 a síla

Velikou výhodou hydraulických lisů je možnost dosažení maximální síly i rychlosti v celém zdvihu stroje. Závislosti jsou znázorněny na následujících obrázcích. Rychlosti se pohybují maximálně do 0.15 m/s .



Obrázek 15 Závislost síly a rychlosti na zdvihu hydraul. lisu

Z uvedených charakteristik je zřejmé, že jsou hydraulické lisy nepostradatelné v technologiích, při kterých je nutné vyvinout rovnoměrnou (konstantní sílu) nebo je nutné řídit velikost a rychlost kování v průběhu pracovního zdvihu. Dále pak v případech, kdy je nutné mít zdvih značně dlouhý např. u vytlačování.

6.3 Mechanické lisy

Mechanické lisy všech konstrukčních provedení fungují na principu převodu rotačního pohybu na posuvný. Vyjma vřetenového lisu je převod uskutečněn za pomoci klikového mechanismu. Podle provedení klikového mechanismu můžeme mechanické lisy rozdělit na klikové a excentrové, případně kloubové.

Mechanické lisy jsou používány zejména pro zápustkové kování, pak pro ostatní operace jako pěchování, kalibrování, ostříhování, stříhání, děrování, vysekávání, ražení, ohýbání, rovnání, protlačování a tažení.

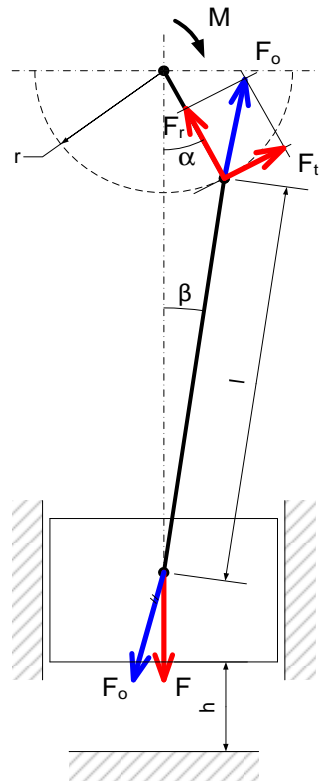
Výhodou mechanických lisů je, že mohou zpravidla pracovat v rychlejším taktu (více zdvihů za minutu) takže dosahují vyšší výrobnosti. Hlavní nevýhodou je obtížné řízení rychlosti a síly beranu lisu. V případě klikových lisů je i pevně dána pracovní část zdvihu, do které se musí operace vejít.

Dále jsou kladeny vyšší nároky na seřízení lisu v provozu, proto jsou používány především v hromadné výrobě, kde je výhodou přesnost opakovaných zdvihů. Každá technologická operace má svůj charakteristický průběh tvářecí síly. Špatné nastavení lisu, případně jeho nevhodné použití může vést k přetížení lisu a jeho zaklínování, které může mít za následek až poškození lisu.

6.3.1 Rychlost a síla

Z principu klikového mechanismu je zřejmé, že síla i rychlost beranu lisu závisí na úhlu natočení kliky klikového mechanismu. V úvratích lis dosahuje největší síly a současně nejmenší rychlosti.

Výpočet rychlostí vychází z předpokladu konstantní rychlosti otáčení klikové hřídele a výpočet sil vychází z předpokladu konstantního momentu přivedeného na klikovou hřídel.

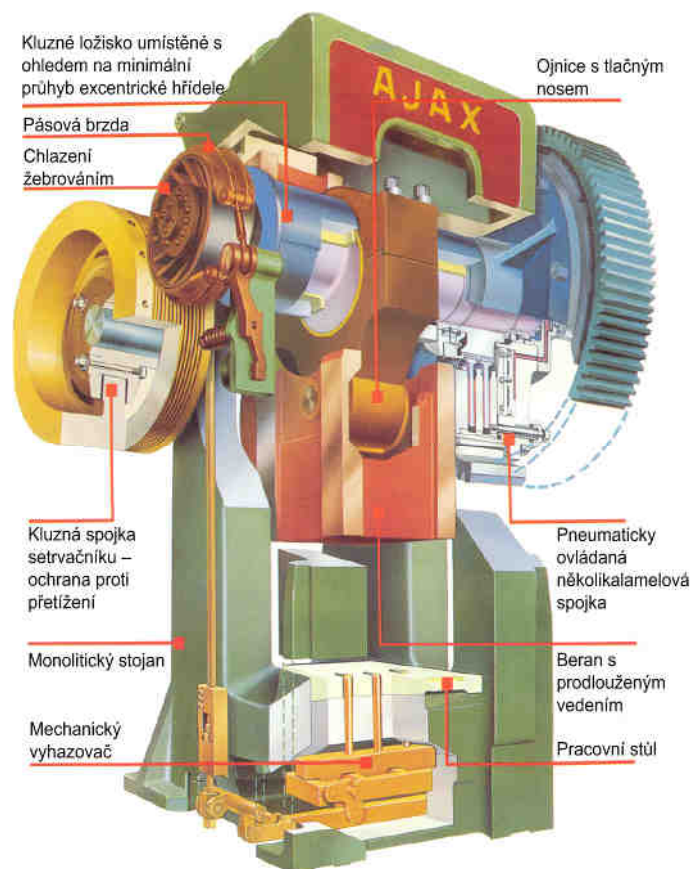


M - hnací moment
F - výstupní síla na beranu
 F_o - tvářecí síla
 α - úhel natočení kliky
 β - úhel natočení ojnice
r - poloměr kliky
l - délka ojnice
h - pozice beranu

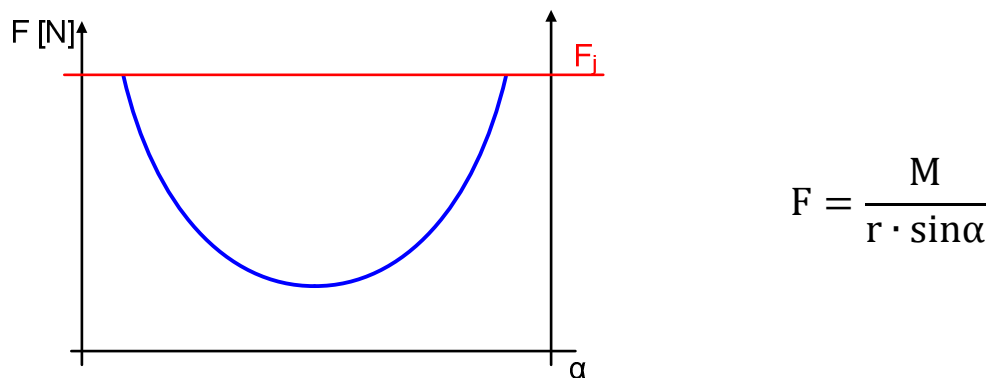
Síla na beranu při uvažování $\beta \approx 0$

$$F = \frac{M}{r \cdot \sin \alpha}$$

Obrázek 16 Kinematické schéma klikového mechanismu bez uvažování pasivních odporů

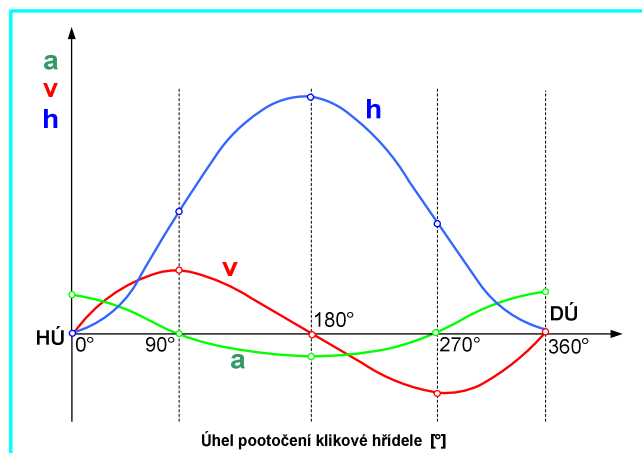


Obrázek 17 Řez klikovým lisem [11]



Obrázek 18 Závislost síly beranu na úhlu natočení kliky při uvažování nekonečně dlouhé ojnice

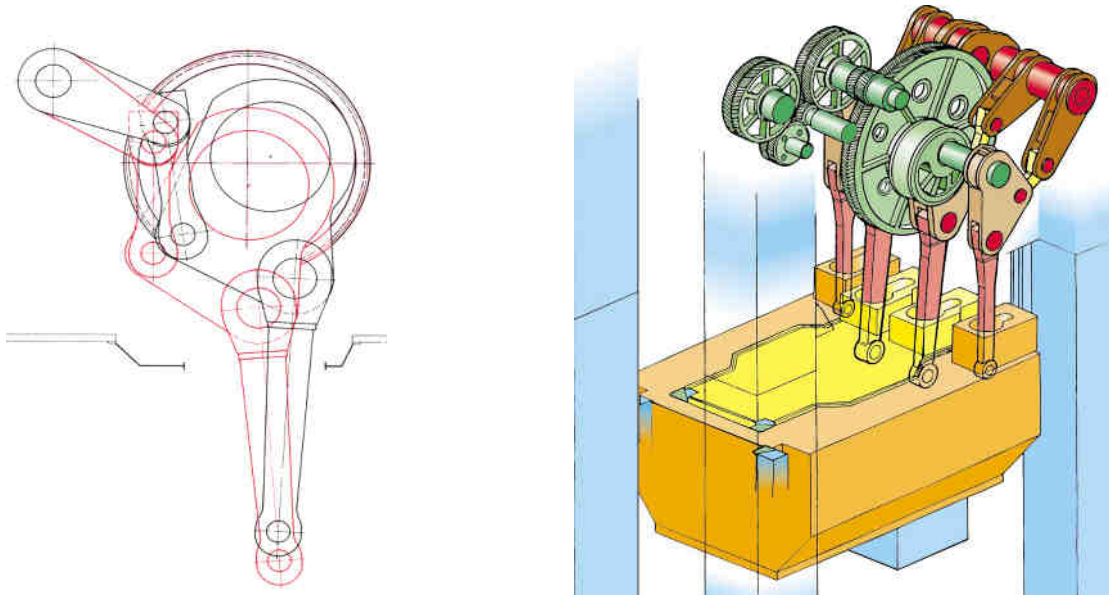
Závislost znázorňuje, jakou sílu lze vyvodit při určitém natočení klikového mechanismu. Jmenovitou sílu lisu lze dosáhnout pouze v blízkosti spodní (nebo horní) úvrati. Průběh síly je v grafu omezen jmenovitou hodnotou F_j , jelikož by síla teoreticky v úvrati rostla až do nekonečna. Tato síla F_j by neměla být v provozu překračována a lis by měl mít pojistku proti přetížení.



Obrázek 19 Závislost zdvihu, rychlosti a zrychlení beranu na natočení kliky

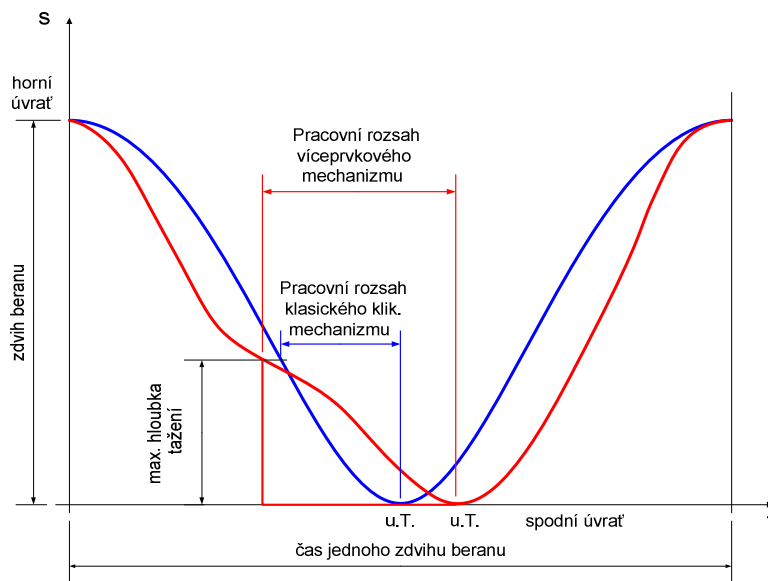
6.3.2 Modifikace klikového mechanismu

Výstupní parametry lisu lze částečně upravit podle potřeb prováděné technologické operace nahrazením jednoduchého klikového mechanismu složitějším víceprvkovým převodem. Na následujícím obrázku je řešení používané firmou Schuler. I při použití modifikovaného mechanismu je řízení rychlosti a síly mechanických lisů v porovnání s hydraulickými lisami značně omezené.

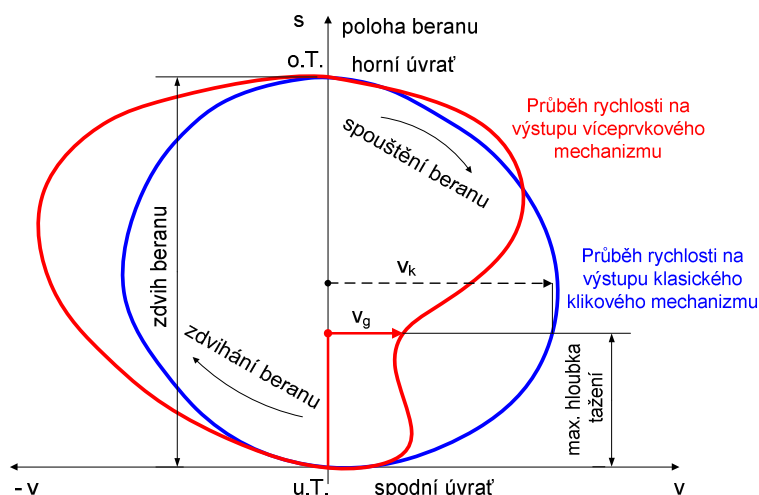


Obrázek 20 Schéma modifikovaného klikového mechanismu [11]

Na následujících obrázcích jsou znázorněny průběhy zdvihu, rychlosti a síly v závislosti na úhlu natočení kliky víceprvkového klikového mechanismu. Pro snadné porovnání a detekování možných přínosů pro provádění tvářecí operace jsou v grafech zobrazeny i parametry klasického klikového mechanismu



Obrázek 21 Průběh zdvihu modifikovaného klikového mechanismu (modře klasický klikový mechanismus; červeně modifikovaný)



Obrázek 22 Průběh rychlosti modifikovaného klikového mechanismu (modře klasický klikový mechanismus; červeně modifikovaný)

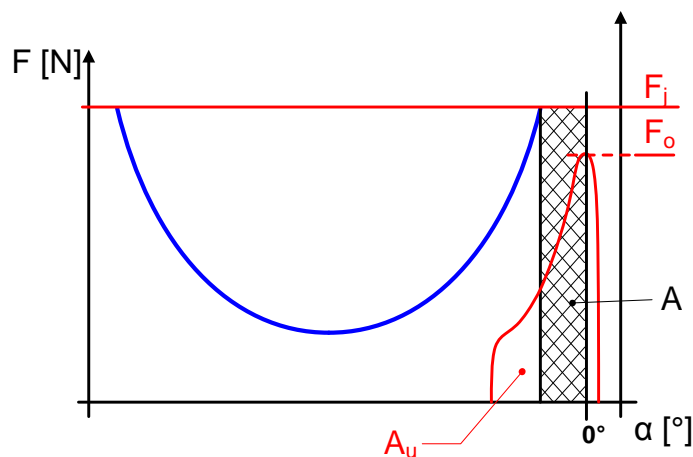
Z předcházejících obrázků je zřejmé, že vhodnou volbou víceprvkového mechanismu lze částečně upravit parametry klikového lisu, jakými jsou maximální pracovní zdvih, síla při stejném momentu na klice a rychlost beranu.

Avšak i přes modifikaci klikového mechanismu má použití klikových lisů značná omezení. Jelikož mají relativně krátký pracovní zdvih a dají se používat pouze pro určité vhodné operace.

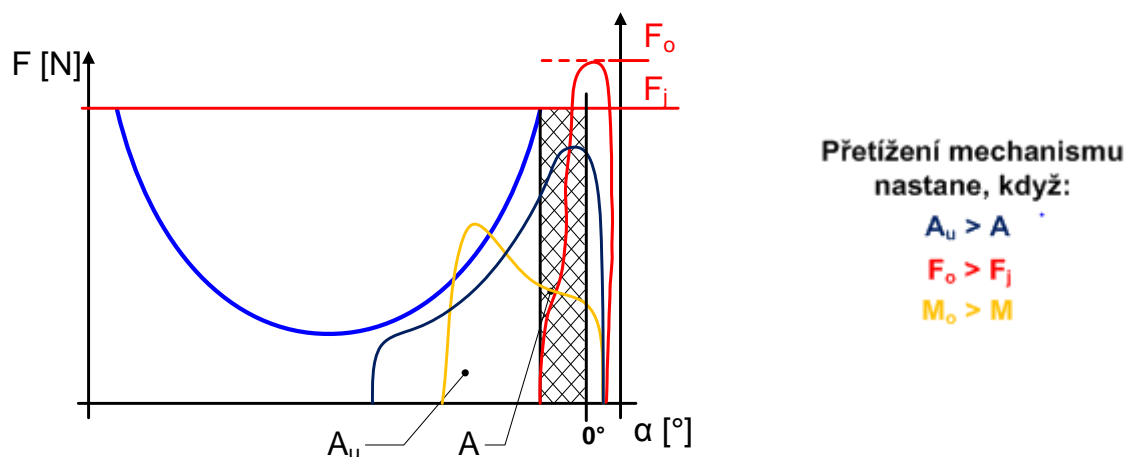
Určitým rozšířením technologické využitelnosti mechanických lisů jsou moderní přímé pohony, které umožňují v průběhu operace měnit rychlost pohybu nástroje.

6.3.3 Možnosti přetížení klikového mechanismu

Vzhledem ke skutečnosti, že je klikový lis většinou opatřen setrvačnickem, může snadno dojít k jeho přetížení. Tvářecí charakteristika musí splnit několik podmínek: nesmí dojít k překročení jmenovité síly, na kterou je lis dimenzován, nesmí překročit jmenovitý moment, a nesmí odebrat větší práci, než je schopný dodat pohon lisu pro jeden zdvih. Existují tedy tři různé možnosti přetížení, přetížení silou, momentem a prací.



Obrázek 23 Správné využití klikového lisu

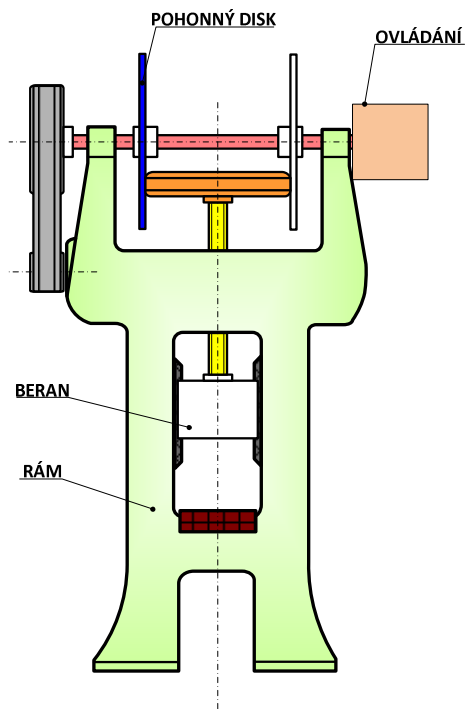


Obrázek 24 Možnosti přetížení klikového lisu

6.4 Vřetenové lisu

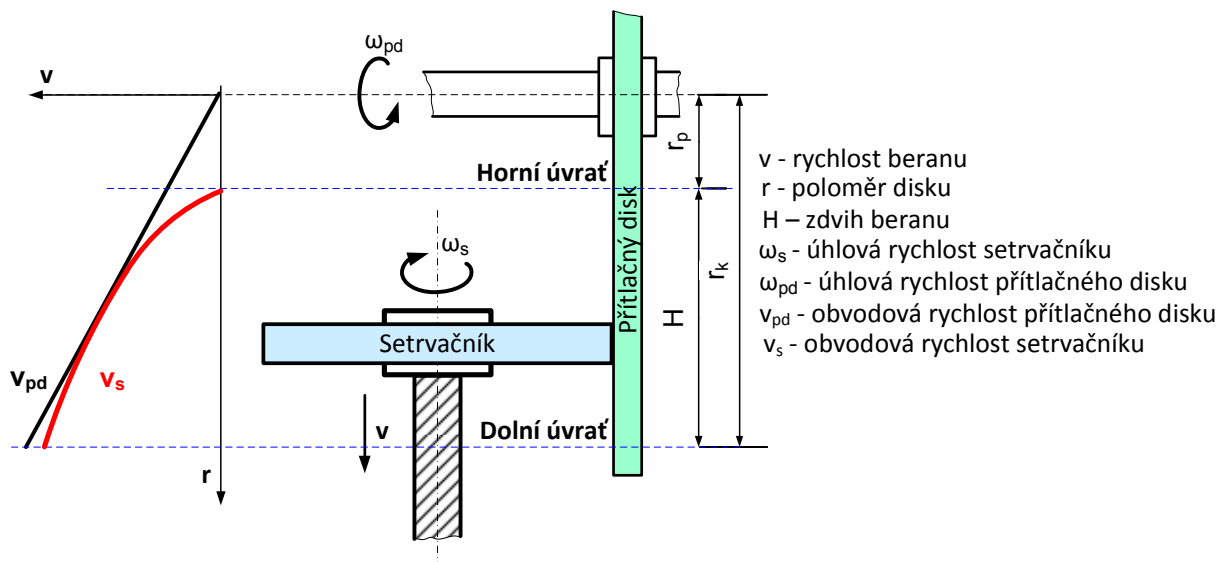
Vřetenový lis je zvláštní kategorie mechanického lisu, u kterého k vyvození síly není využito klikového mechanismu, ale šroubového mechanismu. Šroubový mechanismus převádí energii uloženou v setrvačnicku lisu do beranu. Svým principem se částečně podobá i bucharu, jelikož je k vyvození síly využívána veškerá v pohonu naakumulovaná energie.

Výhodou vřetenových lisů a pak i bucharů oproti mechanickým lisům, je možnost opakování úderu v případě, že by energie potřebná k přetváření materiálu byla větší než energie dodaná strojem.



Obrázek 25 Schéma vřetenového lisu s pohonem třecími disky

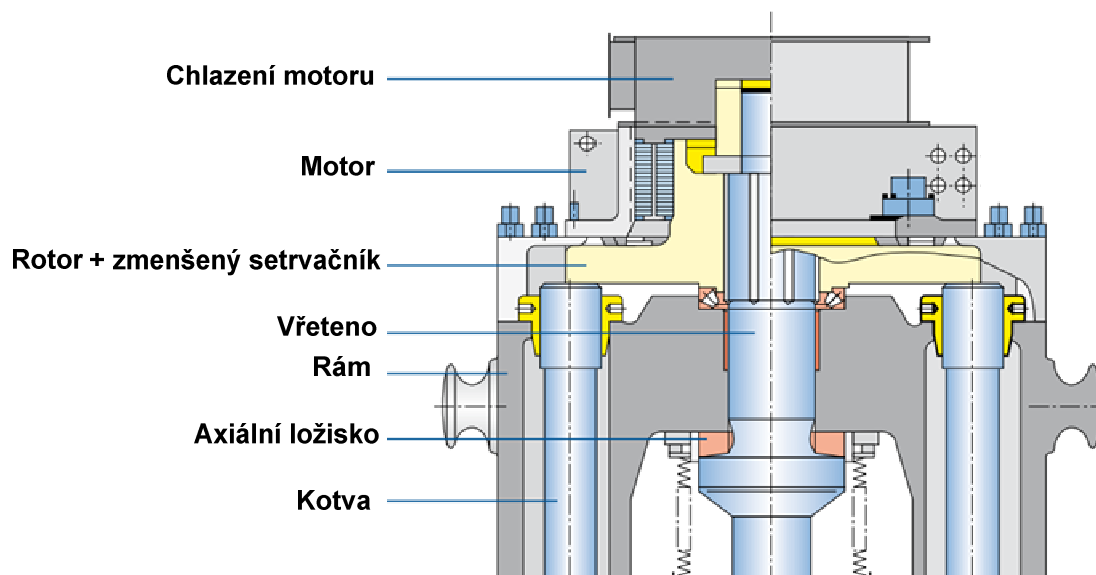
Výstupní parametry vřetenového lisu jako je rychlost a síla se dají u pohonu se setrvačnickem ovlivnit otáčkami setrvačnicku. Vyvozená síla je závislá na odporu tvářeného materiálu. Rychlost je závislá na klesajících otáčkách setrvačnicku (v závislosti na průběhu odebírané energie). Závislost otáček setrvačnicku na poloze zdvihu v průběhu rozběhu je znázorněna na následujícím obrázku Obrázek 26.



Obrázek 26 Závislost rychlosti beranu vřetenového lisu s pohonem třecími disky na poloze setrvačnicku

Jak je vidět z předchozího obrázku na počátku roztáčení setrvačnicku dochází k prokluzu mezi třecím diskem a setrvačnickem. K prokluzu může docházet taktéž při zastavování setrvačnicku v průběhu pracovního zdvihu, než dojde k úplnému odlehčení třecího disku. Významnější problém s prokluzem nastává při zvedání beranu, kdy ke kontaktu setrvačnicku s diskem dochází v místě největší obvodové rychlosti

K odstranění problematiky řízení a značných prokluzů přispívá nasazení přímého pohonu lisu. Přímý pohon vřetenového lisu je obvykle realizován speciálním elektromotorem přímo umístěným na ose vřetena. Touto úpravou je docíleno lepších možností řízení úderu a odstranění značných třecích ztrát.



Obrázek 27 Řešení přímého pohonu od firmy Schuler [1]

7 Porovnání strojů a technologií z hlediska vzájemné vhodnosti

Na základě provedení analýzy základních technologických operací, které jsou prováděny na vybraných tvářecích strojích, bylo provedeno přiřazení jednotlivých technologických operací k vhodným tvářecím strojům.

Volba barevného zvýraznění odráží náročnost dosažení technologického požadavku s ohledem na možnosti tvářecích strojů (tmavší barva vyjadřuje vyšší náročnost).

Tabulka 1- Přehled parametrů tvářecích technologií

Stroje	Parametry		
	Síla	Rychlost	Využitelný zdvih
Hydraul. lis	Konst.- maximální	Konst., cca 0,1 m/s	Celý rozsah
Klikový mech. lis	Závislá na poloze	Závislá na poloze, cca 0,5 m/s	Omezený rozsah
Vřet. mech. lis	Teoreticky nekonečná	cca 0,8 m/s	Omezený rozsah

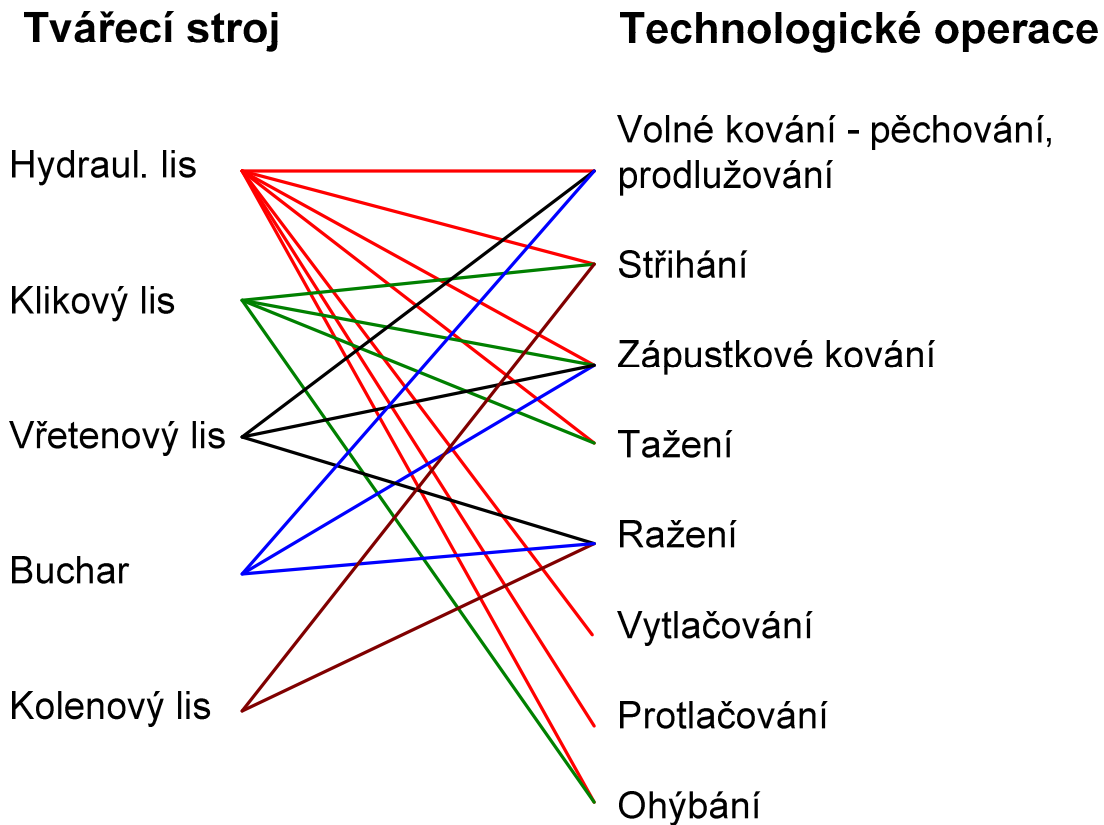
Tabulka 2 – Přehled parametrů tvářecích technologií (totožné s **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**)

Technologie	Technologický požadavek				
	Průběh síly	Zdvih	Rychlost	Max. síla	Další...
Pěchování	Pozvolný	Velký, proměnný	Střední	Velká	
Tažení	Konstantní	Střední	Malá	Střední	
Vytlačování	Konstantní	Velký	Konst./Malá	Velká	
Stříhání	Rychlý nárůst	Střední	Velká	Střední	
Ohýbání	Pozvolný nárůst	Střední	Malá	Malá	
Ražení	Rychlý nárůst	Malý	Velká	Velká	
Protlačování	Konstantní	Velký	Konst./Malá	Velká	

Porovnáním předchozích dvou tabulek podle definovaných základních kritérií je možné přiřadit ke každé tvářecí technologii vhodný tvářecí stroj.

V předcházejících tabulkách 1 a 2 je znázorněno, čeho umožňují dosáhnout jednotlivé tvářecí stroje a co požadují technologické operace. Pro snadnější orientaci je zvoleno tříbarevné rozlišení, z čehož mohou být na první pohled patrné podobné vlastnosti nebo požadavky strojů či technologií.

Na následujícím obrázku Obrázek 28 jsou vyznačeny všechny možné kombinace strojů a technologií, podle toho, zda jsou proveditelné. Není zde zohledněno ekonomické hledisko.



Obrázek 28 Možné kombinace strojů a technologií

V předchozích tabulkách 1, 2 a obrázku 28 je uveden přístup k popisu parametrů tvářecích technologií i strojů tak, jak by mohl být využit pro správné přiřazení optimálního tvářecího stroje pro danou technologii.

8 Analýza nejrozšířenějších procesů (používaných strojů a technologií) v kovárnách

Vybavení každé kovárny závisí na druhu výroby, na který je orientována. Tímto se rozumí velikost, složitost a množství výkovků. Zaměření výroby určuje specifické strojní vybavení, které je zároveň rozdílně využíváno.

Pokud se provede průzkum mezi kovárnami, lze zjistit, že velikost výkovků a jejich množství je spolu úzce spjaté. V naprosté většině případů se u malých výkovků jedná o velkosériovou výrobu a u velkých výkovků o kusovou výrobu. Z toho vyplývá, že se v praxi setkáváme se dvěma druhy provozu kováren a to včetně skladby vybavení.

Z rozdílných parametrů obou druhů provozů jsou v každé oblasti kladeny rozdílné požadavky na stroje a celý proces výroby, ale také vyplývají jiné možnosti pro zlepšování.

8.1 Kusová výroba

Kusová výroba zaujímá významnou část produkce českých kováren. Vesměs se jedná o kovárny, které nejsou navázané na automobilový průmysl. Většinou vyrábějí rozměrné výkovky pro lodní průmysl, jaderné elektrárny a podobně. Výkovky bývají dlouhé desítky metrů a dosahují hmotností až stovek tun.

Jelikož se jedná o výrobu jednoho nebo pouze několika kusů, hlavním kritériem je pouze jakost výkovku. Většinou se naráží na problém prosté manipulace s takto rozměrnými tělesy. Hledisko rychlosti výroby je v těchto případech odsunuto na pozadí.

Výroba je založena výhradně na velkých **hydraulických lisech**, které umožňují provádět největší spektrum operací z tvářecích strojů. Tyto lisy jsou zřídka doplněny o přídatná technologická zařízení, pokud nejsou uvažovány běžné manipulátory.

V naprosté většině případů kovárna disponuje pouze jedním velkým lisem (síla nad 100 MN), případně dalšími menšími. Výkovek se tedy kove většinou pouze na jednom stroji od začátku až do konce a jsou na něm prováděny všechny potřebné technologické operace (pěchování, prodlužování, stříhání,...).

Přestože jsou hydraulické lisy naprosto univerzálními stroji, často jsou využívány na hranici svých možností, případně jsou tyto hranice v určitých režimech (technologických operací) překračovány, což občas vede k velmi závažným poruchám jejich konstrukcí. Z tohoto důvodu bude dále analyzováno, jak je ovlivněn hydraulický lis danou technologií.

8.2 Sériová výroba

Se sériovou nebo hromadnou výrobou jsou spjaty výkovky dodávané především pro automobilový průmysl. Jedná se o výrobky relativně lehké a rozměrově malé (okolo několika kilogramů a jednoho metru).

Nejdůležitějšími požadavky kladenými na výkovky a výrobní proces je vysoká kvalita a rychlá výroba. Aby bylo dosaženo co nejlepších parametrů, je výroba prováděna na robotizovaných linkách speciálně navržených pro daný druh výkovku.

Kovací linky jsou založeny převážně na **klikových lisech**, které zajišťují dostatečnou přesnost i rychlost výroby, doplněné o další obslužná zařízení pro manipulaci s výkovky. V takovýchto automatizovaných linkách bývá nejslabším článkem vlastní kovací lis. Lis je volen podle velikosti a tvarové složitosti kovaných dílů. Velikost výkovků (hmotnost, plocha) ovlivňuje požadovanou sílu lisu a složitost dílu ovlivňuje nutný počet úderů pro správné vykování dílu a tím velikost stolu lisu.

Produktivita celé kovací linky je dána počtem kusů, které je schopen lis vyprodukovat za jednotku času. S rostoucím počtem potřebných úderů na vykování dílu produktivita úměrně klesá. Jelikož může být kován v celém pracovním prostoru pouze jeden kus a ne ve všech zápustkách najednou.

Zvýšení produktivity linky je možné buď použitím více lisů, které znamenají nemalé náklady, nebo správným zvolením přídavných zařízení například pro předkování výkovků.

Právě možnostmi předkování bude dále věnována samostatná kapitola. Dále se pak bude věnována pozornost analýze činnosti samotného klikového lisu v průběhu tváření.

9 Podrobná analýza vlivu technologických operací na namáhání hydraulického kovacího lisu

Jelikož jsou hydraulické kovací lisu univerzálními stroji, na kterých je možné provádět celou řadu různorodých tvářecích operací, je nutné zkoumat všechny možné stavy, ve kterých stroj může pracovat. Z možných technologických operací poté vybrat zástupce těch, při kterých dochází ke specifickému a největšímu namáhání konstrukce. Zjištěné poznatky o prováděných technologiích je pak možné zohlednit při konstrukci stroje.

Nejčastěji se při návrhu stroje zohledňuje maximální pěchovací síla, kdy je uvažováno zatížení ve středu lisu (odpovídá technologii pěchování). Dále je uvažována maximální síla, která může působit v určité maximální vzdálenosti (excentricitě) od středu lisu. Tento stav může reprezentovat např. prodlužování nebo stříhání.

9.1.1 Porovnání technologií

Po provedeném rozboru jednotlivých technologických operací v kapitole 5, lze vyzdvihnout ty, u kterých lze předpokládat zvýšené namáhání konstrukce stroje.

Nejproblematictějšími operacemi budou **pěchování, prodlužování a stříhání**, případně ještě osazování nebo prosazování. Jedná se tedy o ty operace, u kterých je využíváno vysoké síly lisu, případně i v kombinaci s excentrickým zatížením. Popis technologické operace byl proveden v kapitole 5.2.

Tyto vybrané operace budou dále podrobeny dalšímu zkoumání a porovnání, aby byl zjištěn jejich přesnější vliv na konkrétní stoj.

9.1.2 Stanovení okrajových podmínek výpočtů

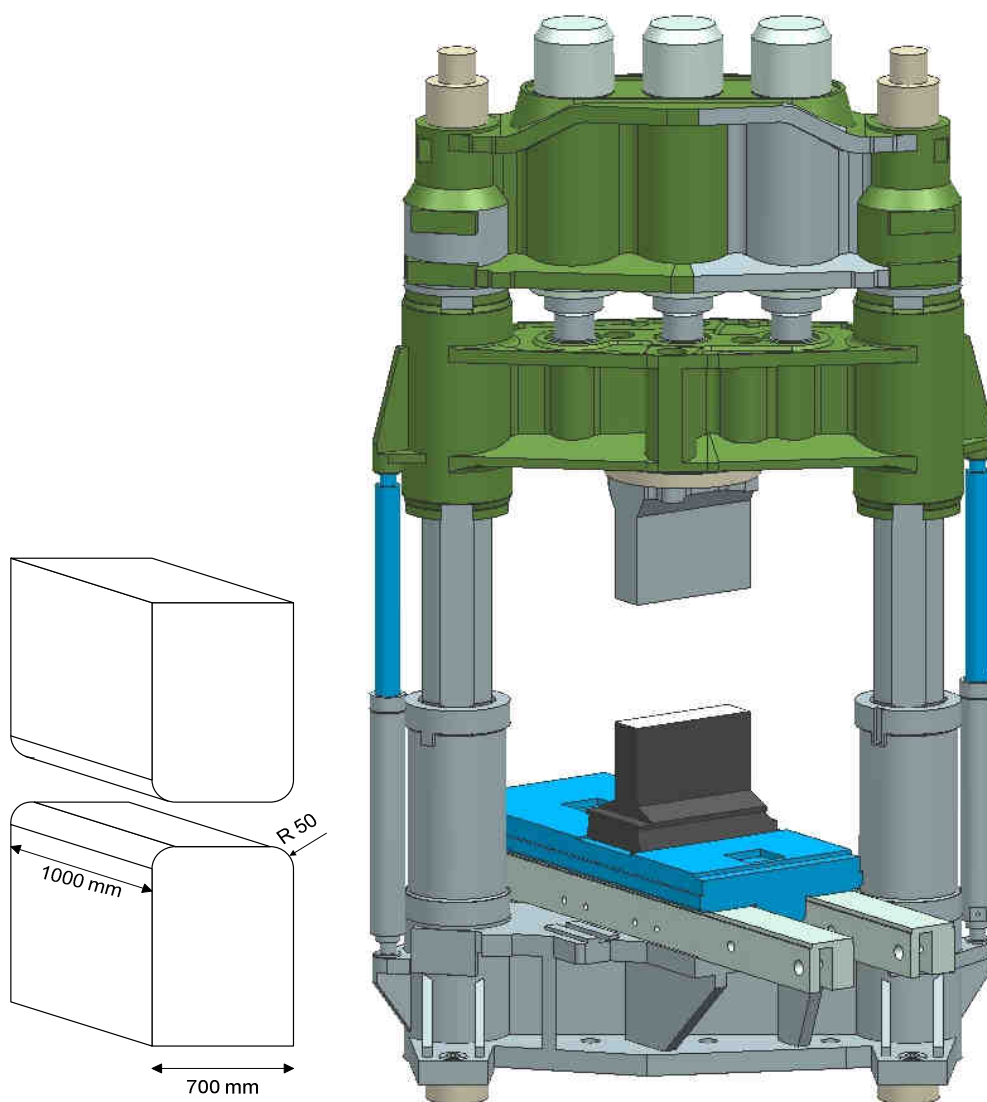
Zatížení při vybraných tvářecích operacích je nejprve přibližně stanoveno analyticky a poté i pomocí MKP programu pro výpočty plastického chování materiálu Deform 3D. Celý postup je podrobně proveden v případě prodlužování. U dalších technologií je postup totožný.

9.2 Konkrétní případ vlivu technologie na stroj „prodlužování“

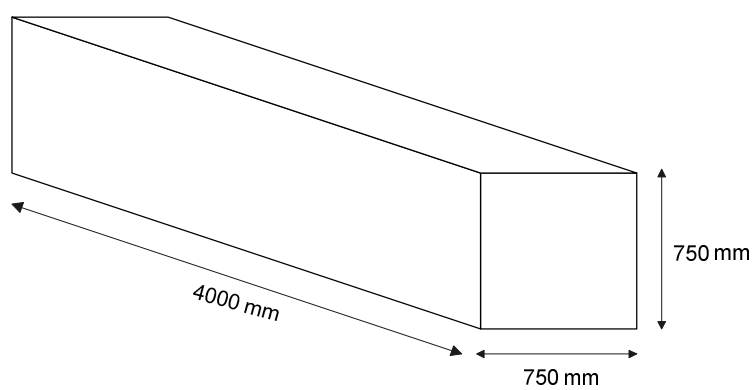
První případ vlivu použité technologie na stroj je proveden pro technologii prodlužování, kdy je uvažováno několik případů využití délky kovádky. Lze totiž předpokládat, že se změnou využití délky kovádky se bude měnit jak velikost potřebné síly, tak i její působíště.

Všechny tvářecí operace jsou uvažovány pro dvousloupový lis CKV o síle 50MN. Polotovar tvářeného materiálu je při všech operacích stejný a je kován mezi stejnými kovádky při stejné teplotě 1100 °C.

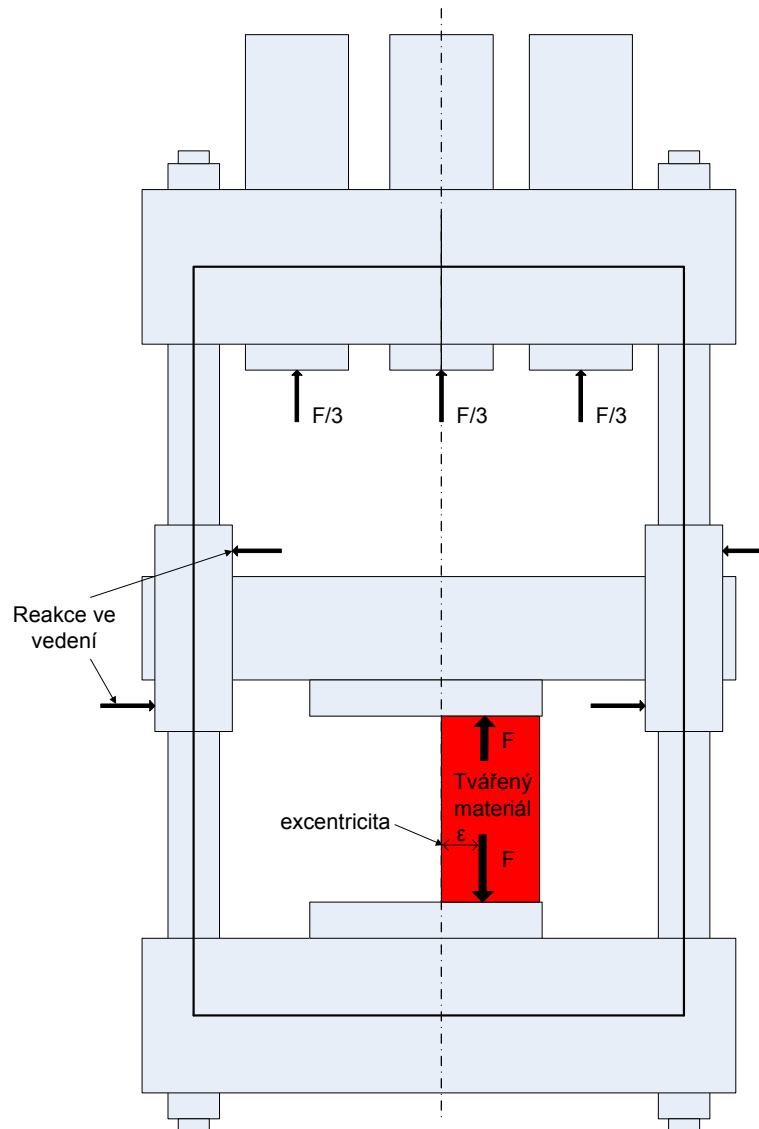
Použitý materiál: AISI 1055 s ekvivalentem DIN 1.1209 nebo ČSN 12060. Obsahuje C-0,5-0,6%, Mn-0,6-0,9%.



Obrázek 29 Kovadla lisu a lis CKV 50 MN



Obrázek 30 Rozměry tvářeného polotovaru



Obrázek 31 Schéma zatížení lisu

9.2.1 Ovlivnění výpočtu namáhání konstrukce lisu vlivem okrajových podmínek

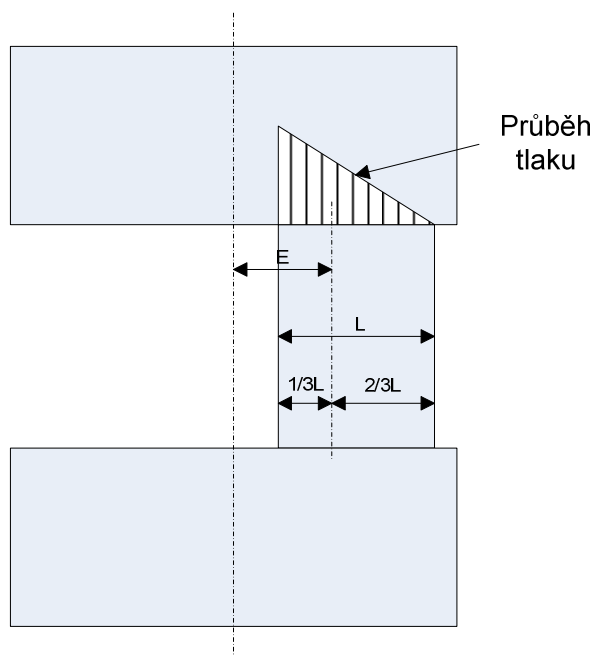
Než je přistoupeno k vlastnímu porovnání namáhání rámu lisu od použité technologie, je nejprve proveden výběr vhodného zjednodušení výpočtového modelu, který bude použitelný pro všechny tvářecí operace. Cílem porovnání je zjistit ovlivnění výpočtu zvolenými okrajovými podmínkami a eliminovat jejich vliv.

9.2.1.1 Možné varianty výpočtového modelu

V uváděných parametrech lisů se setkáváme s maximální silou při centrickém zatížení a pak s maximální excentricitou zatížení při určité síle. Správné zvolení okrajových podmínek výpočtů má zásadní vliv na kvalitu výsledku. V následující části je popsáno několik možných přístupů.

9.2.1.2 *Současný stav užívaný ve výpočtech*

Vyvození excentrického zatížení je docíleno vhodným vložením kusu tvářeného materiálu mezi kovádla. Systém výpočtu je znázorněn na následujícím obrázku.



Obrázek 32 Vyvození excentricity

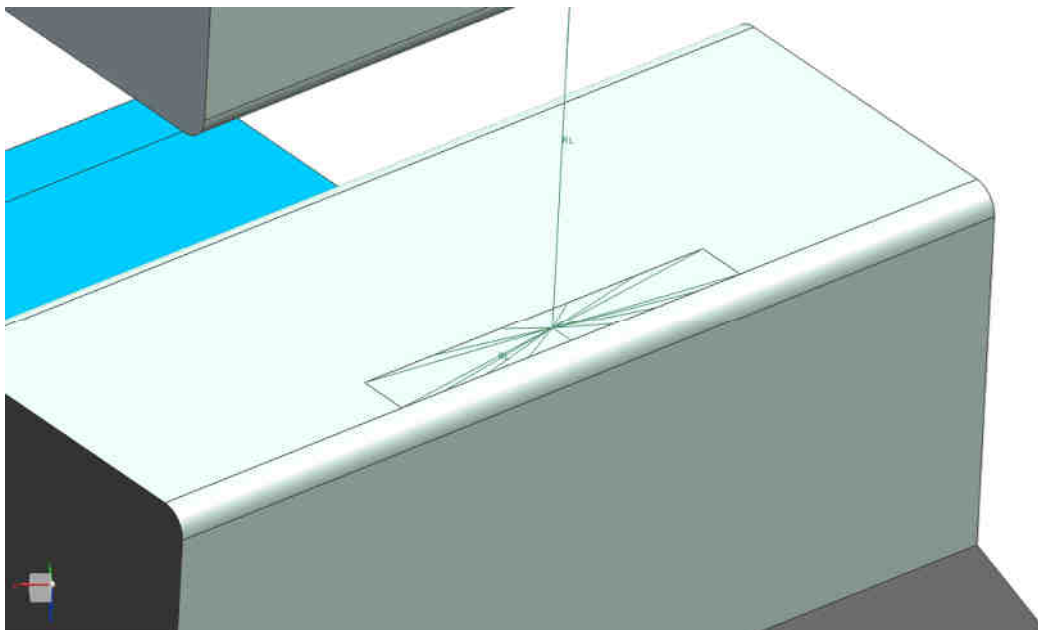
Jak je zřejmé z obrázku, mezi kovádla je vložen tvářený polotovár. Na styčné ploše mezi kovádlem a tvářeným materiálem se předpokládá lineární pokles tlaku s rostoucí vzdáleností od osy lisu. Na vnitřní hraně tvářeného kusu uvažujeme maximální tlak a na vnějším konci nulový tlak. Při tomto předpokladu vzniká výslednice síly v jedné třetině délky tvářeného kusu od osy lisu. Tyto předpoklady je nutné po dokončení výpočtu zkontrolovat, např. nesmí dojít k odlehnutí tvářeného kusu materiálu od kovádla.

Z výše uvedeného vyplývá, že nastavení výpočtu může být snadno nepřesné a opravování nepřesných výpočtů tím velmi zdlouhavé. Proto by bylo dobré najít takovou metodu, která povede k žádaným výsledkům bez nutnosti provádění korekcí.

9.2.1.3 *Varianty nahrazení tvářeného kusu rigidovými prvky*

Jako nejvhodnější zjednodušení výpočtu se jeví nahrazení tvářeného kusu materiálu absolutně tuhými jednorozměrnými prvky – rigidy. Ovšem i jejich vzájemné spojení může velmi ovlivňovat výsledky. Proto bylo navrženo několik variant řešení daného problému.

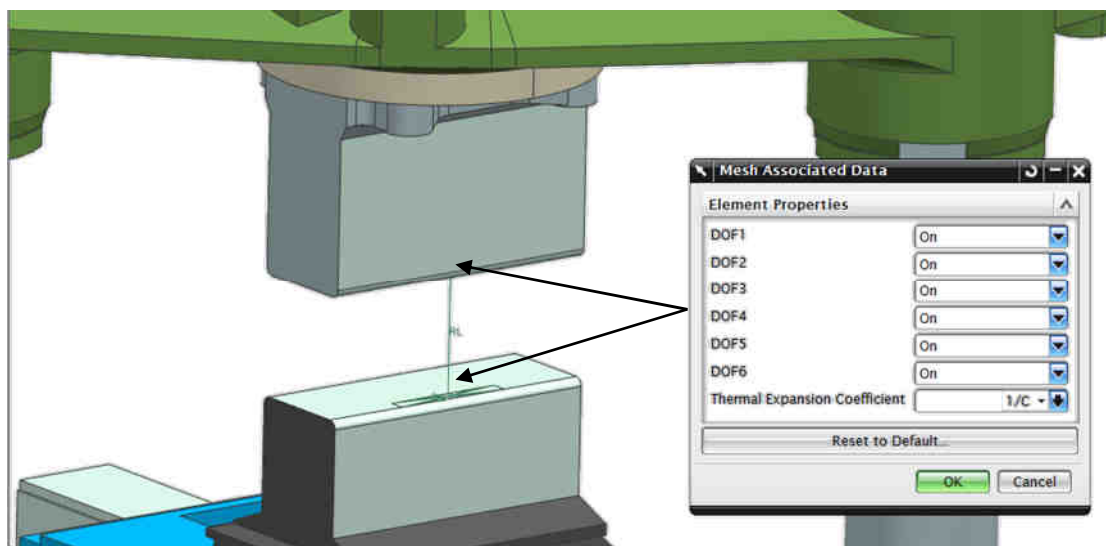
U každé varianty byla na horním i spodním kovádle vymezena plocha, na kterou bude působit síla. Vymezená ploška zajistí plynulejší přenos zatížení. Tyto dvě plochy jsou poté spojeny rigidovým prvkem s určitým stupněm volnosti. Navázání rigidového 1-D prvku k ploše je názorné z obrázku.



Obrázek 33 Navázání 1d prvku ke kovadlu

9.2.1.4 Varianta 1 - svázaný všechny stupně volnosti

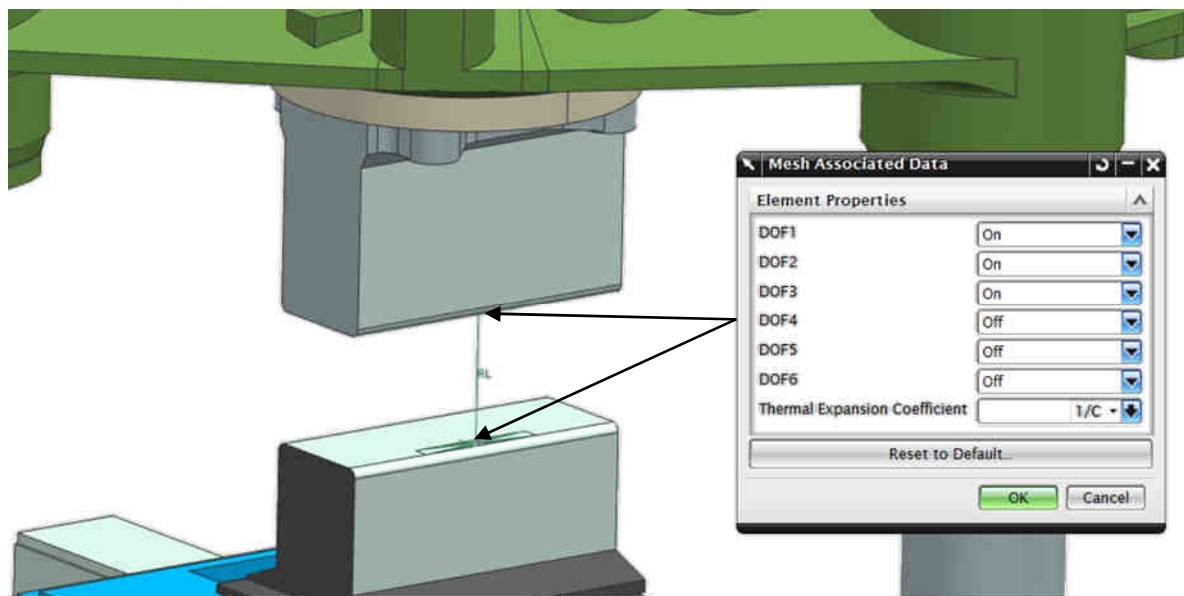
V místě navázání rigidového prvku k plochám kovadel se přenáší zatížení i natočení ve všech směrech. Tento výpočet se tedy chová, jako by byla kovadla mezi sebou slepena. Dá se předpokládat, že tento způsob spojení nebude ideální. Míru ovlivnění výsledků může ukázat až porovnání jednotlivých výpočtů.



Obrázek 34 Přenášené stupně volnosti

9.2.1.5 Varianta 2 - povoleno vzájemné natočení kovadel

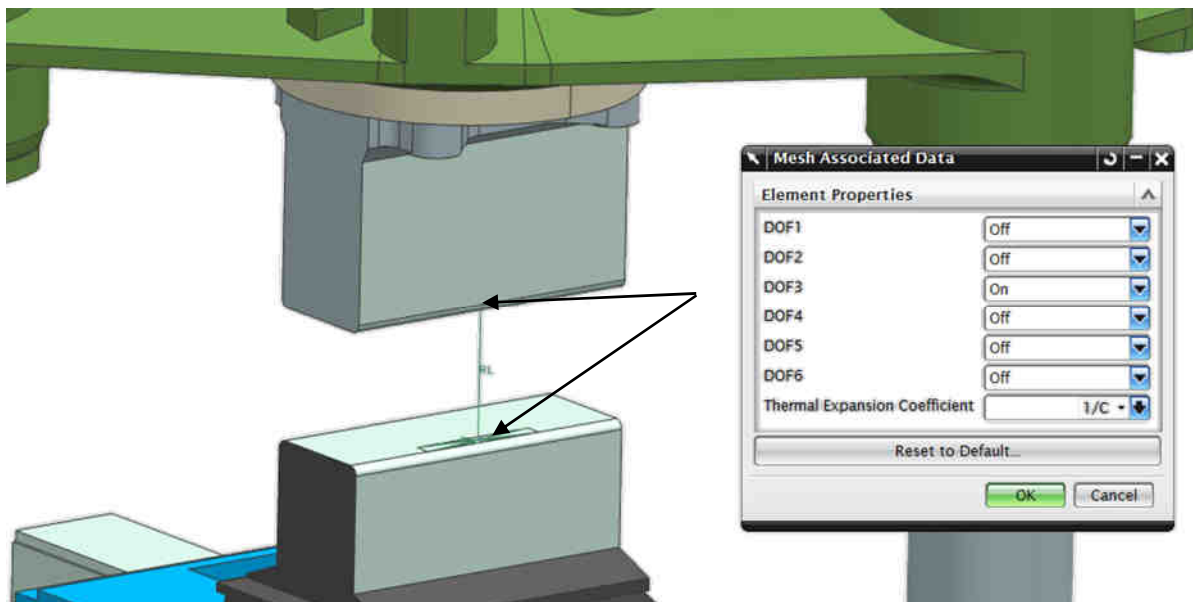
V této variantě bylo povoleno vzájemné natočení kovadel. V koncových bodech 1-D prvku se přenáší veškeré zatížení, ale je povoleno vzájemné natočení bodů.



Obrázek 35 Přenášené stupně volnosti

9.2.1.6 Varianta 3 – zachycení pouze vertikální síly

Zde je provedeno spojení, které přenáší pouze vertikální zatížení. Kovadla se mohou vzájemně natočit, jako v předchozí variantě a navíc je povoleno vzájemné posunutí. Koncové body 1D prvku se tedy mohou pohybovat, v rámci vůlí pohyblivé traverzy ve vedení, ve všech směrech vyjma vertikálního.



Obrázek 36 Přenášené stupně volnosti

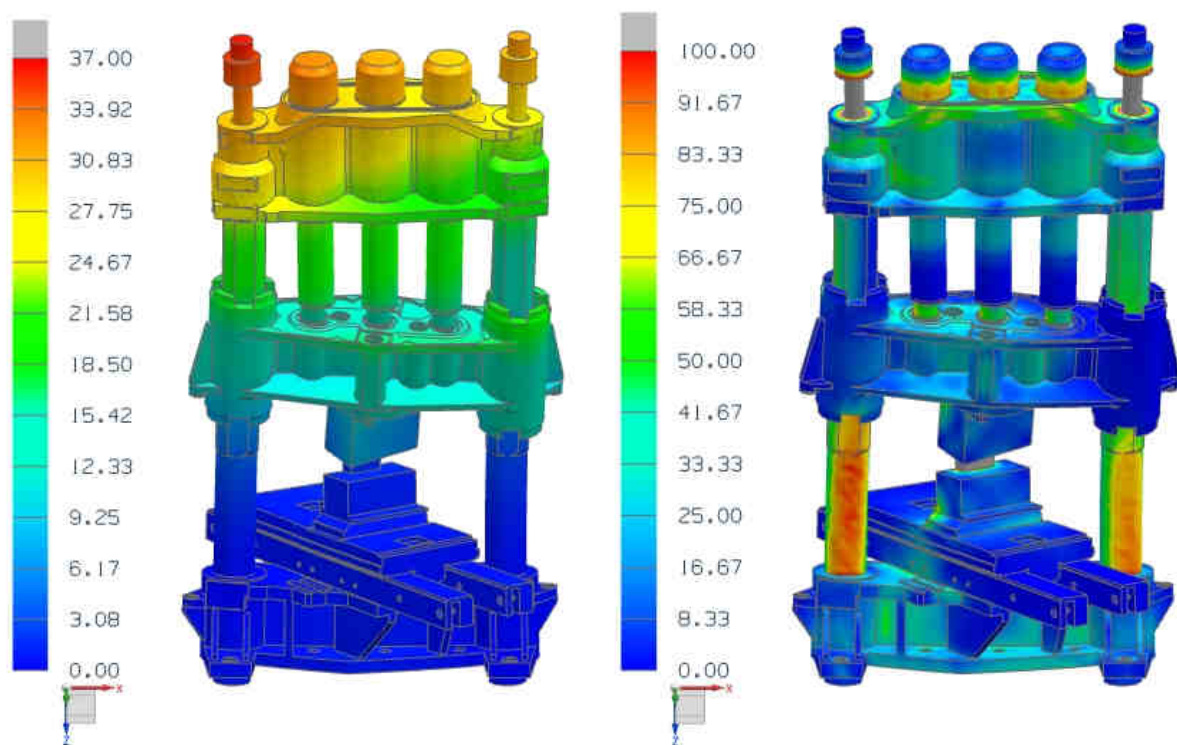
9.2.1.7 Porovnání výsledků jednotlivých výpočtů

V této kapitole jsou porovnány výsledky, které vzešly z jednotlivých variant výpočtových modelů. Jsou uvedeny výsledky v podobě redukovaného napětí a celkového posunutí s uvedením nejvyšších hodnot. V hodnotě posunutí není uvažováno natažení kotev lisu.

Cílem je vybrat vhodný výpočtový model, který bude použit při vlastním zkoumání vlivu technologie na konstrukci stroje.

9.2.1.8 Současný stav užívaný ve výpočtech

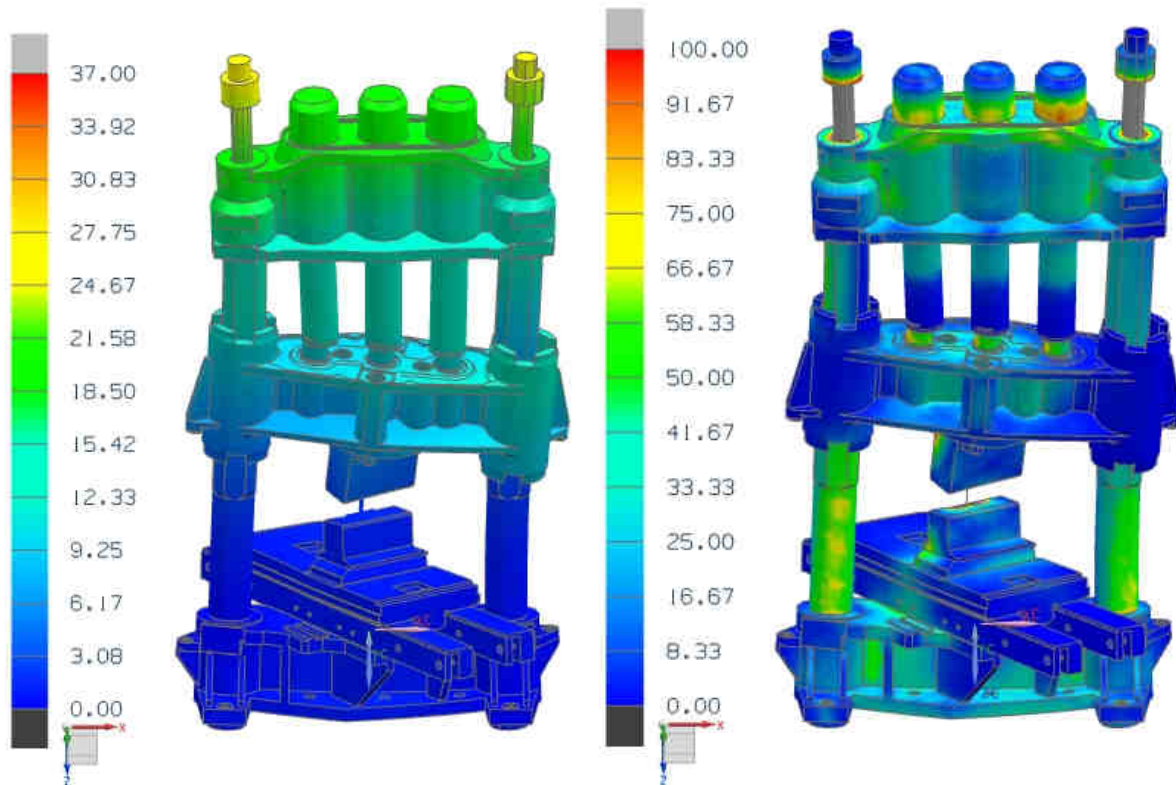
Tento výpočet, který je dnes používán, je brán jako etalon, k němuž jsou porovnány ostatní varianty výpočtů. Jak je vidět z následujících obrázků k maximálnímu namáhání dochází na sloupech u uchycení do spodní traverzy. Hodnoty redukovaného napětí dosahují 103 MPa. Maximální posunutí dna prostředního válce je 29 mm.



Obrázek 37 Současný výpočet – vlevo posunutí [mm], vpravo namáhání [MPa]

9.2.1.9 Var. 1 - svázaný všechny stupě volnosti

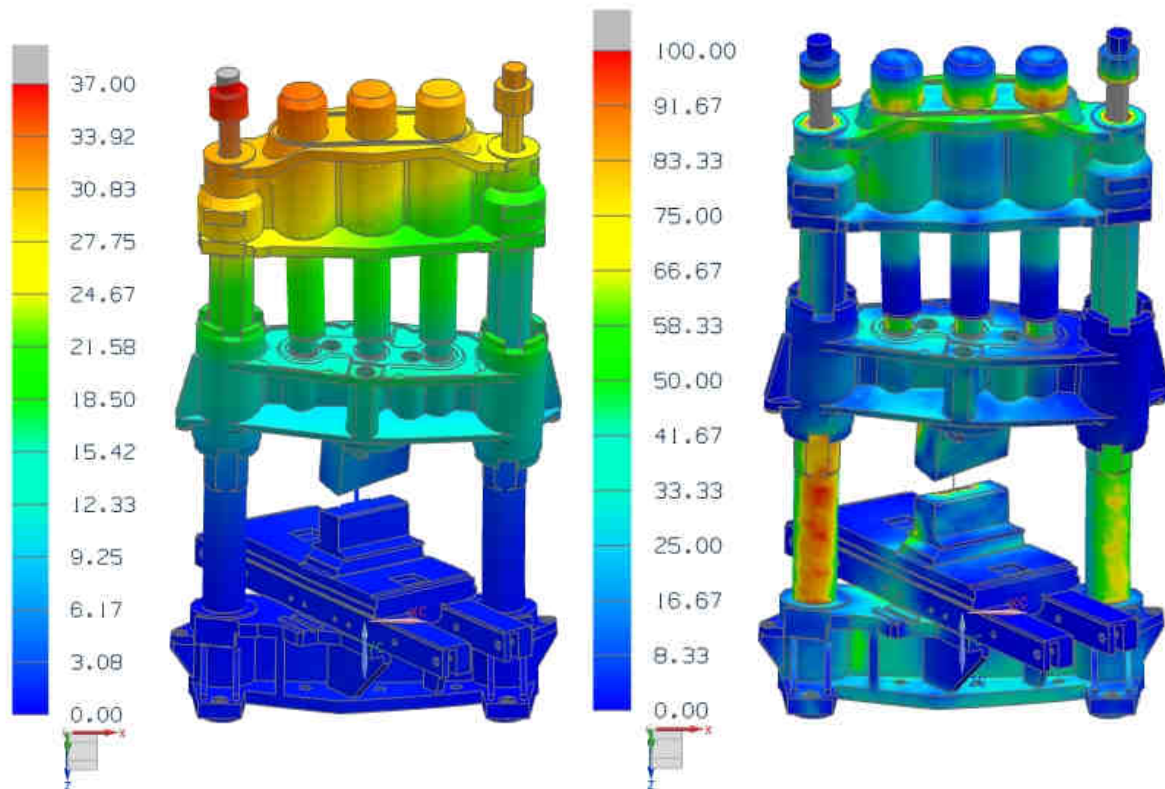
Zde je vidět, jak ovlivnilo pevné spojení kovadel výpočet. Pevné spojení, které nedovolovalo vzájemné natočení kovadel, způsobilo menší ohybové namáhání sloupů od excentricity. Tím došlo k značnému zkrácení hodnoty redukovaného napětí i posunutí. Redukované napětí na sloupu dosahuje pouze 76 MPa a posunutí válců 18 mm.



Obrázek 38 Výpočet var.1 – vlevo posunutí [mm], vpravo namáhání [MPa]

9.2.1.10 Var. 2 – povoleno vzájemné natočení kovadel

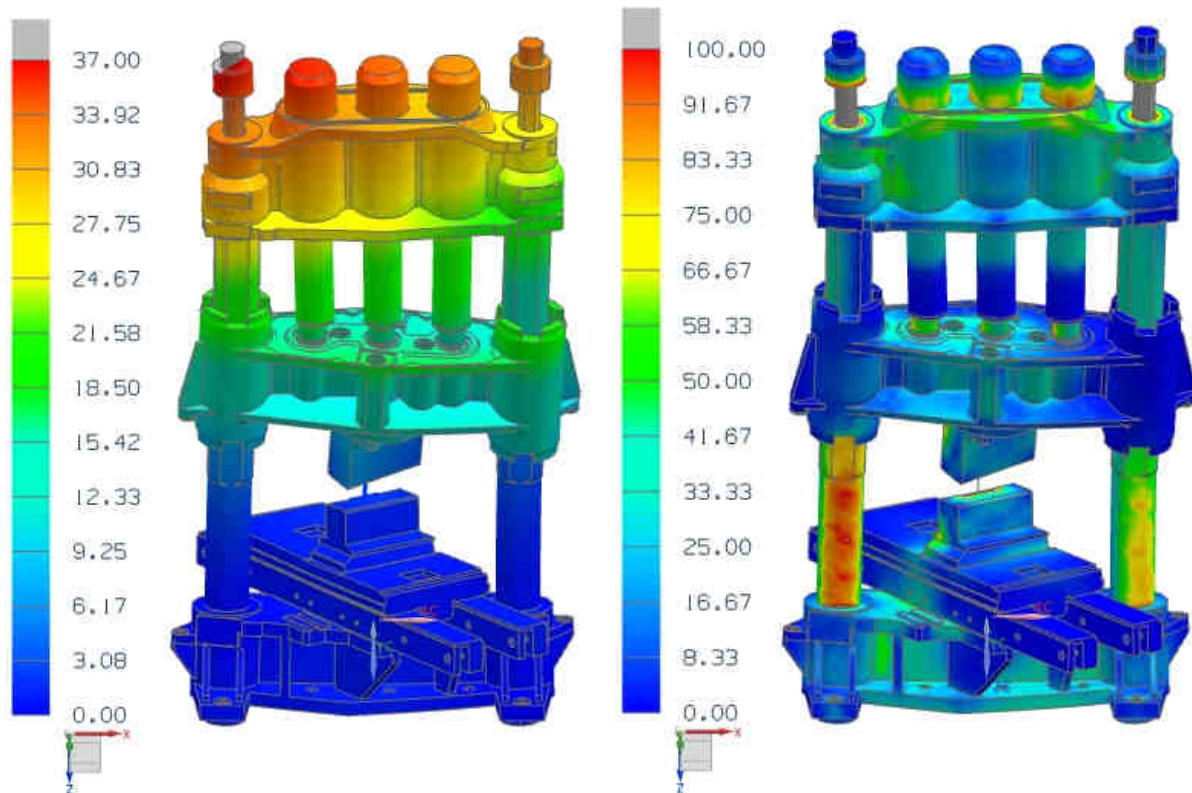
V této variantě je vidět podstatné zlepšení přenosu zatížení z pohyblivé traverzy na sloupy lisu. Napětí na sloupech již dosahuje hodnot 100MPa, jaké byly při prvním výpočtu, kde byl vložen kus tvářeného materiálu a posunutí činí 29 mm.



Obrázek 39 Výpočet var.2 – vlevo posunutí [mm], vpravo namáhání [MPa]

9.2.1.11 Var. 3 – zachycení pouze vertikální síly

Poslední třetí varianta výpočtu již nevykázala výraznou změnu oproti předchozímu výpočtu. Pouze došlo k nepatrnému zvýšení namáhání sloupů, které bylo způsobeno možným vzájemným posunem kovadel. Hodnoty redukovaného napětí v tomto případě dosáhly 105 MPa a posunutí 32 mm.



Obrázek 40 Výpočet var.3 – vlevo posunutí [mm], vpravo namáhání [MPa]

9.2.2 Porovnání výsledků

Jak je vidět z uvedených obrázků, mezi jednotlivými variantami jsou značné rozdíly. Místa největšího namáhání konstrukce se nacházejí u všech variant ve stejných místech, avšak hodnoty napětí a posunutí jsou značně rozdílné.

První varianta s pevně svázanými kovadly je podle očekávání značně odlišná od všech ostatních. Vzhledem ke svázání kovadel došlo ke značnému zvýšení tuhosti v místech tvářeného materiálu a tudíž k nereálnému přenosu namáhání na sloupy lisu.

Zbylé dvě varianty kde je umožněno natočení a poté i vzájemné posunutí kovadel se jeví jako velmi blízké k současně používanému výpočtu. Z toho lze usoudit, že budou i blízko realitě.

Pro použití ve výpočtech konkrétních tvářecích operací bude použita poslední varianta s horizontálně volně uloženými kovadly. Tím bude zaručen ve všech tvářecích operacích přenos sil do sloupů přes vedení.

V reálném procesu se bude část sil určitě přenášet přes tvářený materiál, takže realita procesu bude někde mezi druhým a třetím výpočtem. Avšak z hlediska stanovování namáhání konstrukce je vhodné volit přísnější kritéria.

9.2.3 Analýza technologické operace prodlužování

Při prodlužování je nutné stanovit vliv velikosti přesahu na výsledné zatížení lisu. Velký přesah bude znamenat větší síly avšak menší excentricitu zatížení a malý přesah naopak menší síly a větší excentricitu. Výsledkem této kapitoly je porovnání jednotlivých stavů.

9.2.3.1 Analytické stanovení síly

Nejprve je analyticky spočítána síla, která je potřebná pro tváření na plnou plochu kovačlá.

Materiál AISI 1055, ekvivalent - DIN 1.1209
Obsah C-0,5-0,6%, Mn-0,6-0,9%

Teplota 1100°C

Rozměry kovačlá 1000x700 mm zaoblení hran 50mm
Rozměr kovaného mat. 750x750 mm

Výpočet lisovací síly podle Ekelunda:

Zahrnuje vliv obsahu uhlíku a manganu spolu s teplotou materiálu.

Přetvárný odpor:

$$p = (14 - 0,01 \cdot t) \cdot (1,4 + \%C + \%Mn) = (14 - 0,01 \cdot 1100) \cdot (1,4 + 0,6C + 0,9Mn) = 87 \text{ MPa}$$

Lisovací síla

$$F = p \cdot S = 87 \cdot 750 \cdot 700 = 46 \text{ MN} \quad (S - \text{plocha kovačlá})$$

Výpočet lisovací síly podle Siebla:

Podle literatury Výpočty z oboru kování a lisování [10] je udávaná přetvárná pevnost pro daný materiál 90-110 MPa.

Výpočet přetvárného odporu pro střední hodnotu přetvárné pevnosti 100 MPa

$$p_0 = p \cdot \left(1 + \frac{f \cdot l}{2 \cdot h_0} + \frac{h}{4 \cdot l}\right) = 100 \cdot \left(1 + \frac{0,3 \cdot 700}{2 \cdot 750} + \frac{630}{4 \cdot 700}\right) = 136,5 \text{ MPa}$$

Kde: p – přetvárná pevnost, f – tření, l – délka, h - výška, h_0 – počáteční výška

Lisovací síla

$$F = \psi \cdot p_0 \cdot l \cdot b_0 = 0,65 \cdot 136,5 \cdot 750 \cdot 700 = 47 \text{ MN}$$

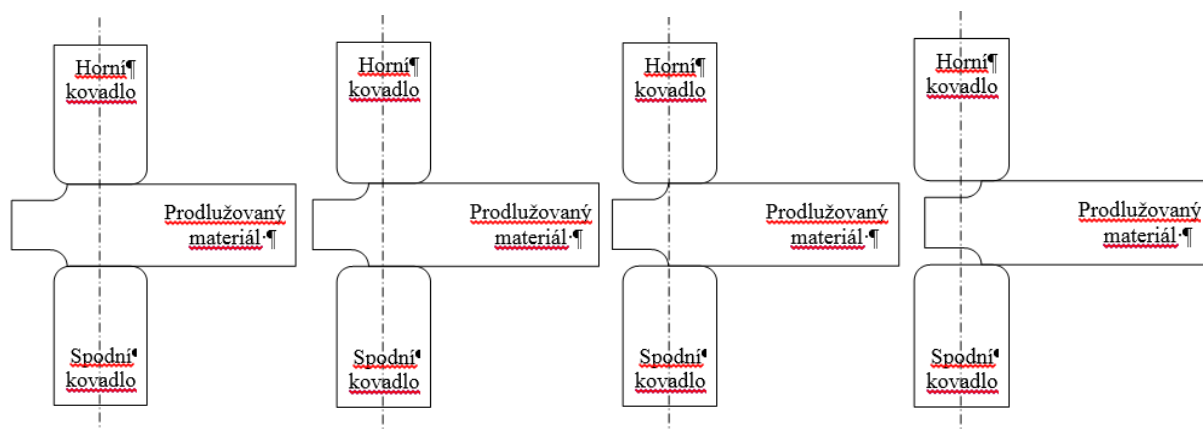
Kde: ψ – součinitel velikosti, b_0 – šířka tyče

Pro hodnotu přetvárné pevnosti 90MPa vychází lisovací síla 42 MN a pro přetvárnou pevnost 110 MPa síla 51 MN.

Z uvedených výpočtů je zřejmé, že rozměry zvoleného kusu materiálu jsou k lisu CKV 50 MN adekvátní.

9.2.3.2 Stanovení lisovací síly pomocí programu Deform 3D

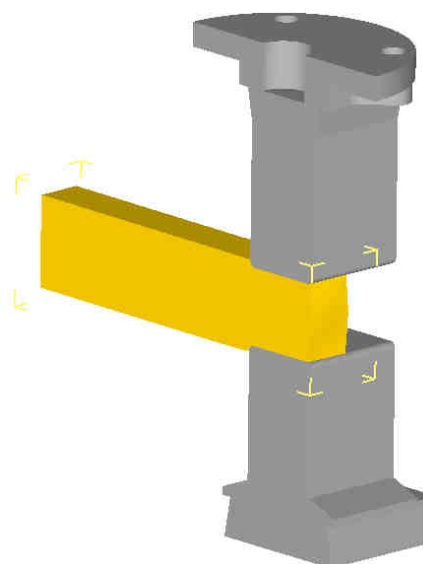
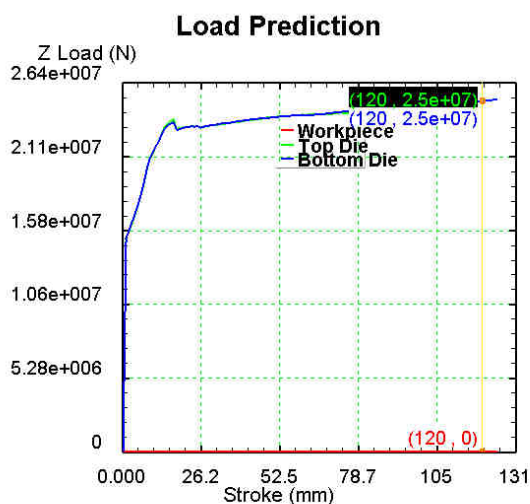
Výpočtové modely jednotlivých variant podle délky záběru kovadel 1, 3/4, 1/2 a 1/4 kovadla.



Obrázek 41 Výpočtové modely

9.2.3.3 Kování celou délkou kovadla

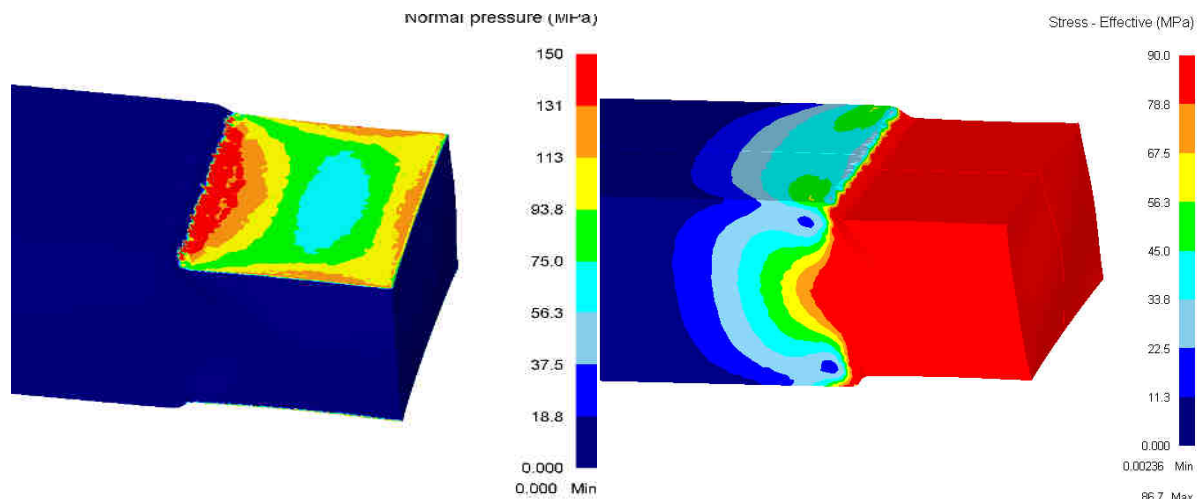
První případ je prodlužování celou délkou kovadla. Model byl vzhledem k rychlosti výpočtu řešen jako poloviční. Z toho důvodu jsou poloviční i výsledné síly. V tomto kroce je stanovena hodnota úběru pro všechny následující varianty. Vychází z bodu, kdy je dosažena maximální síla lisu 50MN.



Obrázek 42 Průběh síly a model tváření v Deformu 3D

Z diagramu závislosti tvářecí síly na úběru materiálu je vidět, že maximální síla lisu 50 MN byla dosažena při úběru 120 mm. Tato hodnota úběru bude dodržena i v následujících krocích.

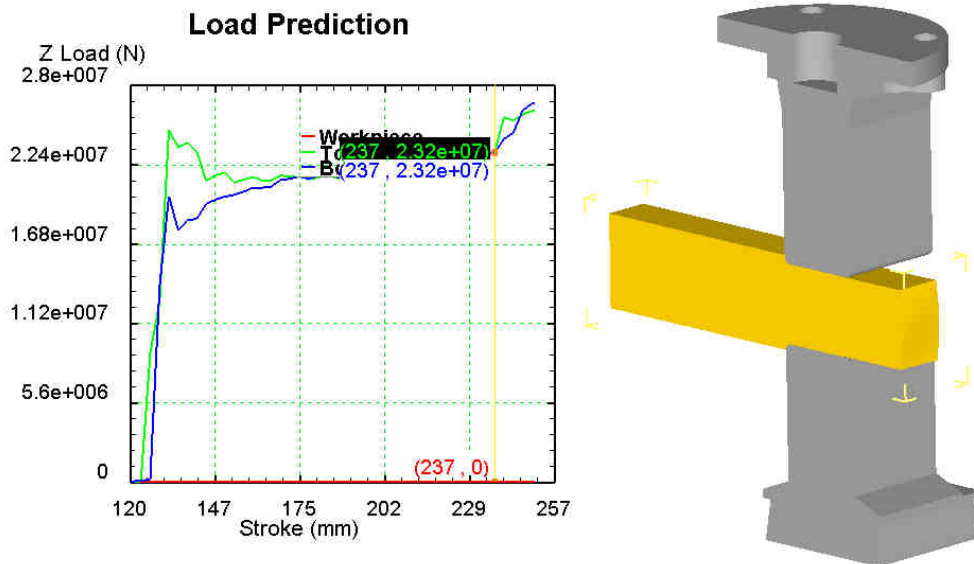
Na následujících obrázcích je vidět rozložení napětí v tvářeném kusu materiálu a kontaktní tlak mezi tvářeným materiálem a kovadlem lisu.



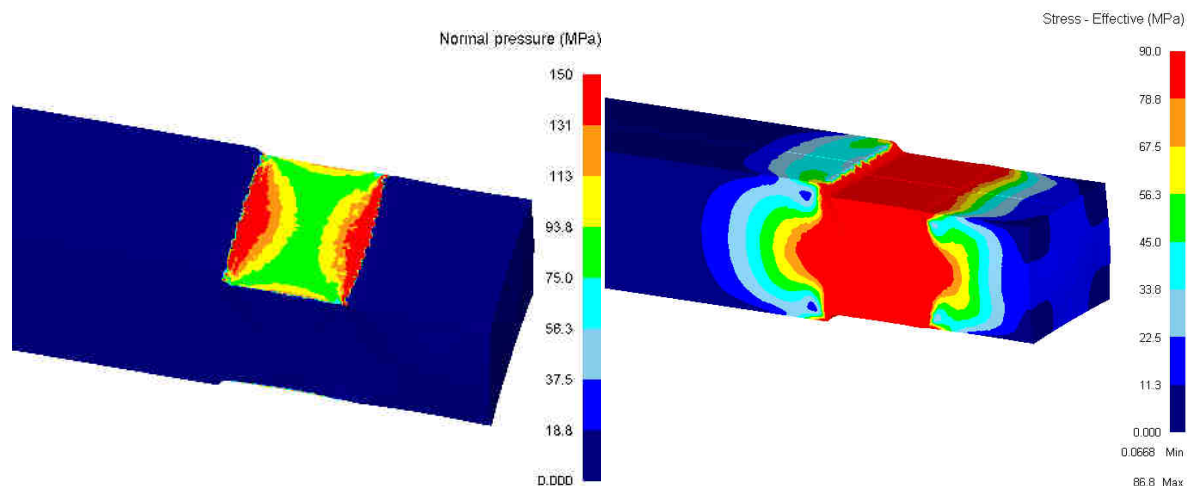
Obrázek 43 Rozložení kontaktního tlaku a napětí

9.2.3.4 Prodlužování třemi čtvrtinami kovadla

Druhým případem je prodlužování třemi čtvrtinami délky kovadla. Model byl opět vzhledem k rychlosti výpočtu řešen jako poloviční. Za hodnotu úběru materiálu byla dosazena hodnota 120 mm, která byla stanovena v předchozím výpočtu. Při stanoveném kroku byla odečtena výsledná síla 46 MN.



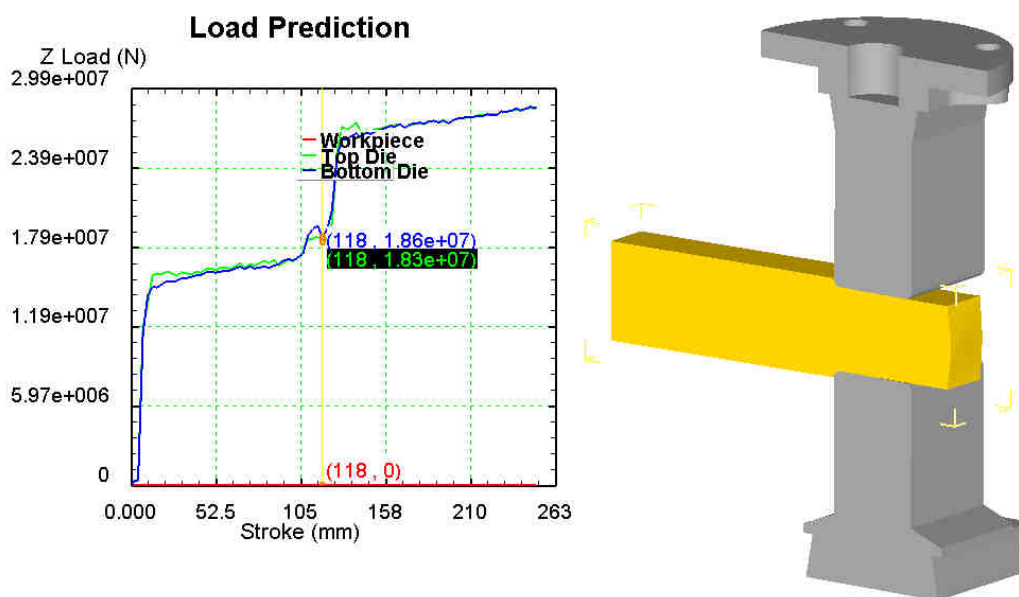
Obrázek 44 Průběh síly a model tváření v Deformu 3D



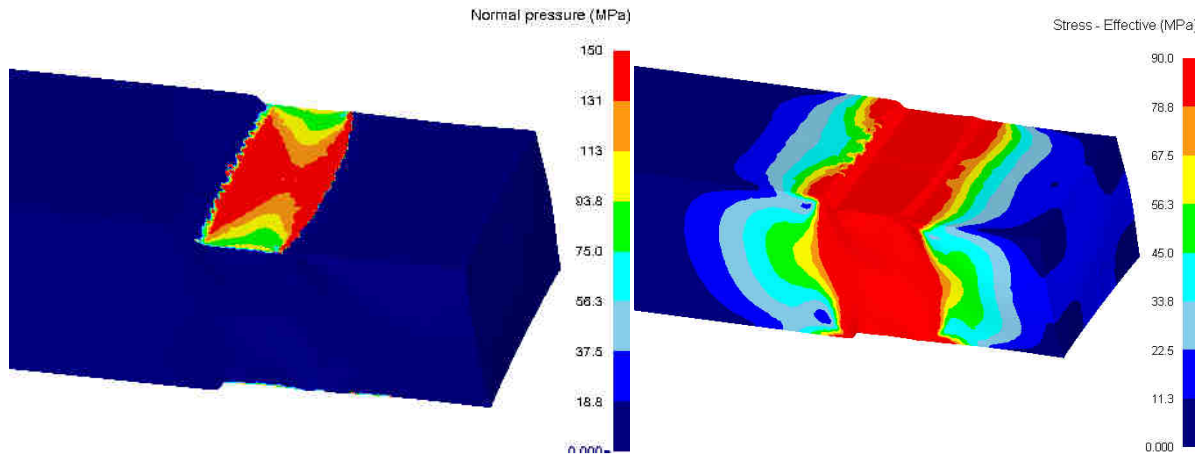
Obrázek 45 Rozložení kontaktního tlaku a napětí

9.2.3.5 Kování polovinou délky kovádla

Třetím případem je prodlužování polovinou délky kovádla. Zjednodušení výpočtu bylo provedeno stejně jako v předchozích případech. Při stanoveném kroku byla odečtena výsledná síla 36 MN.



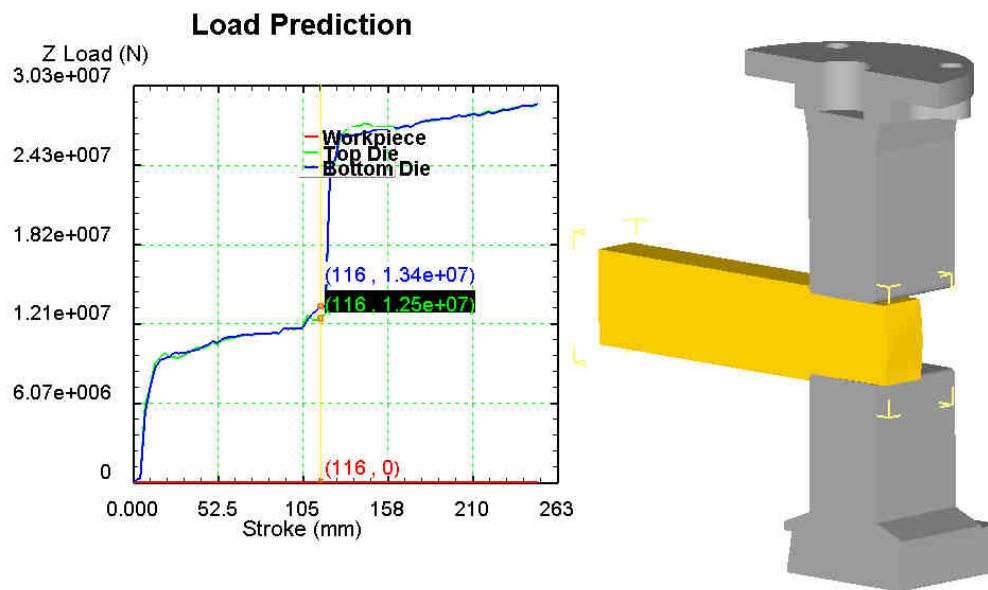
Obrázek 46 Průběh síly a model tváření v Deformu 3D



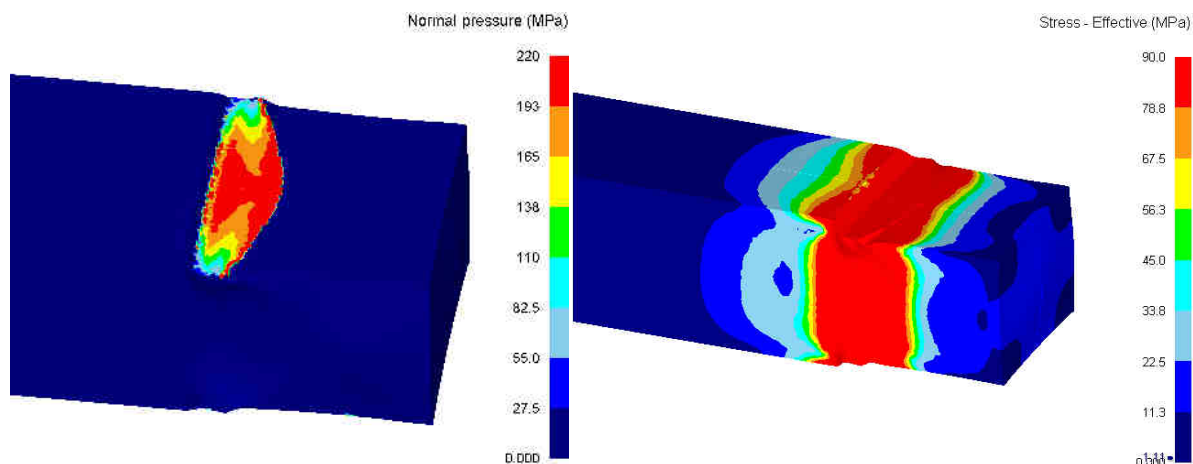
Obrázek 47 Rozložení kontaktního tlaku a napětí

9.2.3.6 Prodlužování čtvrtinou kovadla

Čtvrtým případem je prodlužování pouze čtvrtinou délky kovadla. Zjednodušení výpočtu bylo provedeno stejně jako v předchozích případech. Při stanoveném kroku byla odečtena výsledná síla 25 MN.



Obrázek 48 Průběh síly a model tváření v Deformu 3D

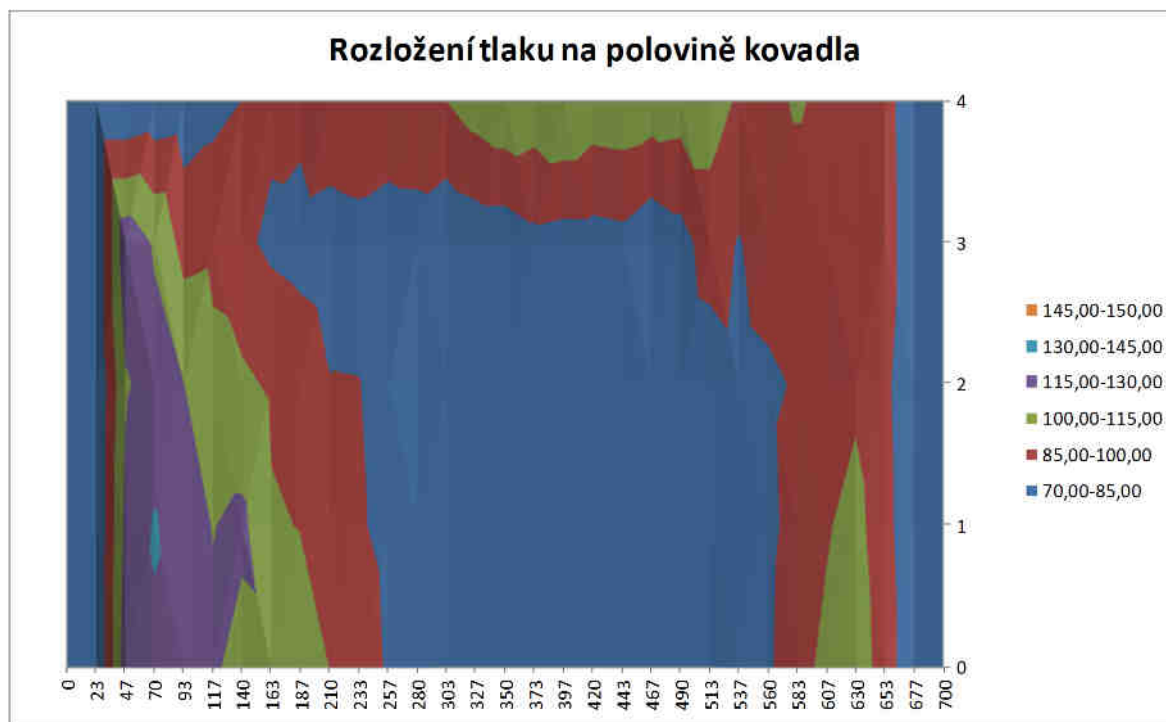


Obrázek 49 Rozložení kontaktního tlaku a napětí

9.2.3.7 Odečtení dat z programu Deform 3D a stanovení působíště výsledné síly

V předešlé kapitole byla stanovena celková síla, kterou působí tvářený kus materiálu na kovadla lisu. Aby mohlo být stanoveno namáhání stroje, je ještě nutné stanovit působíště síly. To je možné získat z rozložení kontaktního tlaku na kovadle lisu.

V programu Deform 3D, kde byl zjištěn průběh kontaktního tlaku, byla na povrchu kovadla vytvořena síť bodů, ve kterých je odečtena hodnota tlaku. Vykreslené hodnoty tlaku na polovině kovadla při kování celou jeho délkou jsou vidět na následujícím obrázku. Zobrazená data jsou již převedena do tabulkového editoru Excel, ve kterém dochází k dalšímu zpracování.



Obrázek 50 "Digitalizované" hodnoty tlaku v program Excel

Z odečtených hodnot tlaku je stanoveno působíště výsledné síly. V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty excentricity spolu se zatěžující silou pro každou řešenou variantu

prodlužování. Tabulka je ještě rozšířena o hodnotu momentu, který je vyvozen excentricky působící silou a rám stroje ji musí zachytit.

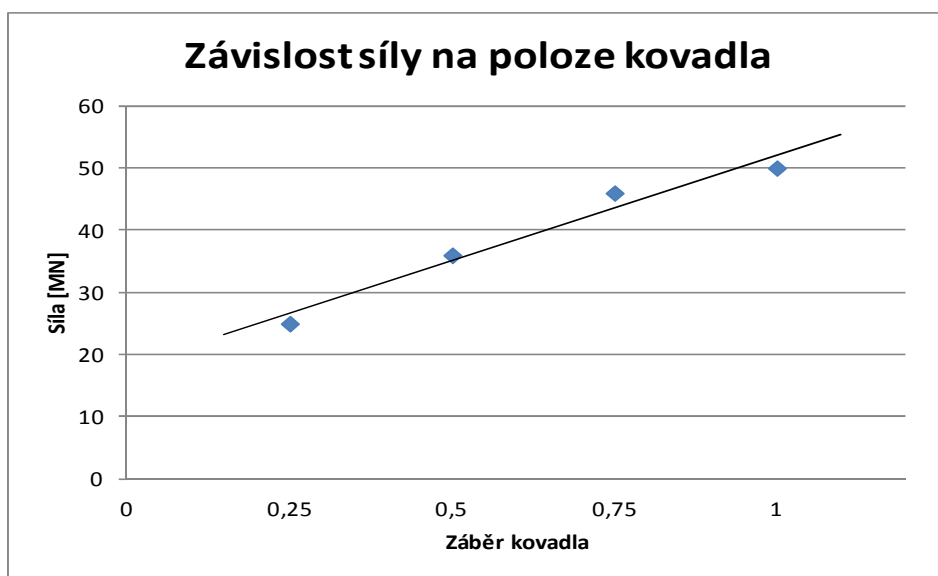
$M = F \cdot \varepsilon$, kde M je moment, F zátěžná síla a ε je hodnota excentricity.

Poloha kovádkla	Síla [MN]	Excentricita [mm]	Moment [MN*m]
1	50	9	449
3/4	46	26	1214
1/2	36	130	4688
1/4	25	222	5562

9.2.3.8 Porovnání jednotlivých variant

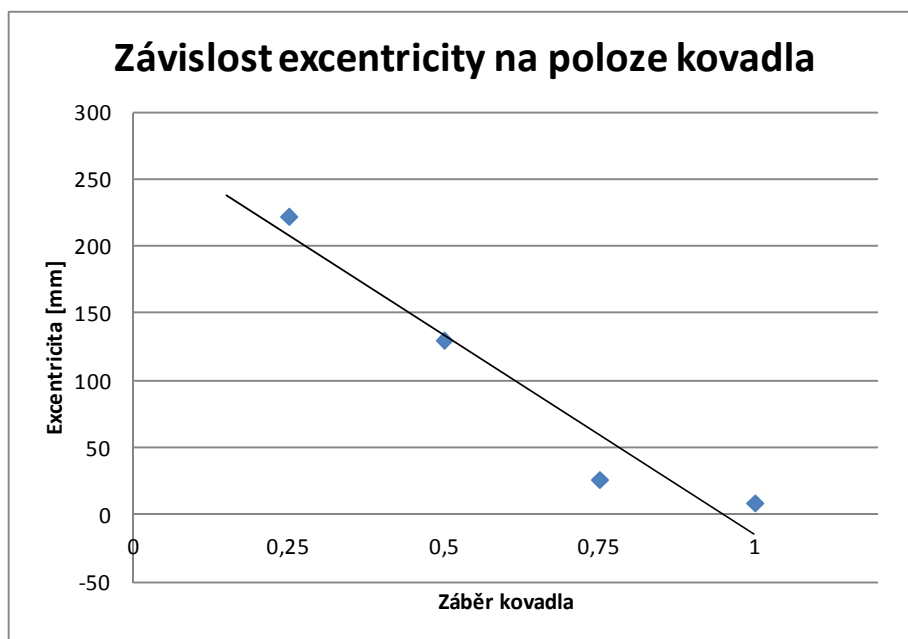
Nyní je provedeno porovnání jednotlivých variant prodlužování. V následujících tabulkách jsou vidět rozdíly v silách a excentricitách v závislosti na poloze kovádkla. Všechny grafy jsou proloženy lineární křivkou pro znázornění trendu.

Na prvním grafu je vykreslena závislost síly na poloze kovádkla. Je vidět lineární nárůst síly mezi čtvrtinou a třemi čtvrtinami kovádkla. Při kování na celou délku kovádkla může být síla snížena částečným vytečením materiálu před kovádklo.

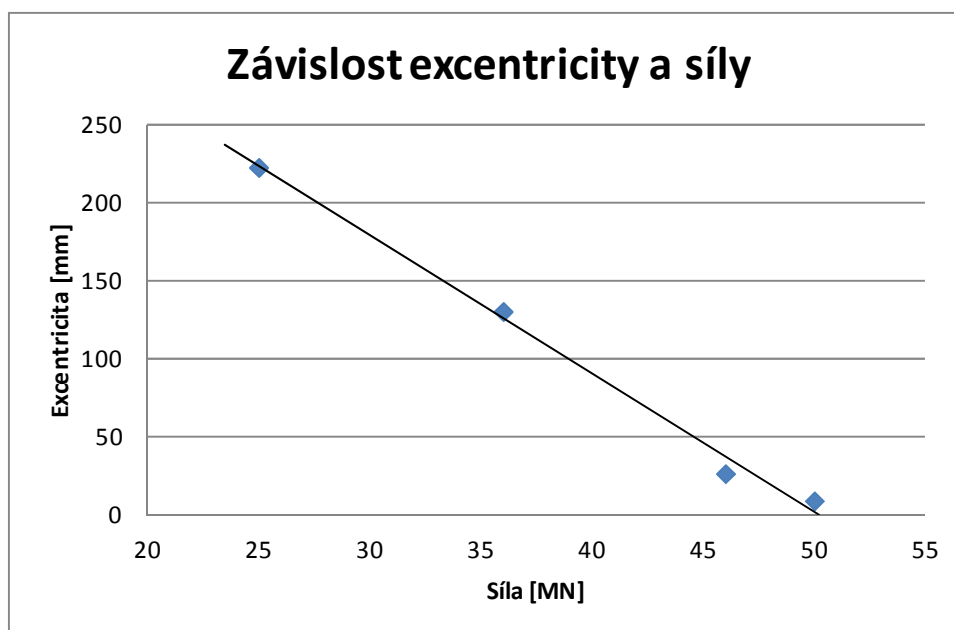


Obrázek 51 Závislost síly na poloze kovádkla

Na následujícím grafu je vidět závislost velikosti excentricity zatížení na poloze kovádkla. Mezi polohou kovádkla v záběru tři čtvrtiny a jedna čtvrtina kovádkla je opět vidět lineární závislost.



Obrázek 52 Závislost excentricity na poloze kovadla



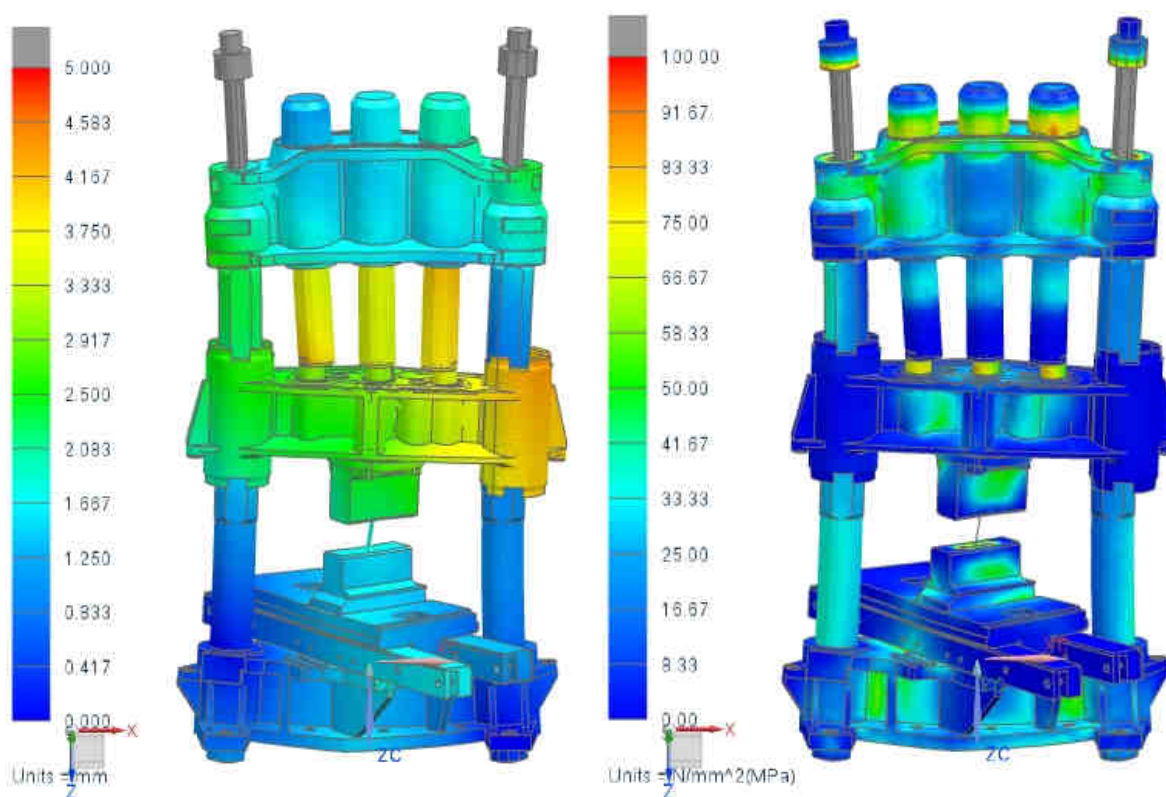
Obrázek 53 Závislost excentricity na síle

9.2.4 Zatížení při různé excentricitě

Teprve v této kapitole je porovnáno výsledné namáhání konstrukce lisu od jednotlivých zatížení prodlužování. Zatížení, které bylo počítáno v předešlých kapitolách, je zadáno do výpočtového modelu rámu lisu a může být rozhodnuto, zda je pro konstrukci lisu horší větší síla nebo větší excentricita.

9.2.4.1 Kování celou plochou kovadla

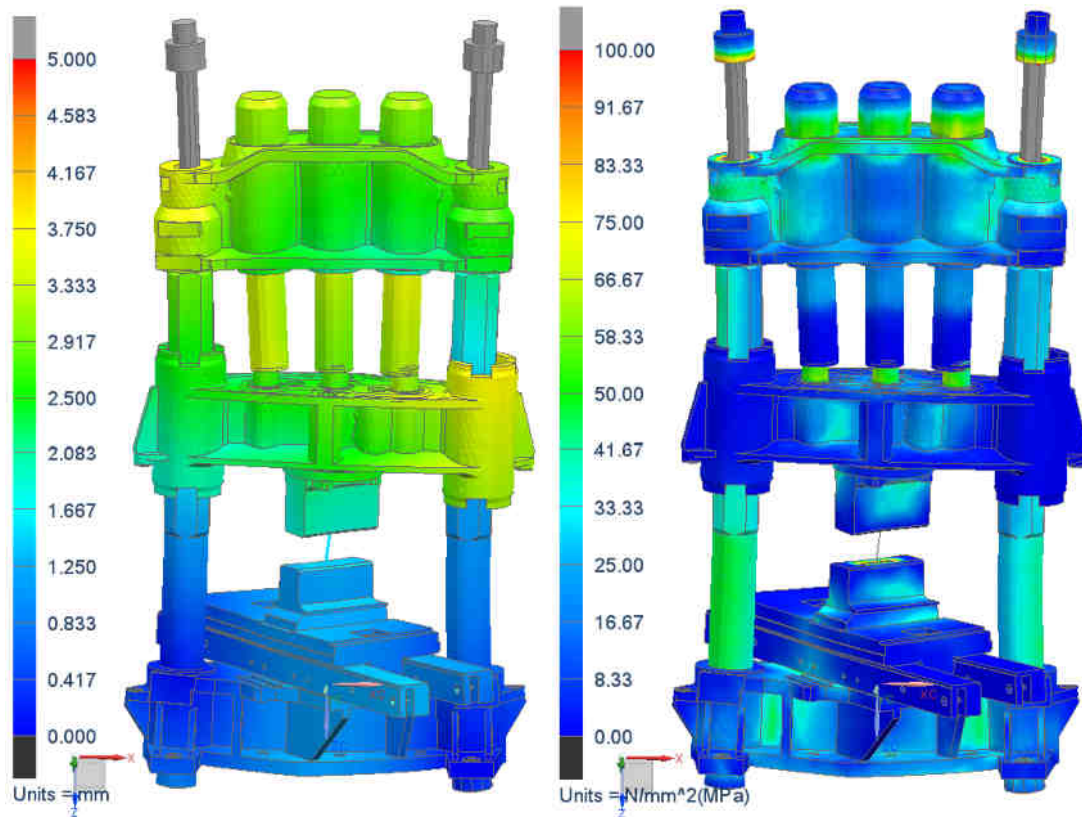
Zde je vidět namáhání konstrukce při kování celou plochou kovadla. Jelikož se jedná o téměř centrické zatížení, není pozorována žádné ohybové namáhání konstrukce. Sloupy lisu přenášejí převážně tah. Hodnoty redukovaného napětí na sloupech lisu dosahují hodnoty pouze 38 MPa a celkové posunutí dna prostředního válce lisu činí pouze 2 mm.



Obrázek 54 Výpočet – celá plocha kovadla - vlevo posunutí [mm], vpravo namáhání [MPa]

9.2.4.2 Kování třemi čtvrtinami kovadla

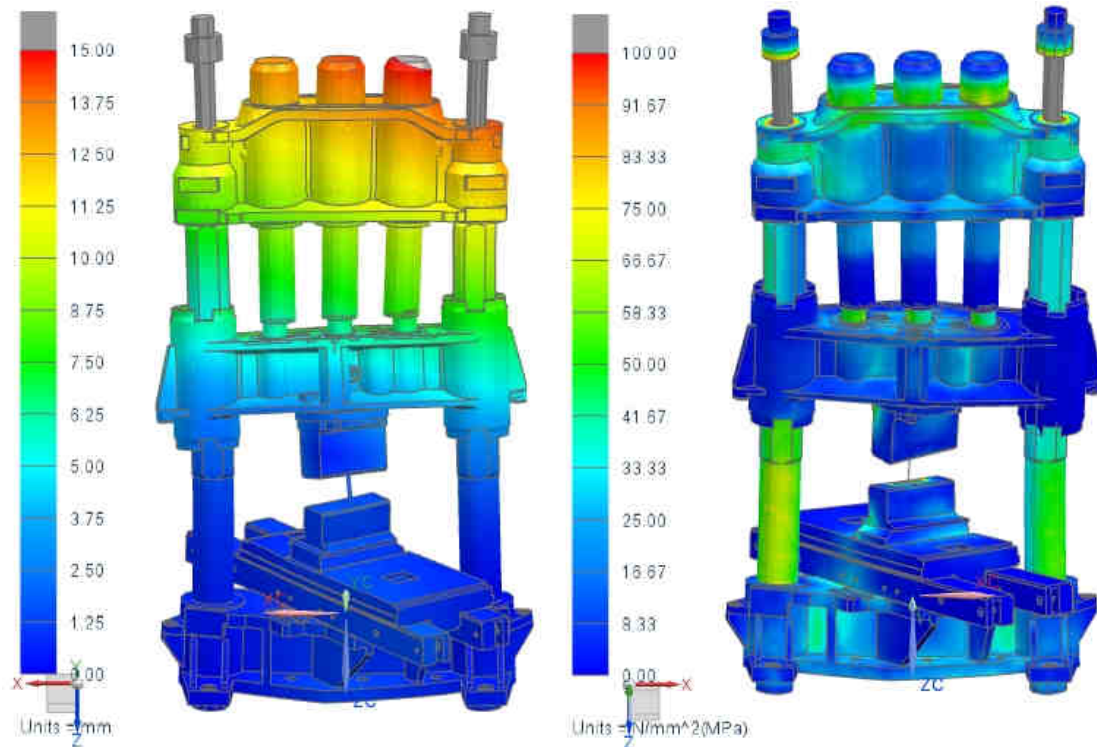
Tato varianta se vzhledem k malé excentricitě stále blíží centrickému zatížení. Malá hodnota excentricity je způsobena “vytečením“ materiálu pod kovadlo ve směru prodlužování v průběhu lisování. Redukované napětí činí 47 MPa a posunutí 3 mm.



Obrázek 55 Výpočet – tři čtvrtiny kovádla - vlevo posunutí [mm], vpravo namáhání [MPa]

9.2.4.3 Kování polovinou kovádla

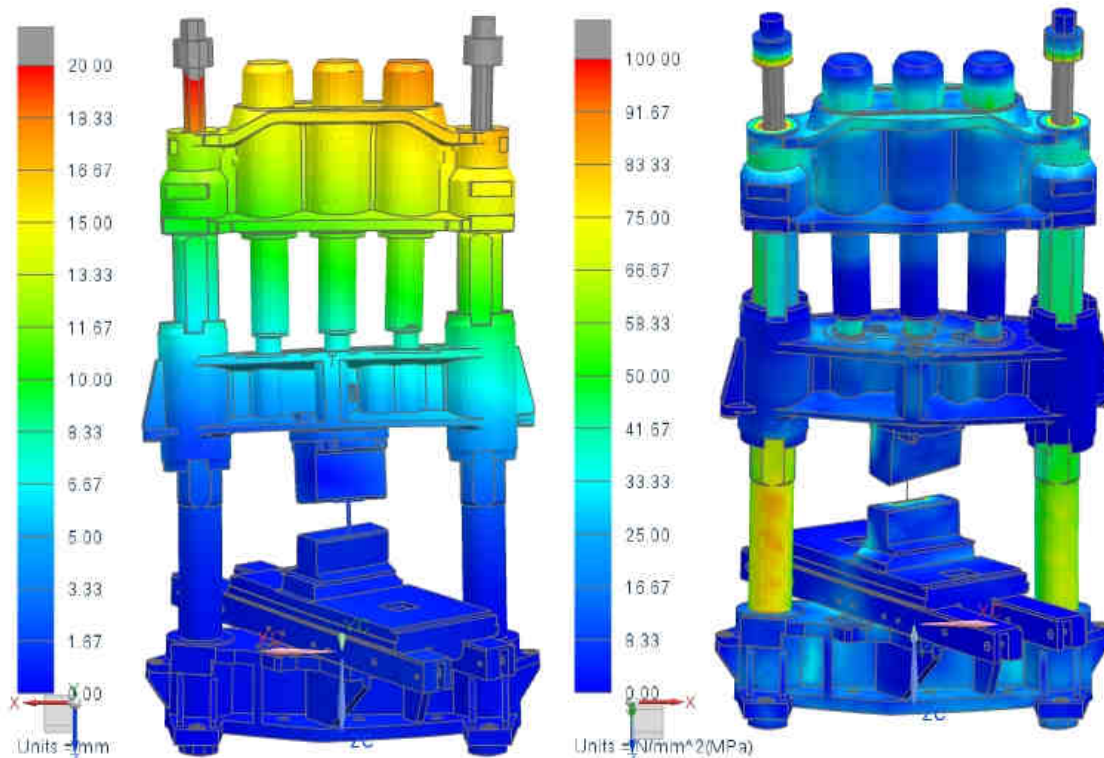
Při kování polovinou délky kovádla je již hodnota excentricity 130mm. Na sloupech lisu je již vidět zvýšené namáhání vlivem zachycovaného ohybového momentu. Hodnoty redukovaného napětí se oproti centrickému zatížení zdvojnásobily a dosahují 70 MPa. Posunutí prostředního válce již činí 15 mm.



Obrázek 56 Výpočet – polovina kovadla - vlevo posunutí [mm], vpravo namáhání [MPa]

9.2.4.4 Kování čtvrtinou kovadla

Kování čtvrtinou délky kovadla zvýšilo hodnotu excentricity na 222 mm. I přes pokles lisovací síly na čtvrtinu maximální došlo k dalšímu nárůstu namáhání sloupů lisu až na 85 MPa. Posunutí válců činí 18 mm.



Obrázek 57 Výpočet – čtvrtina kovařla - vlevo posunutí [mm], vpravo namáhání [MPa]

9.2.4.5 Porovnání výsledků

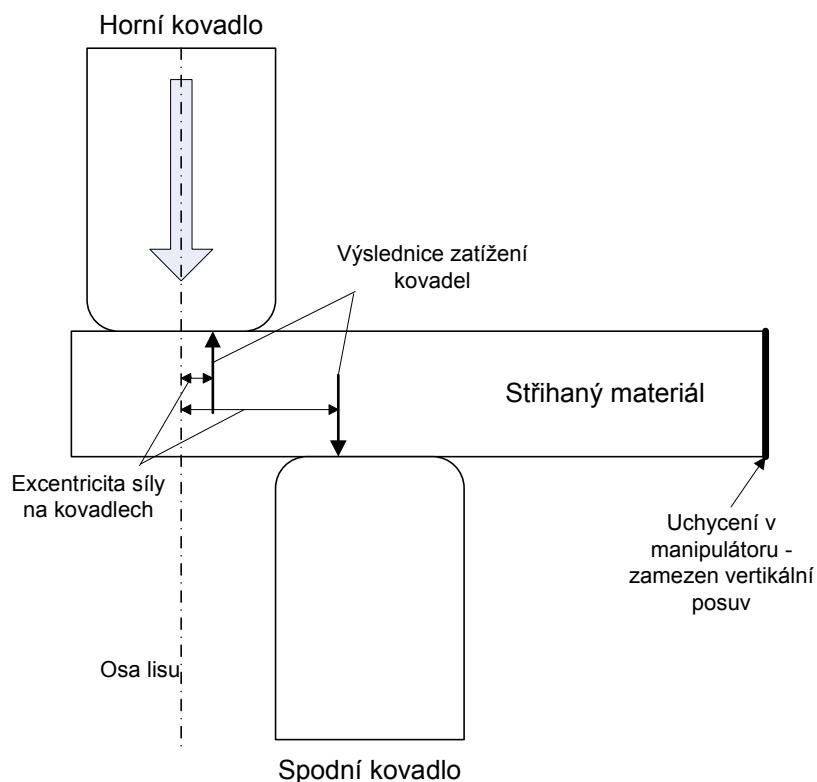
V následující tabulce jsou porovnány výsledky ze všech počítaných variant prodlužování. Je zřejmé, že nejhorší namáhání konstrukce nastalo při největší hodnotě excentricity. Dále bylo zpozorováno, že excentricita má výrazný vliv pouze na konstrukci sloupů. Na traverzách lisu nebyl pozorován významnější nárůst namáhání, spíše naopak.

Poloha kovařla	Posunutí válců [mm]	Red. napětí na sloupech [MPa]
1	2	38
3/4	3	47
1/2	15	70
1/4	18	85

Z uvedených výsledků vyplývá, že sloupy lisu jsou nejvíce ovlivněny momentem, který vzniká při excentrickém namáhání stroje a s ohledem na tento moment musí být konstruovány. Naproti tomu konstrukce traverz je málo náchylná na velikost excentrického zatížení. Jejich konstrukce je nejvíce ovlivněna velikostí působící lisovací síly. Nevětšího namáhání traverzy bylo dosaženo při centrickém zatížení a plné síle lisu.

9.3 Stříhání

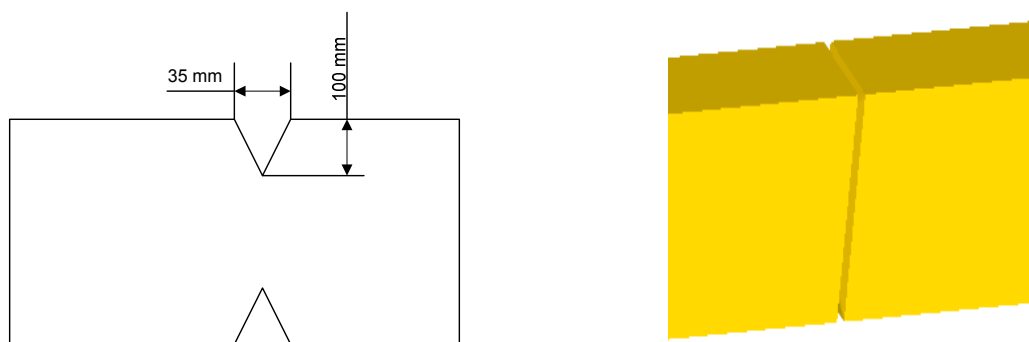
Další operací, u které je předpoklad zvýšeného namáhání rámu lisu, je stříhání. Schéma operace je vidět na následujícím obrázku. Při stříhání jsou kovadla lisu přesazena přes sebe jeden konec stříhaného materiálu držen v manipulátoru a druhý je stříháný.



Obrázek 58 Schéma stříhání

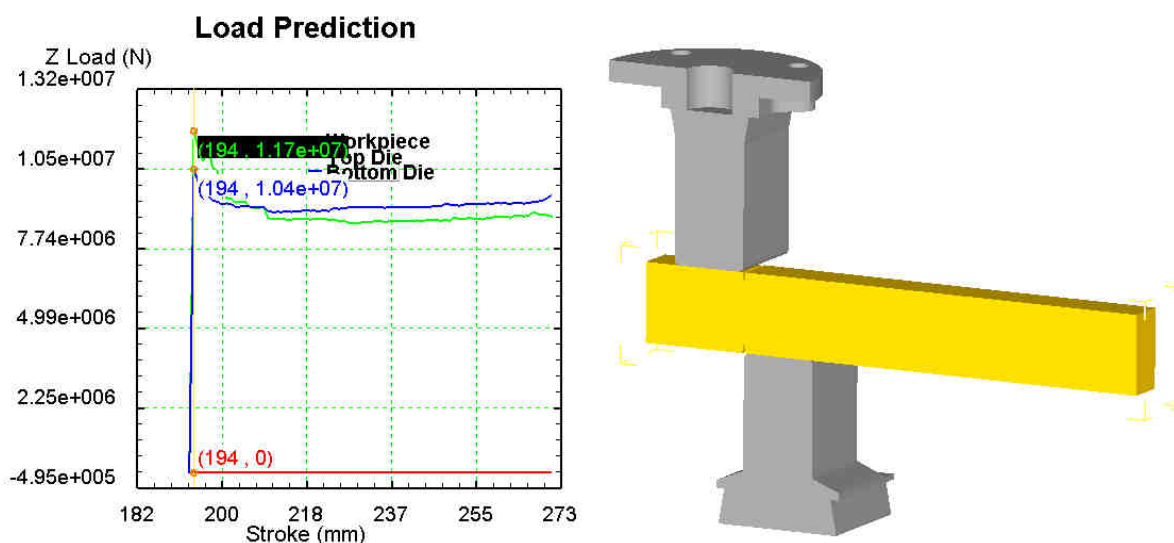
9.3.1 Výpočet síly s využitím programu Deform 3D

Provedení výpočtu v programu Deform 3D je provedeno stejně jako v případě prodlužování. Úloha je opět řešena pro poloviční model. Kvůli tomuto zjednodušení jsou hodnoty výsledné síly poloviční. Stříhaný kus materiálu je v místě požadovaného přestřížení po obvodě naseknut. Schéma naseknutí s rozměry je vidět na následujícím obrázku.

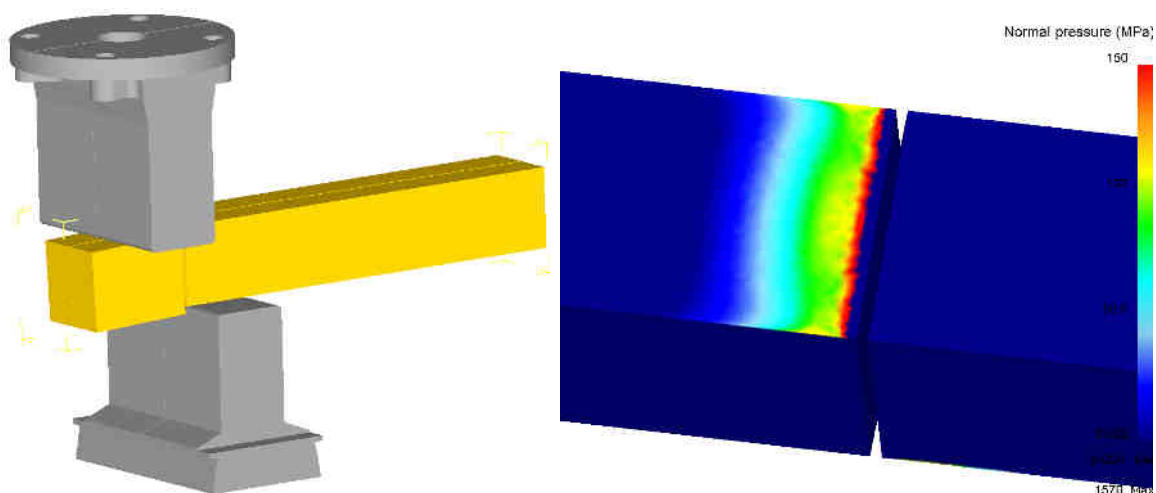


Obrázek 59 Naseknutí materiálu

Z průběhu tvářecí síly je vidět, že největší síla bude na začátku stříhání, poté bude pozvolna klesat vzhledem ke zmenšujícímu se průřezu materiálu. Z následujícího obrázku je vidět hodnota poloviční síly 11.7 MN, což odpovídá síle 23,4 MN.



Obrázek 60 Průběh síly a model tváření v Deformu 3D

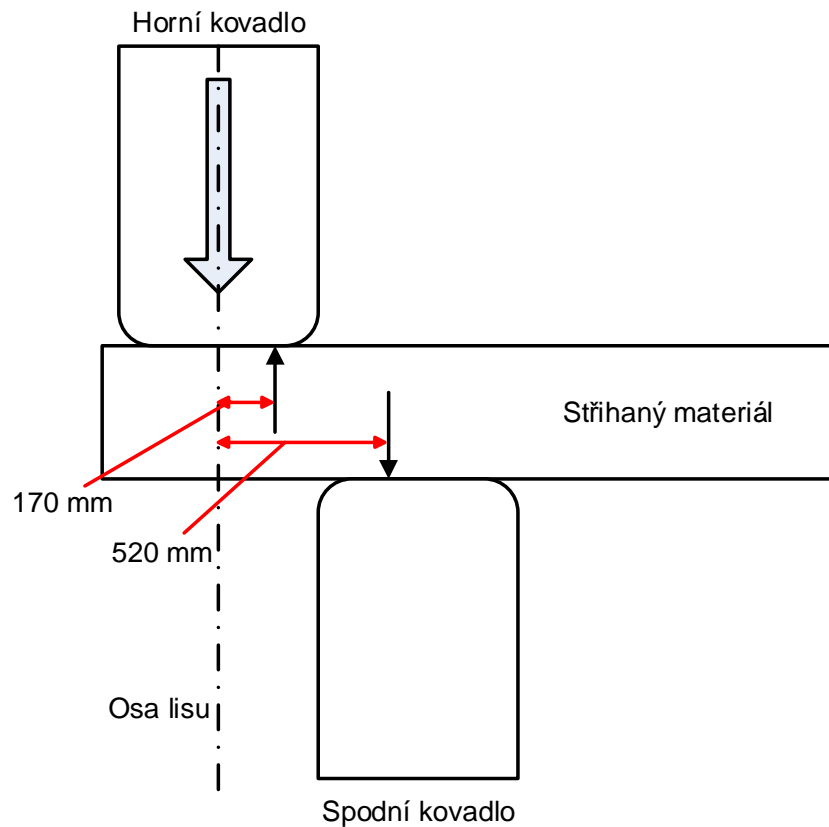


Obrázek 61 Stříhaný materiál a rozložení kontaktního tlaku

9.3.2 Odečtení dat z programu Deform 3D a stanovení působíště výsledné síly

Jak je již vidět ze schématu stříhání, vzhledem k přesazení kovadel, není působíště síly na horním a spodním kovadle stejné. V programu Deform 3D je proto nejprve určena vzdálenost působíště síly od hrany kovadla, která je pro obě kovadla stejná, a následně dopočítána hodnota excentricity pro spodní a horní kovadlo.

Výsledné působíště síly je u spodního kovadla, které je posunuto, 520mm od osy lisu a u horního kovadla, které je stále pevně uchyceno ve středu pohyblivé traverzy, je excentricita 170 mm.

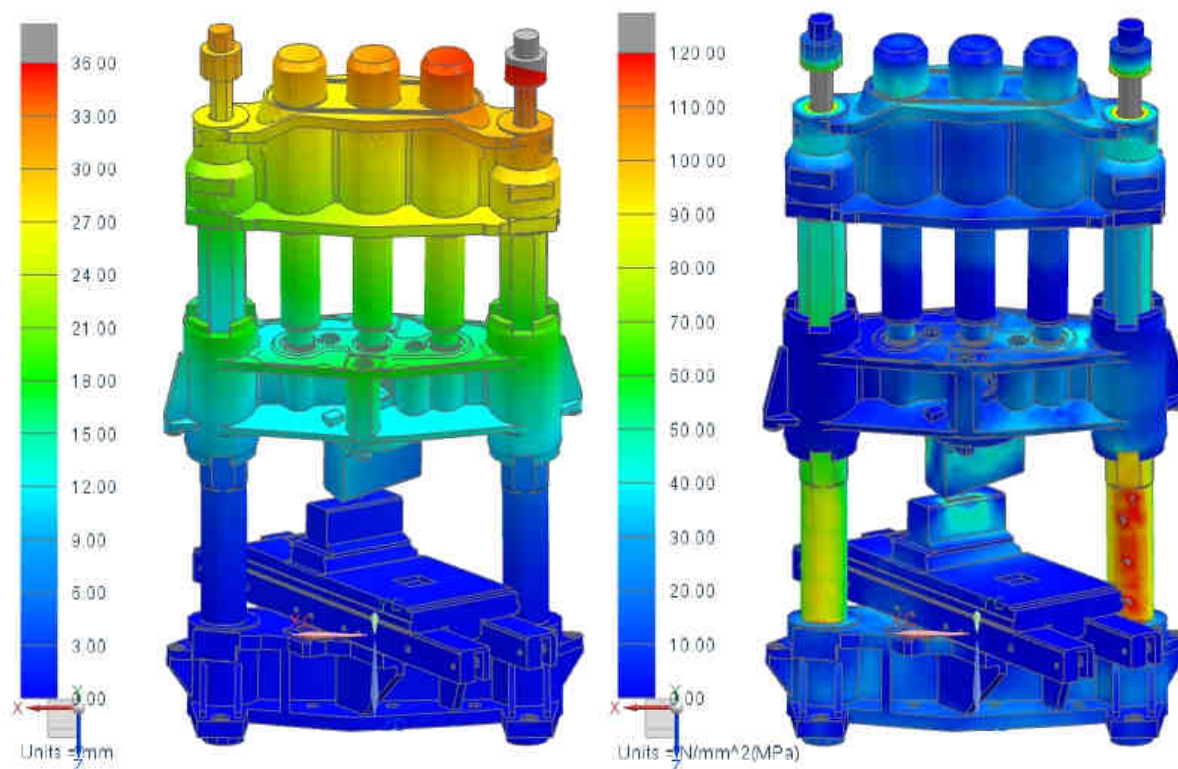


Obrázek 62 Znázornění excentricit na kovádlech

9.3.3 Zatížení konstrukce lisu při stříhání

Získaná data ze simulace provedené v programu Deform, byla zadána do pevnostní analýzy rámu stroje. Okrajové podmínky výpočtu jsou voleny stejné jako v případě výpočtů zatížení při technologické operaci prodlužování.

Na následujících obrázcích je vidět rozložení namáhání konstrukce a celkové posunutí. Nejvíce zatíženou částí rámu jsou opět sloupky lisu, na kterých je patrné vysoké ohybové namáhání. Nejvyšší hodnoty redukovaného napětí dosahují až 120 MPa a celkové posunutí prostředního válce lisu 35 mm.



Obrázek 63 Výpočet – stříhání - vlevo posunutí [mm], vpravo namáhání [MPa]

9.4 Porovnání technologických operací

Porovnáním předem vybraných technologických operací pro vybraný dvousloupový hydraulický lis je vidět jak ovlivňuje namáhání konstrukce stroje zatížení a excentricita zatížení. Jelikož je zřejmý významný vliv excentricity, výpočet pěchování již nebyl proveden. Případně lze využít výpočet prodlužování celou plochou kovádla.

V následujících dvou tabulkách jsou shrnuty vstupní parametry výpočtů a jejich výstupy.

Technologie	Síla [MN]	Excentricita [mm]	Moment [MN*m]
Prodlužování „1“	50	9	450
Prodlužování „3/4“	46	26	1196
Prodlužování „1/2“	36	130	4680
Prodlužování „1/4“	25	222	5550
Stříhání	23	170	3910

Technologie	Posunutí válců [mm]	Red. napětí na sloupech [MPa]
Prodlužování „1“	2	38
Prodlužování „3/4“	3	47
Prodlužování „1/2“	15	70
Prodlužování „1/4“	18	85
Stříhání	35	120

V případě prodlužování je vidět lineárně narůstající zatížení vlivem excentricity. V případě stříhání je hodnota ohybového momentu na horním kovadle nižší než v případě prodlužování avšak výsledné namáhání větší. Tato skutečnost je způsobena rozdílným umístěním stříhaného kusu materiálu. Jelikož je spodní kovadlo posunuté ze středu (viz obrázek 66), aby fungovala kovadla jako „nůžky“, materiál se přes spodní kovadlo ohýbá, což způsobuje ve skutečnosti vyšší namáhání než v případě prodlužování.

Je zřejmé, že ani porovnání velikosti zatížení spolu s hodnotou excentricity nezaručuje, že nedojde k přetížení. Je tedy nutné brát v úvahu i vliv samotné technologické operace na konkrétní stroj. Viz uvedený příklad stříhání.

9.5 Shrnutí zjištění v kapitole hydraulické lisy

V této kapitole byly analyzovány možné provozní stavy hydraulického lisu CKV o síle 50 MN, který reprezentuje dnes hojně používané dvousloupové konstrukce hydraulických lisů. Je zřejmé, že každý dvousloupový lis má lehce odlišnou konstrukci, avšak rozdíly nejsou, vzhledem k porovnávání namáhání od jednotlivých technologických operací, tolik podstatné.

Patrný rozdíl by nastal v případě, pokud by bylo provedeno porovnání se čtyřsloupovou variantou lisu. Tyto lisy lépe snášejí excentrické zatížení. Podrobná analýza čtyřsloupových lisů již nebyla provedena, jelikož by se jednalo o totožný postup jako u dvousloupové varianty.

Postup, kterým byly aplikovány okrajové podmínky od technologické operace, je možné aplikovat na každou MKP analýzu tvářecího stroje.

V případě využívání konkrétního lisu v kovárně na „maximum“, je vhodné provést podle uvedeného postupu analýzu zatížení od konkrétních používaných operací, při kterých hrozí pravidelné přetěžování a ve výsledku únavové poškození konstrukce.

Výsledným shrnutím by se dalo konstatovat, že velikost lisovací síly není tolik podstatná v porovnání k velikosti excentricity. Nelze předpokládat, že snížením síly můžeme dovolit větší excentricitu!

10 Analýza chování klikového kovacího lisu ve vztahu k okrajovým podmínkám výpočtu

Po podrobné analýze hydraulického lisu ve vztahu k prováděným technologickým operacím je přistoupeno k analýze klikového lisu. Oproti hydraulickým lisům nejsou mechanické lisy natolik univerzálními stroji, aby mohlo být provedeno porovnání několika rozdílných operací. Mechanické lisy jsou využívány vesměs pro sériovou výrobu, z tohoto vyplývá vyšší úroveň specializace zařízení.

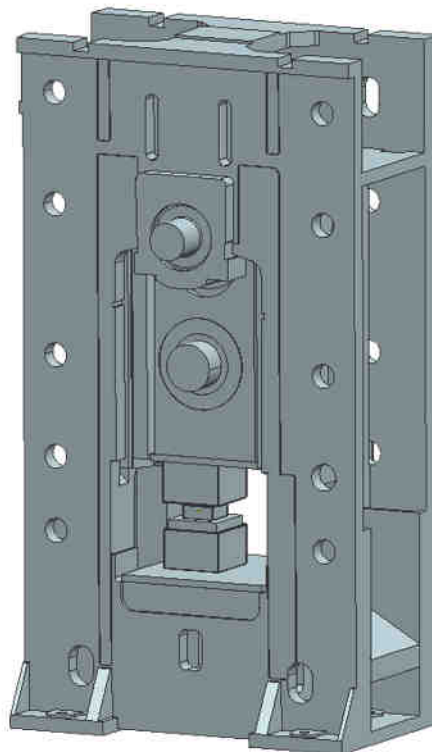
Ze specifického způsobu použití se kladou i rozdílné požadavky na konstrukci stroje. V tomto případě bude provedena analýza konkrétního vybraného lisu spolu s jedním produkovaným výkovkem. Tato analýza bude klást důraz na stanovení přesnějších okrajových podmínek, než jsou dosud používané.

V současnosti se k analýzám konstrukcí mechanických lisů využívají statické výpočty nezahrnující vliv času. Takové výpočty uvažují jednu polohu mechanismu stroje, kde je obvykle aplikováno zatížení jmenovitou silou. Jelikož se ovšem jedná o stroje pracující s relativně vysokým počtem zdvihů (například 60/min.) dynamické účinky nejsou nezanedbatelné.

Z uvedeného důvodu je dále popsáno nové řešení výpočtu se zahrnutím dynamických vlivů v průběhu celého pracovního zdvihu stroje. Výpočet je také porovnán se současným analytickým i výpočtem pomocí metody konečných prvků.

10.1 Volba simulovaného případu

Pro potřeby simulace byl zvolen klikový lis se jmenovitou silou 16 MN (1 600t) s excentrovou hřídelí uloženou zepředu dozadu. Jedná se o jednobodový lis určený pro postupové zápustkové kování.



Obrázek 64 Model lisu se jmenovitou silou 16 MN

Za vhodnou technologickou operaci je zvoleno zápustkové kování za tepla. Výkovkem je polotovar ojnice, která je na těchto strojích běžně produkována.



Obrázek 65 Výkovek ojnice

10.2 Simulace tváření ojnice

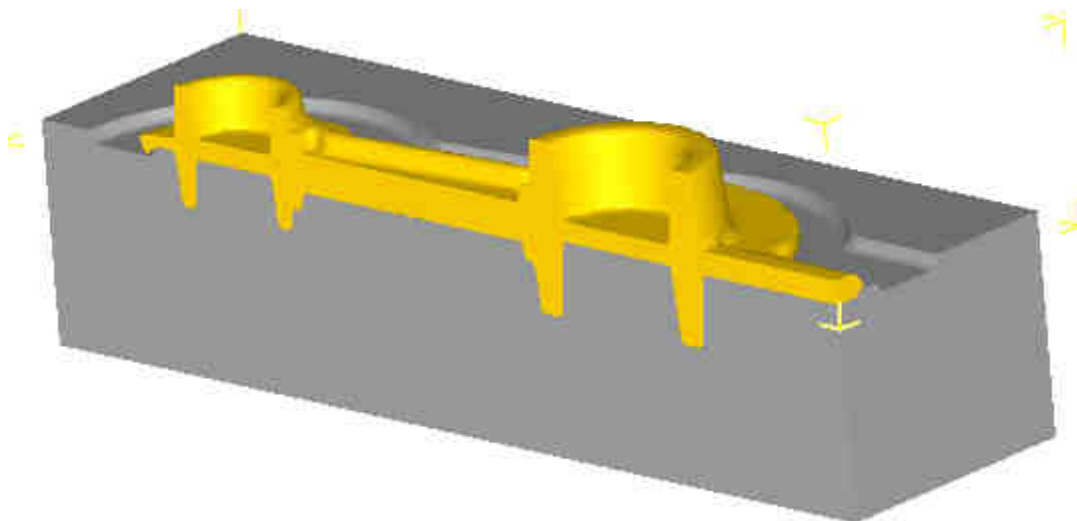
Aby mohl být aplikován správné okrajové podmínky výpočtu, je nejprve nutné analyzovat vlastní technologickou operaci, obdobně jako v případě hydraulického lisu.

Simulace technologie tváření byla provedena pro získání průběhu tvářecí síly, která bude použita jako zátěžná síla v MKP simulaci zatížení stroje i analytickém výpočtu.

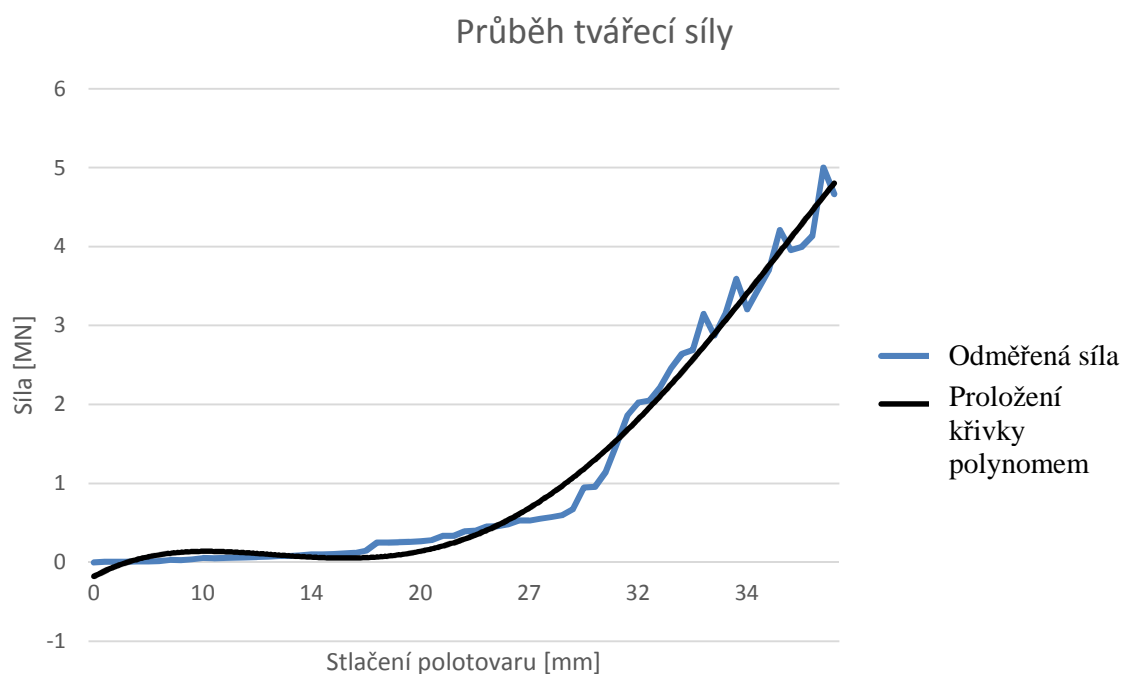
Parametry simulace technologie tváření:

- Materiál ČSN 12060 (AISI 1055)
- Teplota 1100°C
- Hmotnost výkovku 8 kg

Maximální síla 4 MN je dosažena při stlačení polotovaru o 34,5 mm. Simulace byla provedena pro ¼ model, proto i síla 4 MN odpovídá simulaci tváření ¼ výkovku. Pro celý výkovek je tedy síla 16 MN.



Obrázek 66 Výkovek ojnice při simulaci tváření (zobrazena ¼)



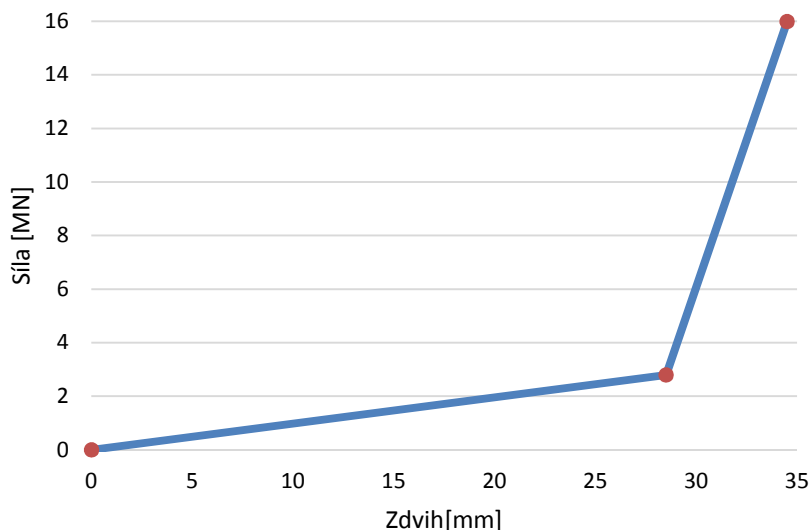
Obrázek 67 Průběh tvářecí síly odměřené v Deform 3D.

Tvářecí síla odměřená při simulaci je nahrazena pomocí dvou přímek. Takto zjednodušený průběh síly je dále vložen do simulace zatížení stroje. Tyto přímky lze definovat jejich koncovými body, které jsou:

Stlačení polotovaru – 0 mm; Síla – 0 MN

Stlačení polotovaru – 29 mm; Síla – 2,8 MN

Stlačení polotovaru – 35 mm; Síla – 16 MN



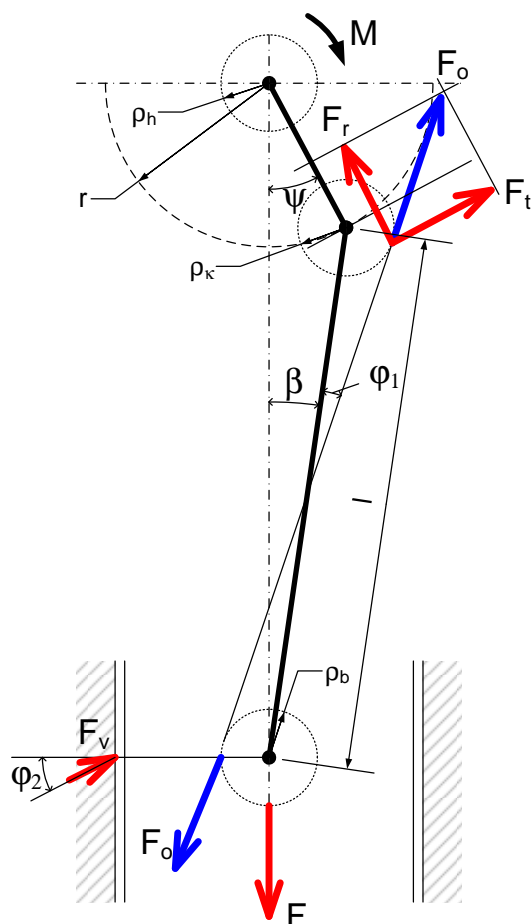
Obrázek 68 Zjednodušení tvářecí síly

Porovnáním grafů na Obr. 67 a 68 je vidět, že toto zjednodušení se výrazně neodchyluje od naměřených hodnot.

10.3 Standardní analytický výpočet

Standardní analytický výpočet vychází z mechaniky klikového mechanismu a předpokládá stav, kdy je jmenovitá síla vyvozena při natočení klikové hřídele do jmenovitého úhlu před spodní úvratí.

Hledaným výsledkem tohoto výpočtu je potřebný hnací moment klikové hřídele, který se skládá z momentu potřebného pro otočení klikového mechanismu a z momentu potřebného pro překonání třecích ztrát.



Obrázek 69 Silový rozklad na klikovém mechanismu

Parametry klikového mechanismu:

jmenovitá síla	j	F	6	1	N	M
jmenovitý úhel		ψ	5	1		$^{\circ}$
zdvih		h	70	3	m	m
délka ojnice		l	00	9	m	m
průměr hřídele	h	d	60	4	m	m
průměr excentru	k	d	40	7	m	m
průměr čepu v beranu	b	d	20	5	m	m
koeficient tření	č	f	,05	0		1

Rovnováha sil na beranu:

$$x: F_O \cdot \sin(\beta + \varphi_1) = F_V \cdot \cos \varphi_2 \quad F_V = \frac{F_O \cdot \sin(\beta + \varphi_1)}{\cos \varphi_2}$$

$$y: F + F_V \cdot \sin \varphi_2 = F_O \cdot \cos(\beta + \varphi_1)$$

$$F + \frac{F_O \cdot \sin(\beta + \varphi_1)}{\cos \varphi_2} \cdot \sin \varphi_2 = F_O \cdot \cos(\beta + \varphi_1)$$

$$F_O = \frac{F \cdot \cos \varphi_2}{\cos(\beta + \varphi_1) \cdot \cos \varphi_2 - \sin(\beta + \varphi_1) \cdot \sin \varphi_2}$$

$$F_O = \frac{F \cdot \cos \varphi_2}{\cos(\beta + \varphi_1 + \varphi_2)}$$

$$\psi = 15^\circ$$

Z trojúhelníků

$$\sin(\beta) = \frac{\sin(\psi) \cdot \frac{h}{2}}{l} = \frac{\sin(15) \cdot \frac{370}{2}}{900}$$

$$\beta = 3,05^\circ$$

Třecí úhel čepového tření φ_1

$$\sin \varphi_1 = \frac{\rho_k + \rho_b}{l} = \frac{(\frac{d_k}{2} + \frac{d_b}{2}) \cdot f}{l} = \frac{(\frac{740}{2} + \frac{520}{2}) \cdot 0,05}{900}$$

$$\varphi_1 = 2^\circ$$

Třecí úhel vedení φ_2

$$\text{tg } \varphi_2 = 0,05$$

$$\varphi_2 = 2,86^\circ$$

$$F_O = \frac{F \cdot \cos \varphi_2}{\cos(\beta + \varphi_1 + \varphi_2)} = \frac{16 \cdot 10^6 \cdot \cos 2,86}{\cos(3,05 + 2 + 2,86)} = 16,13 \text{ MN}$$

Rovnováha sil a momentů na klice

$$M = F_t \cdot \left(\frac{h}{2} + \frac{d_k}{2} \cdot f \right)$$

$$F_t = F_O \cdot \cos[90 - \psi - (\beta + \varphi_1)]$$

$$M = F_o \cdot \cos[90 - \psi - (\beta + \varphi_1)] \cdot \left(\frac{h}{2} + \frac{d_k}{2} \cdot f \right) =$$

$$= 16,13 \cdot \cos[90 - 15 - (3,05 + 2)] \cdot \left(\frac{370}{2} + \frac{740}{2} \cdot 0,05 \right) = 1,125 \text{ MNm}$$

Třecí moment v ložiskách kliky

$$M_L = F_o \cdot \frac{d_h}{2} \cdot f = 16,13 \cdot \frac{460}{2} \cdot 0,05 = 0,185 \text{ MNm}$$

Celkový moment

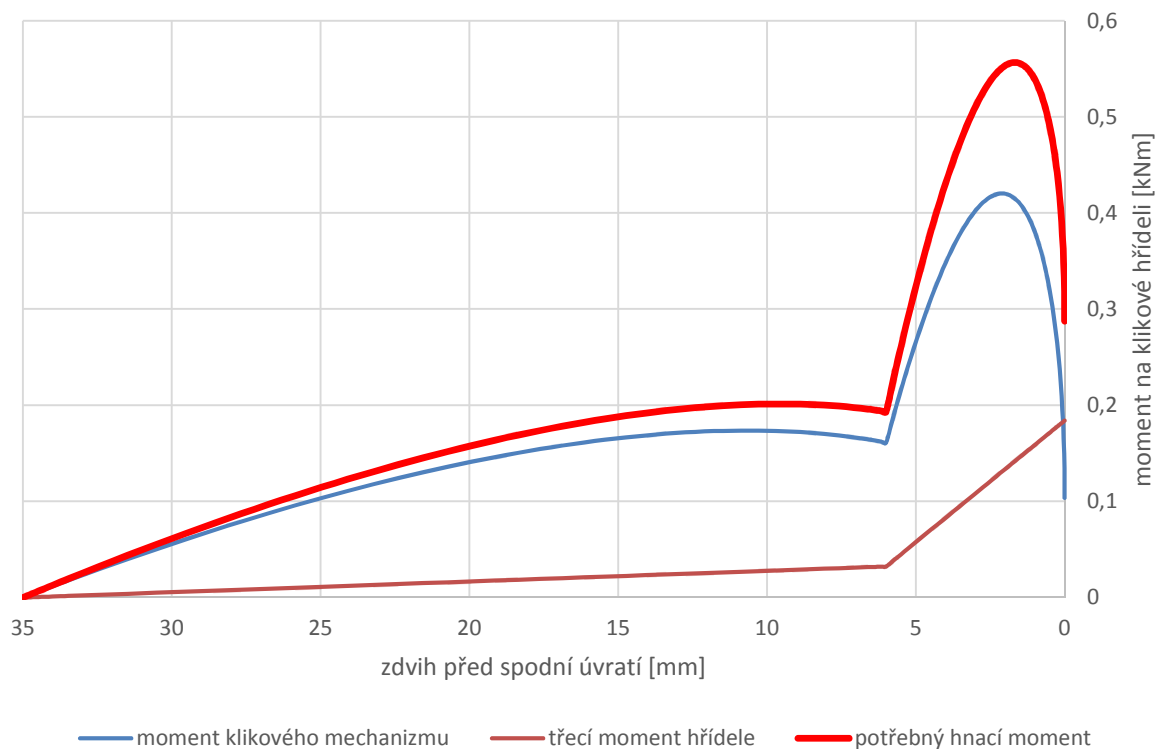
$$M_c = M + M_L = 1,125 + 0,185 \cong 1,3 \text{ MNm}$$

$$M_c = 1,3 \text{ MNm}$$

10.4 Analytický výpočet s proměnnou silou

Rozšířením předchozího výpočtu o konkrétní zadání průběhu síly při daném zdvihu se lze pomocí analytického výpočtu dopočítat k průběhu hnacího momentu. Výpočet probíhá dle shodných vztahů jako výpočet předchozí s tím rozdílem, že je proveden pro několik kroků (v našem případě je využit MS Excel). Protože ve výpočtu neuvažujeme deformaci pracovního prostoru stroje od působení tvářecí síly, je přímo převedeno stlačení polotovaru na zdvih klikového lisu.

Na následujícím obrázku jsou znázorněny průběhy momentů v závislosti na zdvihu beranu před spodní úvratí.



Obrázek 70 Průběh momentů v závislosti na zdvihu před spodní úvratí

Z porovnání výsledků s hodnotou momentu získanou pro podmínky vyvození jmenovité síly při jmenovitém úhlu je zřejmý rozdíl. To je způsobeno rozdílným popisem činnosti stroje.

Lze tedy zjednodušeně říci, že stroj nedosáhl parametrů předchozího výpočtu, jelikož není nutné dosáhnout jmenovité síly při jmenovitém úhlu.

Kdyby v reálném provozu stroje došlo k dosažení jmenovité síly ve jmenovitém úhlu natočení, tak by dalším otáčením klikového mechanismu došlo ke značnému přetížení stroje. Z toho vyplývá nereálnost uvažovaného předpokladu standardního analytického výpočtu.

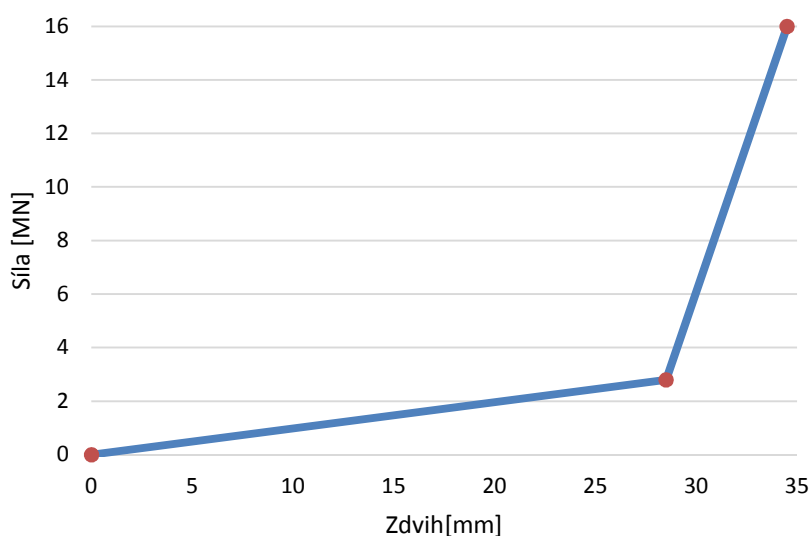
10.5 Virtuální simulace lisu

Stejnými předpoklady, jaké jsou uvedeny v případě analytických výpočtů, je možné ovlivnit i virtuální simulace založené na metodě konečných prvků. Virtuální simulace umožňuje zahrnout i vliv tuhosti stroje, která byla v analytickém výpočtu zanedbána vzhledem k její relativně obtížnému stanovení analytickou cestou.

10.5.1 Zatížení modelu - implementace tvářecí charakteristiky

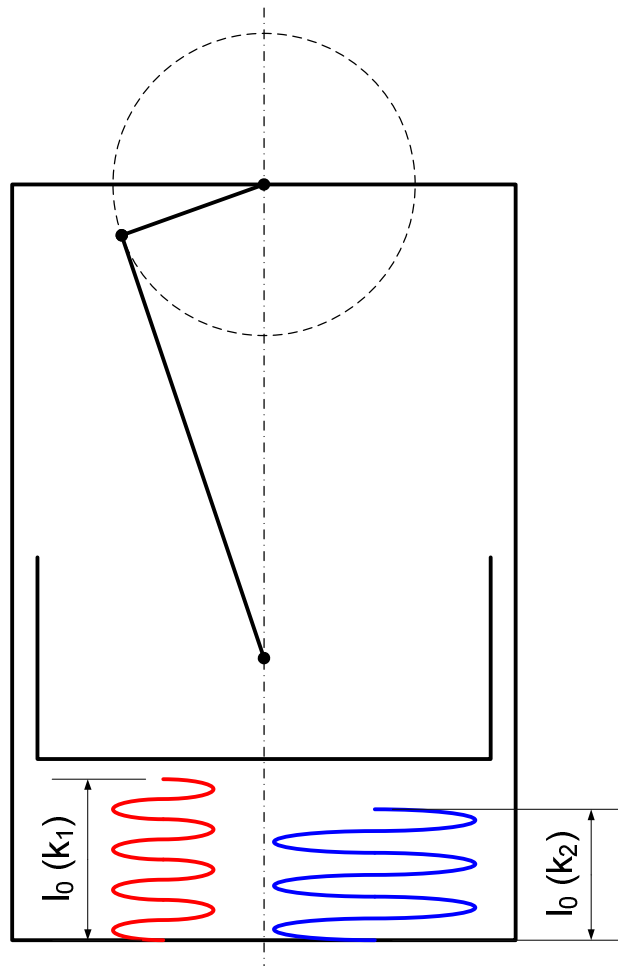
Virtuální simulace je provedena pro model sestavy lisu jako kontaktní úloha. Do výpočtu je odměřená tvářecí charakteristika implementována jako zatížení stroje. Celá analýza je provedena s uvažováním účinků gravitace a dynamických sil.

Tvářecí charakteristika odměřená při simulaci byla nahrazena pomocí dvou lineárních křivek, stejně jako v analytickém výpočtu. Vlastní vyvození síly je dáno stlačováním materiálu mezi kovádky, které je popsáno dále.



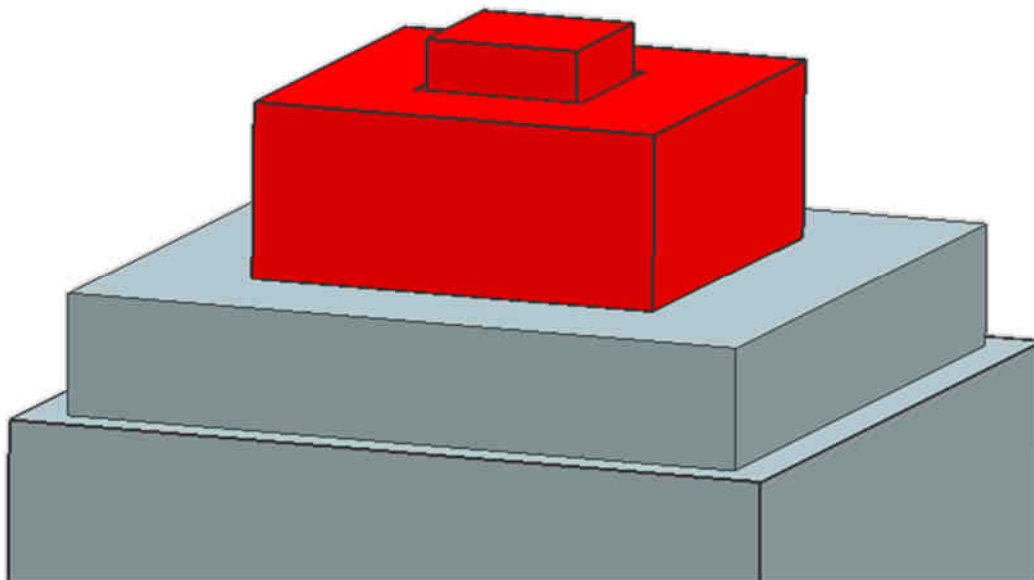
Obrázek 71 Náhrada tvářecí charakteristiky

Jelikož se tvářecí síla vyvozuje stlačováním materiálu mezi kovádky, musí být materiál zvolen a rozmístěn tak, aby se jeho stlačováním vyvozoval odpor (síla) odpovídající odměřené síle ze simulace tváření. Jedná se tedy o stanovení odpovídající tuhosti stlačovaného kusu. Tuhost stlačovaného materiálu lze popsat jako pružinu. Protože je třeba po určitém stlačení materiálu (zdvihu) tuhost zvýšit, jsou použity dvě nesejně dlouhé paralelně zařazené pružiny.



Obrázek 72 Vložení síly do lisu pomocí dvou pružin

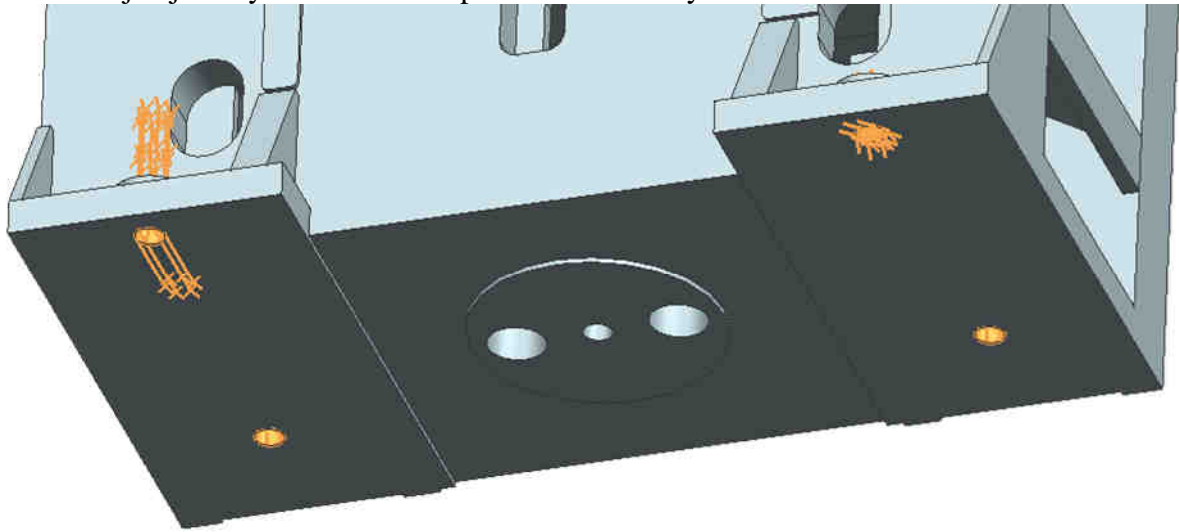
Pružiny reprezentující stlačovaný kov jsou nahrazeny izotropním materiálem s modulem pružnosti 3,5 GPa a poissonovou konstantou 0,33.



Obrázek 73 Náhrada pružin

10.5.2 Uchycení stojanu

Stojan je uchycen v otvorech pro kotevní šrouby.

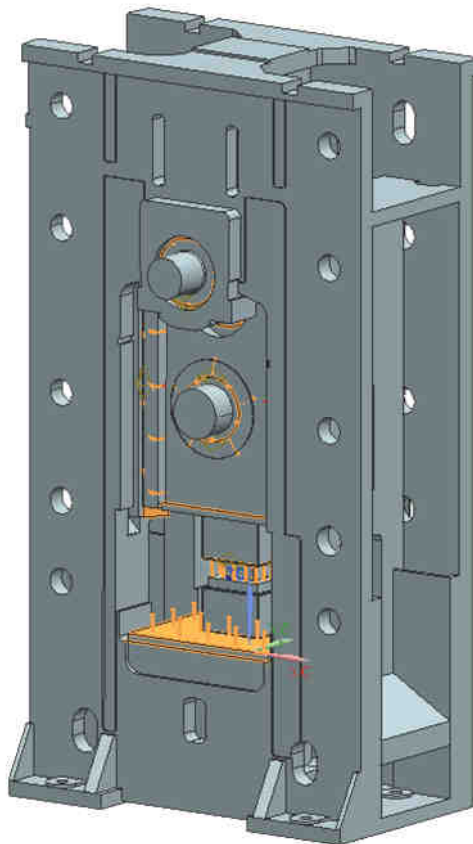


Obrázek 74 Ukotvení lisu

10.5.3 Vazby mezi tělesy

Všechny vazby mezi tělesy jsou řešeny jako kontaktní úloha s hodnotou koeficientu tření 0,05.

Vůle ve vedení beranu byla stanovena na 0,2 mm v nezátíženém stavu.

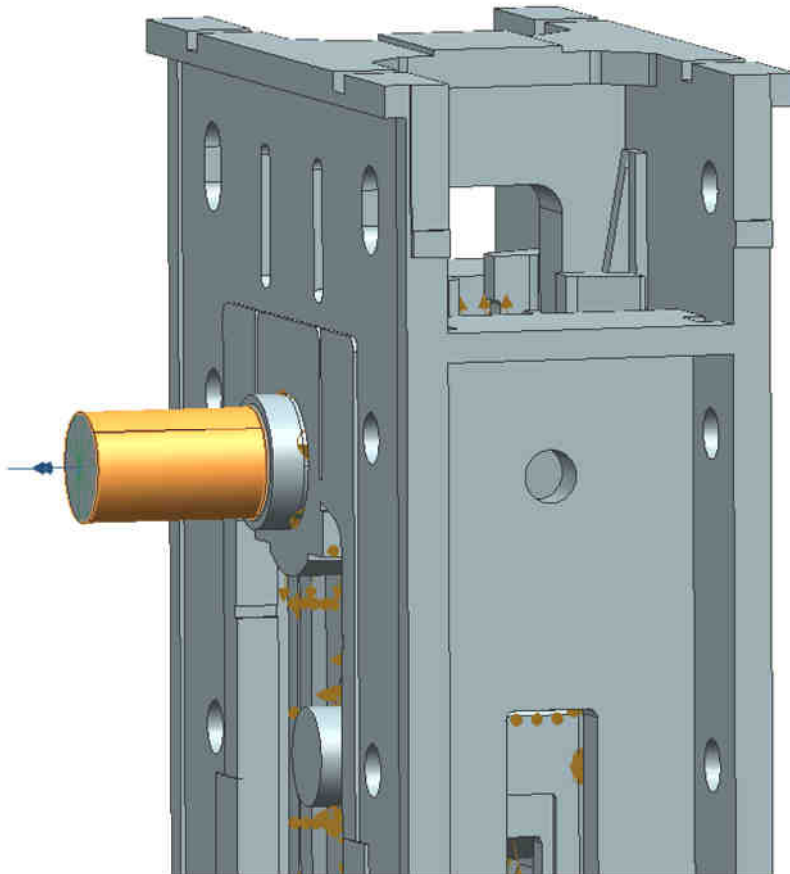


Obrázek 75 Znázornění kontaktů mezi tělesy

10.5.4 Definice pohybu

Pohyb klikového mechanismu je odvozen od rychlosti otáčení excentrového hřídele. Rychlost je stanovena na 1 ot./s (60 ot./min.). Na hřídeli je definováno konstantní úhlové posunutí přes rigidovou ružici, která je navázána v místě hřídele, kde dochází k připojení k pohonu lisu.

Klikový mechanismus je zatěžován z nulové úhlové rychlosti. Tudíž se v prvních krocích výpočtu může projevit dynamické chování mechanismu (nárůst momentu v důsledku rozběhu).



Obrázek 76 Točivý moment

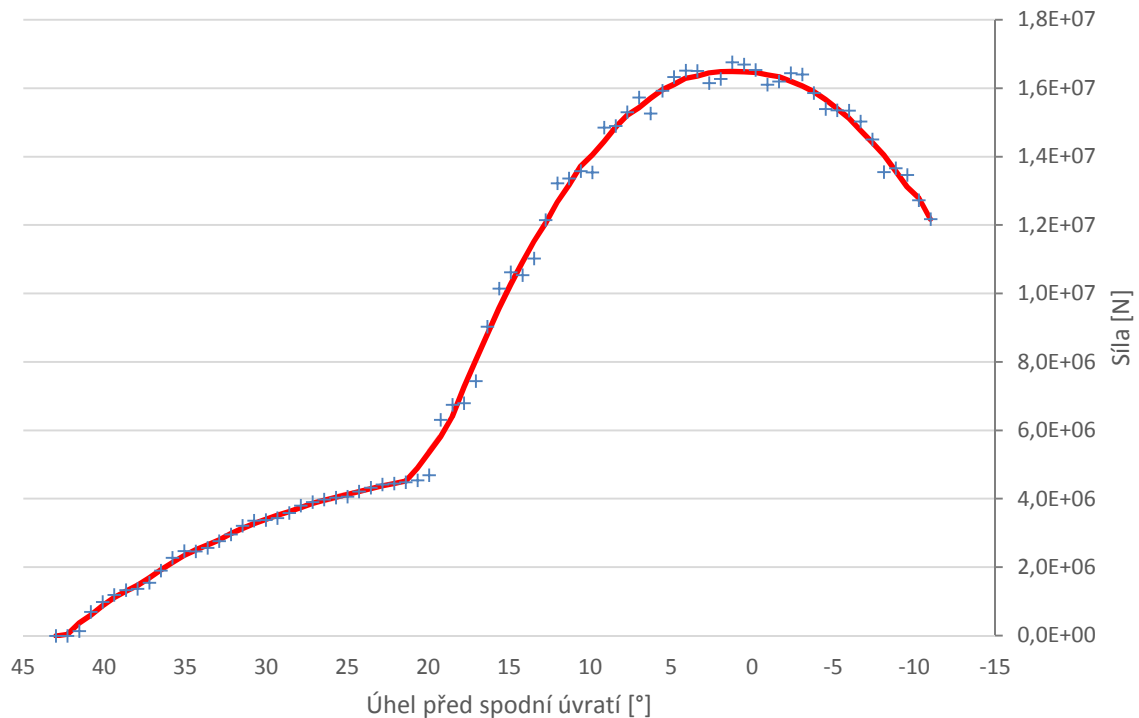
Výpočet vzhledem k jeho náročnosti neuvažuje celý zdvih lisu, ale je proveden pouze v oblasti, ve které dochází k tváření materiálu. V tomto konkrétním případě se jedná o úhel přibližně 40° před spodní úvratí. Vlastní výpočet začíná v úhlu natočení 43° před spodní úvratí a končí 12° za spodní úvratí.

Výpočet se odehrává v celkovém čase 0,15s. Tento časový úsek je rozdělen na jednotlivé kroky po 0,002s. Celkový úhel otočení, který hřídel vykoná, činí 55° .

10.6 Výsledky analýzy

10.6.1 Síla na beranu

Následující graf zobrazuje průběh síly na nástroji odečtený ze simulace v závislosti na natočení klikové hřídele. V grafu jsou znázorněny skutečně odečtené hodnoty (křížky), které jsou proloženy křivkou (aritmetický průměr dvou okolních hodnot).

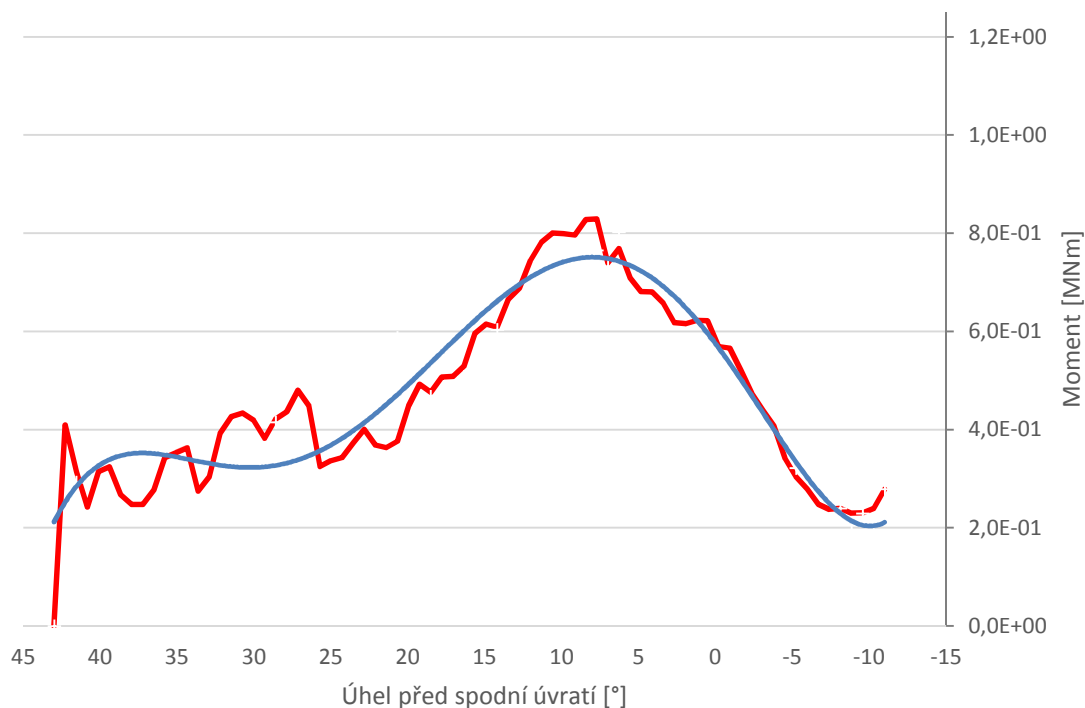


Obrázek 77 Výstupní síla na nástroji

Maximální vyvozená síla na lisu je 16,8 MN (1,24° před spodní úvratí), což znamená, že požadovaná hodnota (16 MN) byla lehce překročena.

10.6.2 Moment na excentrovém hřídeli

Moment je odměřován z hodnoty smykového napětí na povrchu hřídele před prvním ložiskem. Ze znalosti hodnoty napětí a průměru hřídele je odvozena hodnota točivého momentu.



Obrázek 78 Moment na hřídeli

Z počátku průběhu momentu je zřejmý prudký nárůst momentu s následným mírným poklesem, který je způsoben dynamikou rozběhu klikového mechanismu. Po ustálení otáčení moment již plynule narůstá. Ve spodní úvrati už moment výrazně klesá (klesá moment potřebný pro vyvození tvářecí síly vlivem převodu klikového mechanismu a naopak rostou pasivní odpory).

10.7 Shrnutí zjištění v kapitole analýza chování klikového kovacího lisu ve vztahu k okrajovým podmínkám výpočtu

Kapitola shrnuje možnosti analytického výpočtu klikového mechanismu ve vztahu ke stanovení základních parametrů lisu. Jeden výpočet vychází ze, v současnosti používaného postupu, stanovení potřebného momentu pohonu pro vyvození jmenovité síly při natočení klikového mechanismu do jmenovitého úhlu. Druhý z analytických výpočtů vychází pouze z dosažení jmenovité síly ve spodní úvrati.

Z porovnání momentů obou výpočtů jsou zřejmé značné rozdíly. Prvním výpočtem zjištěná hodnota 1,3 MNm je více než dvojnásobná oproti hodnotě 0,56 MNm z druhého výpočtu.

Jak již bylo řečeno, kdyby v reálném provozu stroje došlo k dosažení jmenovité síly ve jmenovitém úhlu natočení, tak by dalším otáčením klikového mechanismu došlo ke značnému přetížení stroje. Z toho vyplývá nereálnost uvažovaného předpokladu.

Pro vlastní praktické použití klikových kovacích lisů by bylo vhodnějším parametrem kromě jmenovité síly ještě stanovení závislosti maximálního využitelného momentu v závislosti na zdvihu beranu místo údaje o jmenovitém úhlu. Respektive maximální síla při daném zdvihu, kdy dalším otáčením klikového mechanismu nebude hrozit přetížení stroje. Toto tvrzení však předpokládá obvyklý průběh síly při záпустkovém kování a správné seřízení stroje.

Údaj o jmenovitém úhlu by byl dobře využitelný například u lisů pro tažení plechů, kde nedochází k výraznému nárůstu síly v průběhu zdvihu beranu. Nikoli u lisů kovacích.

S ohledem na výše uvedené závěry bylo přistoupeno k virtuální simulaci časové úlohy metodou konečných prvků. Potřebný moment na klikové hřídeli dosáhl 0,8 MNm. Tato hodnota je v porovnání s analytickým výpočtem vyšší. Zvýšení momentu je dáno uvažováním elastických deformací všech částí stroje a z toho vyplývající potřeba většího natočení klikového mechanismu.

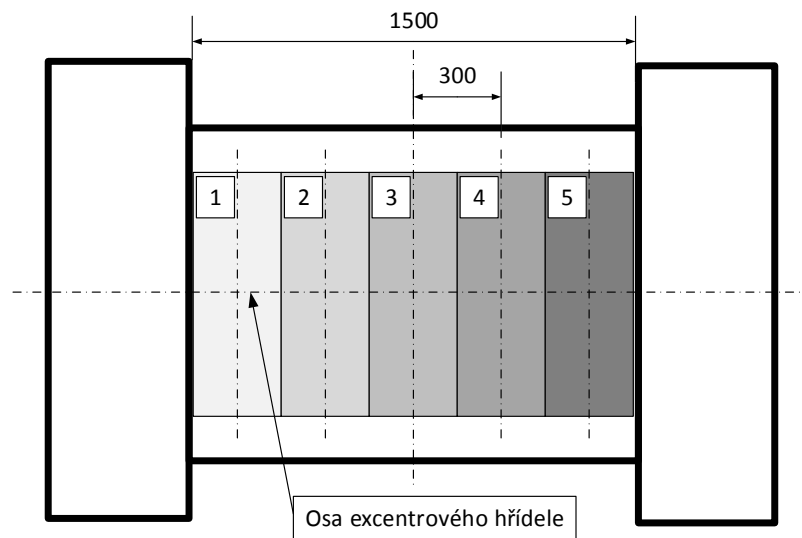
S přihlédnutím k uvedeným rozdílům se dá konstatovat, že analytický výpočet je v souladu s MKP výpočtem. Nevýhodou virtuální simulace se zahrnutím času je velká náročnost na výpočetní vybavení. Velkou výhodou je možnost stanovení namáhání konstrukce, deformací, atd. v celém pracovním zdvihu stroje.

11 Studie možností zvyšování produktivity kování s využitím rotačního tváření

Jak již bylo řečeno v kapitole v kapitole 8, ve všech oblastech průmyslu je kladen vysoký důraz na produktivitu a kvalitu všech procesů, které mají vysokou opakovanost – procesy v sériové výrobě.

Při zvyšování produktivity je nutné se zaměřit na nejslabší článek v automatizovaných linkách, kterým bývá vlastní kovací lis. Lis je volen s ohledem na kovaný díl, podle velikosti a tvarové složitosti.

Produktivita celé kovací linky je dána počtem kusů, které je schopen lis vyprodukovat za jednotku času. S rostoucím počtem potřebných úderů na vykování jednoho dílu produktivita úměrně klesá. Jelikož v celém pracovním prostoru lisu lze kovat pouze jeden kus.



Obrázek 79 Stůl lisu s pěti pozicemi

Produktivitu lze zvýšit buď použitím více paralelních lisů, což stojí nemalé investiční náklady, nebo snížit nutný počet úderů na vykování dílu. Zvýšit frekvenci úderů lisu většinou nejde s ohledem na technické možnosti lisu nebo na potřebný čas pro manipulaci s výkovkem mezi zápustkami.

Tyto problémy lze vyřešit použitím alternativního zařízení na převedení nebo nahrazení části úderů lisu do jiného stroje. Tvarování materiálu, ke kterému dochází v dutině 1 a 2, viz předchozí obrázek, je možno provést v jiném zařízení. Tímto krokem lze zmenšit lis na pouze tři operace, ve kterých dojde k finálnímu dotvarování dílu. Výsledkem je menší a levnější stroj a vyšší produktivita kovací linky.

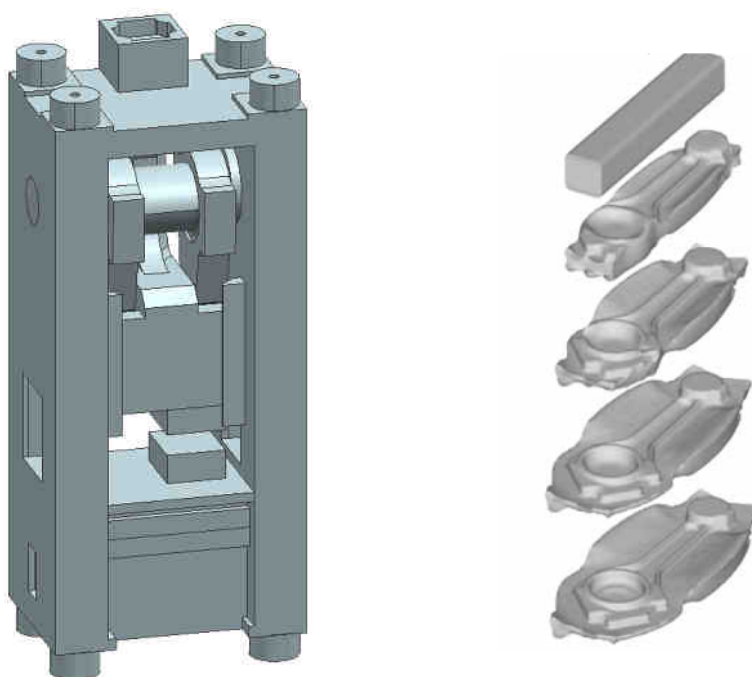
11.1 Technologický postup kování se zařazením předkovacích operací

Předkování materiálu má za účel především provést základní přerozdělení materiálu, před vložením do nástroje kovacího lisu. Volbou vhodného způsobu předkování je dále možné dosáhnout významné úspory materiálu a zároveň snížení síly a energie lisu.

V následujících kapitolách budou popsány a analyzovány dva nejpoužitelnější způsoby předkování materiálu, které budou dále porovnány.

11.1.1 Technologie bez předkování

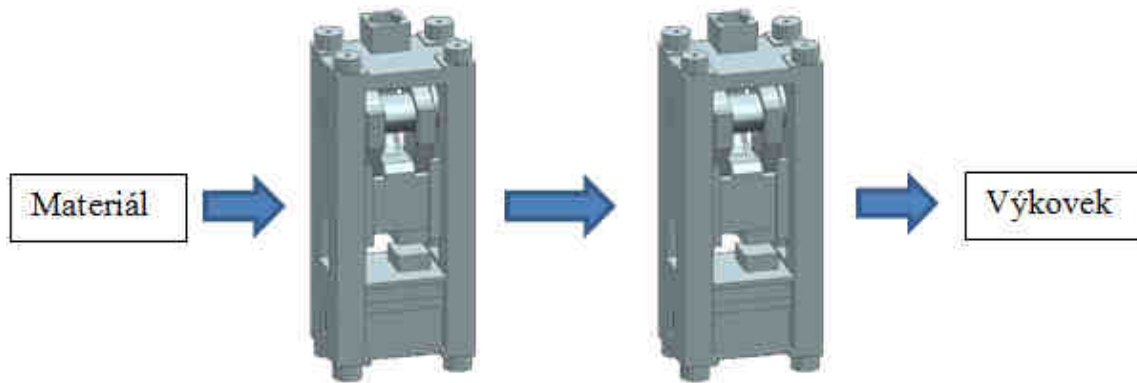
Všechny údery z výchozího polotovaru materiálu až po konečný výkovek jsou provedeny v postupové záпустce lisu. Pro zvolený případ výkovku ojnice musí rozměry pracovního prostoru lisu umožnit vykonat čtyři operace.



Obrázek 80 Lis spolu se znázorněním výkovku po jednotlivých úderech

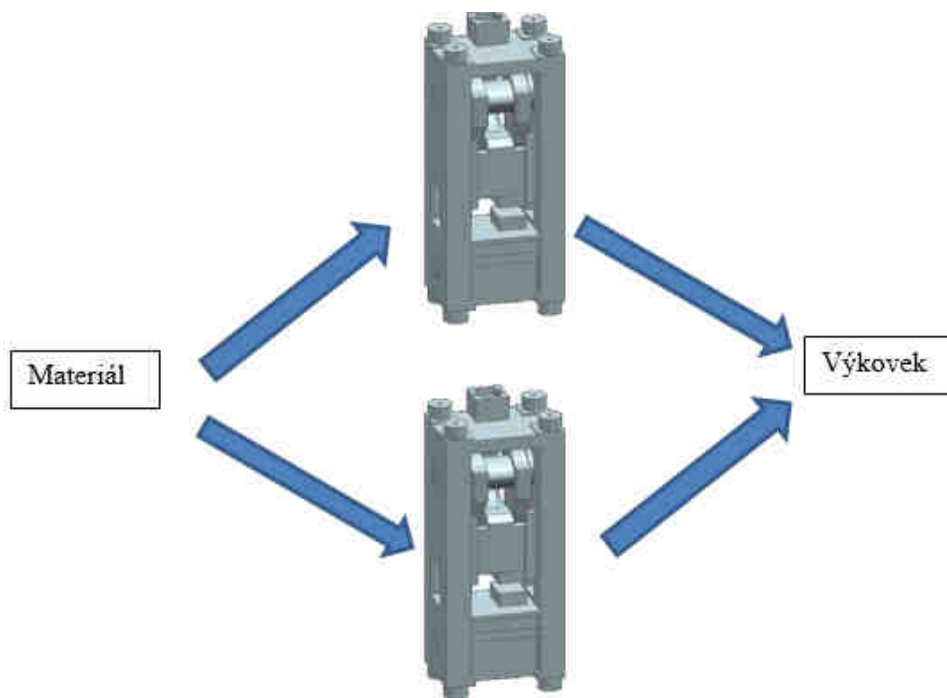
11.1.2 Použití sériově řazených lisů

Pro zvýšení produktivity můžeme použít dva lisy sériově řazené, které budou kovat postupně každý na dva údery. V takovémto případě dojde ke zdvojnásobení produktivity. Navíc je možné použít lisy s menším pracovním prostorem (polovičním) a tudíž i levnější. Oba lisy nemusí být ani o stejné síle.



Obrázek 81 Použití sériově řazených lisů

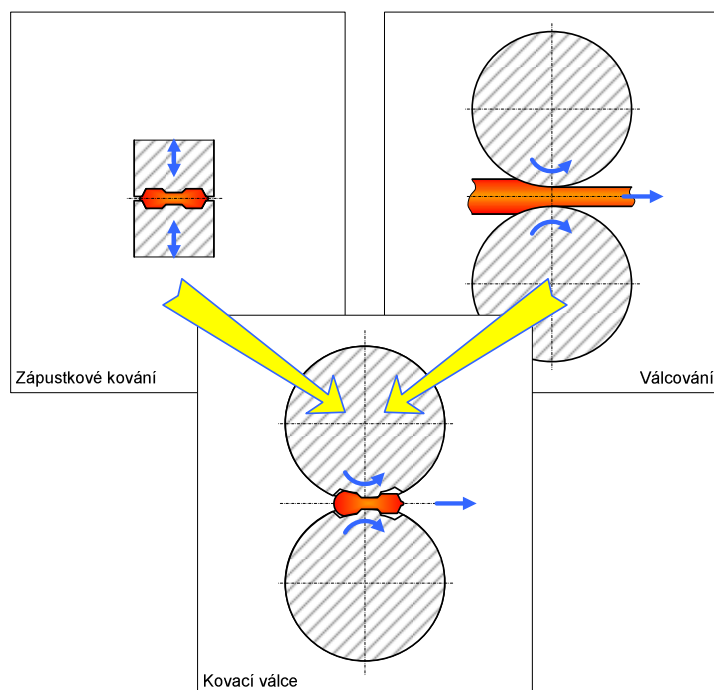
Stejná produktivita bude dosažena při dvou paralelních lisech, kde bude každý dělat čtyři údery. Avšak již musíme zachovat stejnou velikost lisů s původním jedním lisem.



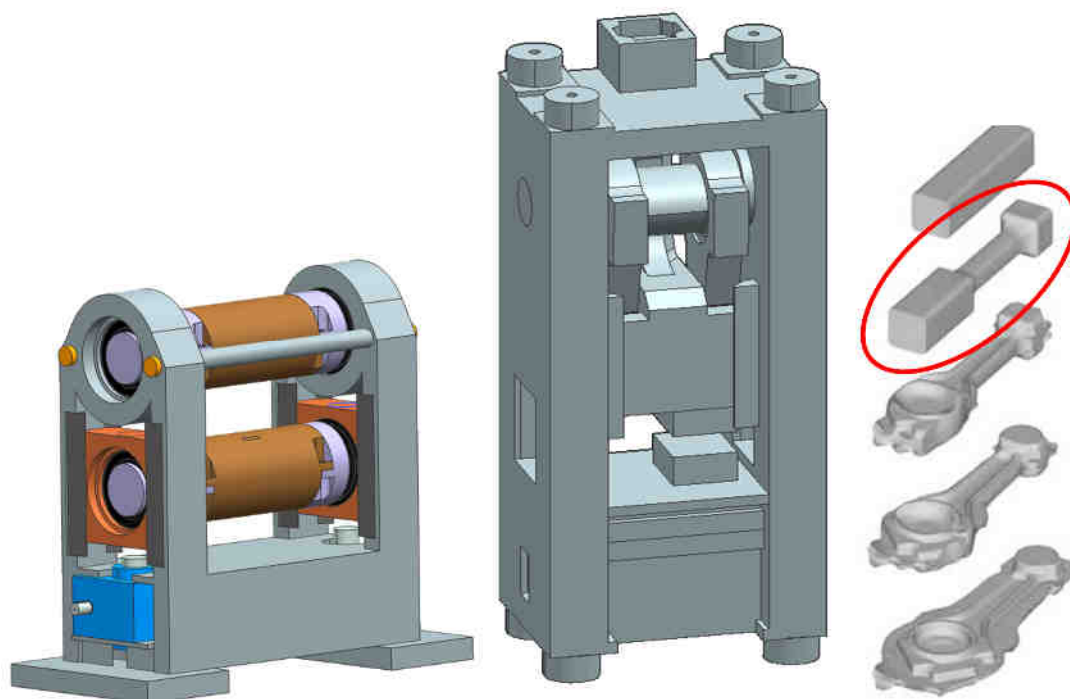
Obrázek 82 Použití paralelně řazených lisů

11.1.3 Technologie s předkováním na kovacích válcích

Tváření je provedeno několika průchody mezi kovacími válci. Při tomto druhu předkování je možné dosáhnout, v závislosti na tvaru nástroje kovacích válců, obecného i nekruhového tvaru předkovku.



Obrázek 83 Kovací válce vycházejí ze zápusťkového kování a válcování

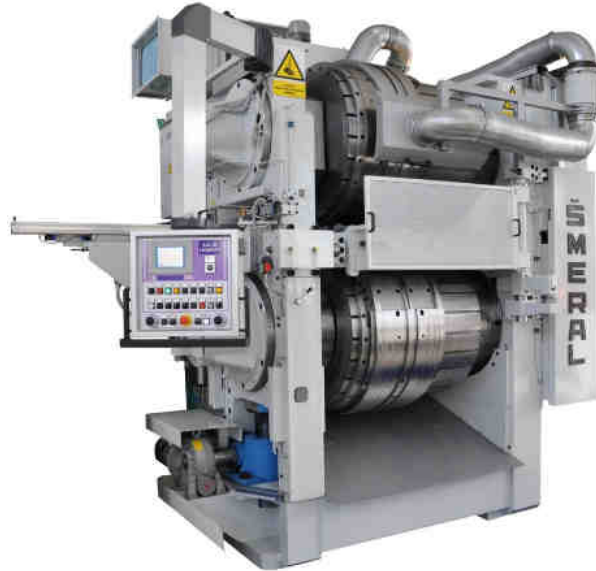


Obrázek 84 Kovací válce, klikový lis a výkovek v jednotlivých pozicích

11.1.4 Technologie s překováním pomocí příčného klínového válcování

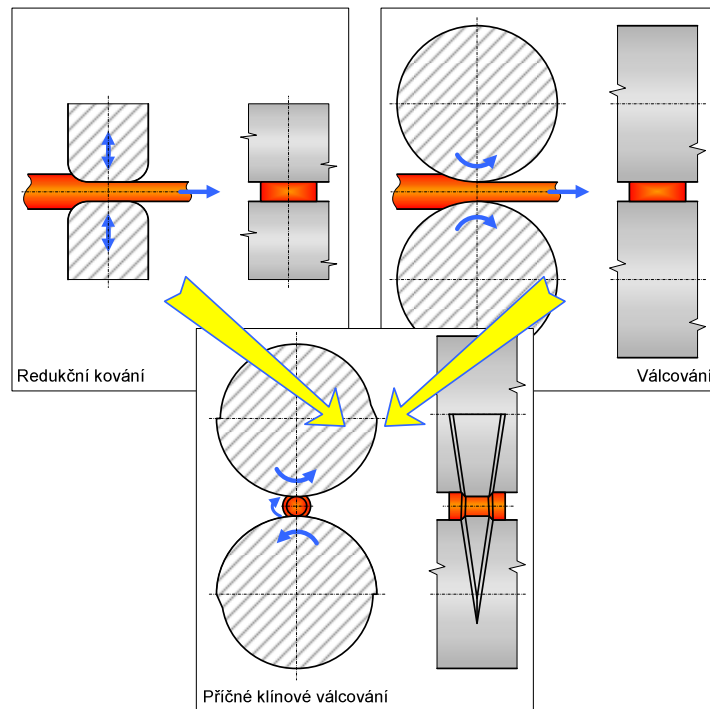
Protože se jedná o technologii, kde polotovar rotuje mezi rotujícími nástroji, je výsledný produkt vždy rotační.

Vstupním polotovarem je přířez z válcové tyčoviny. Technologií PKV lze vyprodukovat i finální produkty. Výhodou PKV je schopnost pracovat v režimu přesného kování, kdy jsou rozměrové tolerance nízké a produkt tak většinou nevyžaduje následné obrábění.



Obrázek 85 Stroj pro příčné klínové válcování a výkovek v průběhu válcování

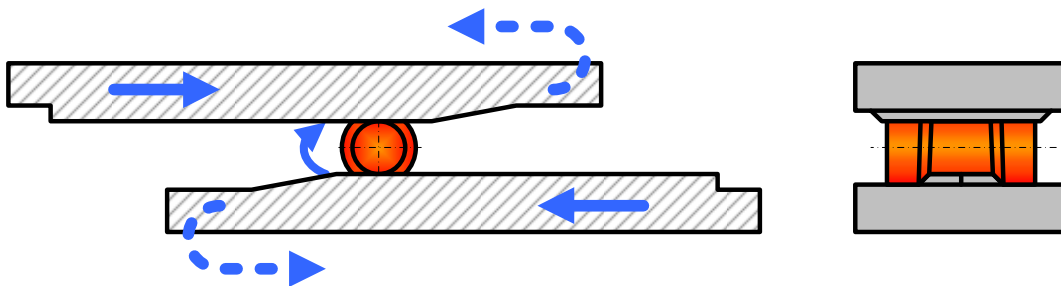
Technologie příčného klínového kování slučuje výhody redukčního kování a podélného válcování. Výhodou redukčního kování je dosažení relativně složitých tvarů a výhodou válcování je vysoká produktivita při rovnoměrnějším přenosu energie.



Obrázek 86 Příčné klínové válcování vychází z redukčního kování a válcování

Na rozdíl od válcování, kde se válce točí opačným směrem, a tím protahují polotovár mezi sebou, válce u příčného klínového válcování točí stejným směrem, tím je rotující materiál udržován mezi válci.

Stroje pro PKV se vyskytují i ve variantě s přímými nástroji.



Obrázek 87 Příčné klínové válcování s posuvným nástrojem

11.2 Porovnání obou variant pomocí virtuální simulace

Jelikož se v obou případech jedná o operace používané především pro předkování materiálu, v řadě případů je možné použít oba způsoby předkování se srovnatelnými výsledky. Aby byl usnadněn výběr jedné, či druhé technologie bude provedeno zhodnocení obou technologií a jejich vzájemné porovnání.

Porovnání bude spočívat ve vytvoření identického výkovku jak cestou příčného klínového válcování, tak kovacími válci. Porovnávány budou parametry technologické operace (síly, energie,...), tak parametry strojů (produktivita, dosahované přesnosti,...).

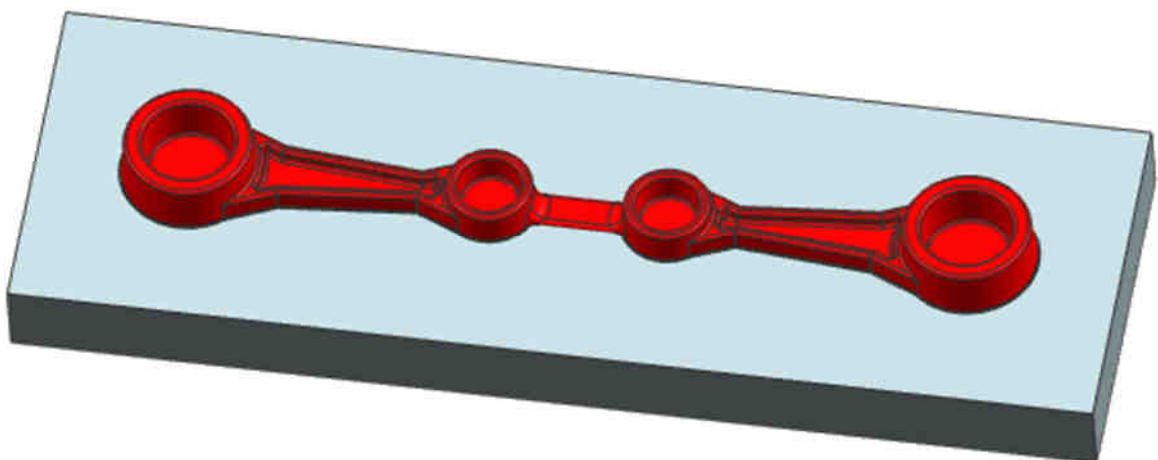
11.2.1 Volba tvaru předkovku

Zvolený předkovek bude sloužit jako polotovary pro kování ojnice, která je zobrazena na následujícím obrázku.



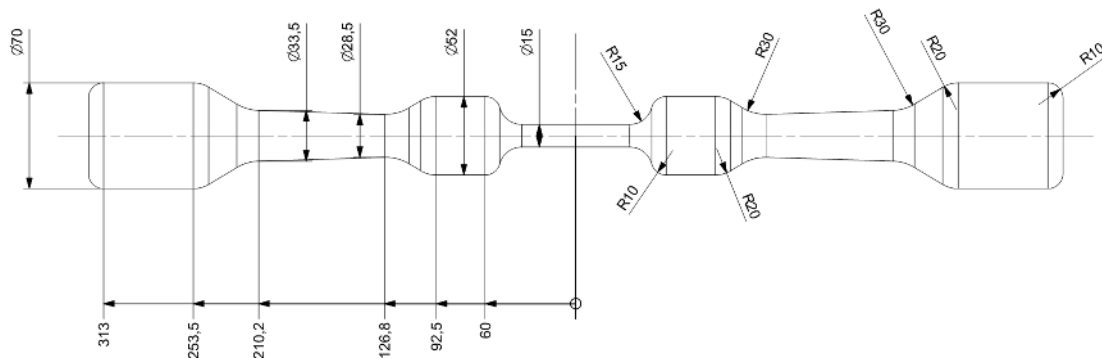
Obrázek 88 Výkovek ojnice

Aby docházelo v průběhu kování k rovnoměrnému rozložení sil podél výkovku, je tento druh polotovarů tvářen ve dvojici se vzájemným zrcadlením.



Obrázek 89 Kování ojníc ve dvojici

Pro dosažení stanoveného výkovku ojnice je stanoven následující optimální tvar předkovku, tak aby jej bylo možné docílit jak technologií KV tak PKV.



Obrázek 90 Požadovaný tvar předkovku

11.2.2 Parametry simulace tváření

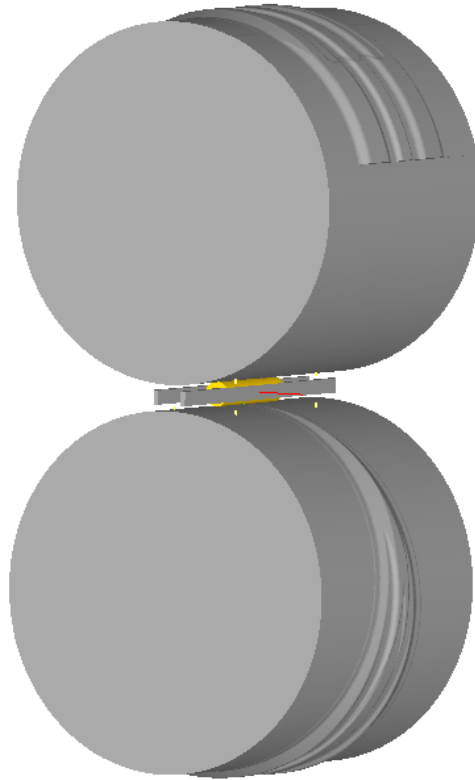
Parametry simulace technologie tváření:

- Materiál ČSN 12060 (AISI 1055)
- Teplota 1100°C
- Hmotnost výkovku 8 kg
- Vstupní polotovar tyč pr.70mm a délky300mm
- Rychlost otáčení nástroje kovacích válců 0,5 ot./s
- Rychlost otáčení nástroje příčně klínového válcování 0,5 ot./s

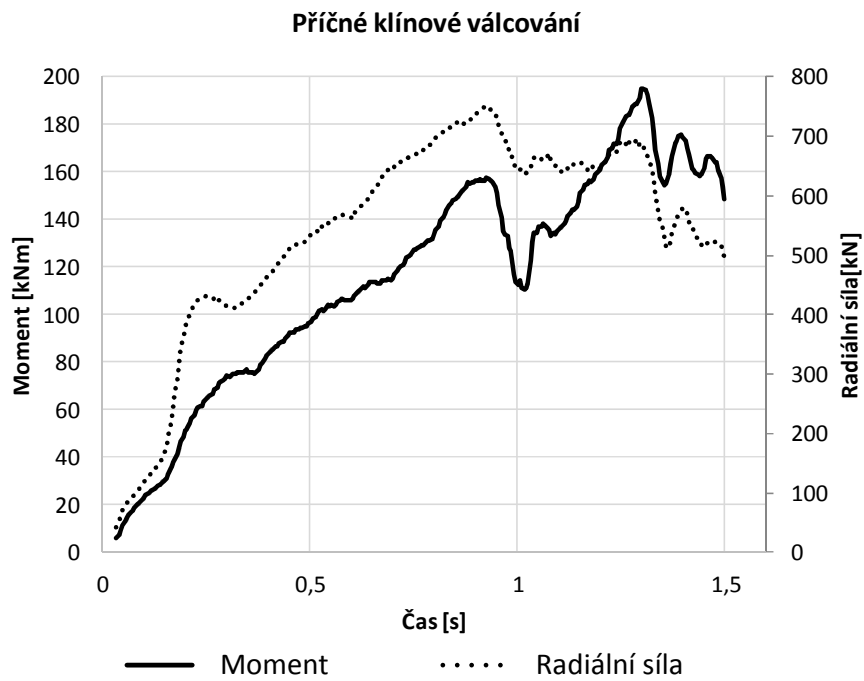
Z obou prováděných simulací byly odečteny a porovnány průběhy radiálních sil a točivých momentů pohonu.

11.2.3 Simulace PKV

Průběh simulace tváření pomocí PKV je znázorněna na následujících obrázcích. V grafu je znázorněn průběh síly i momentu v závislosti na čase tváření.



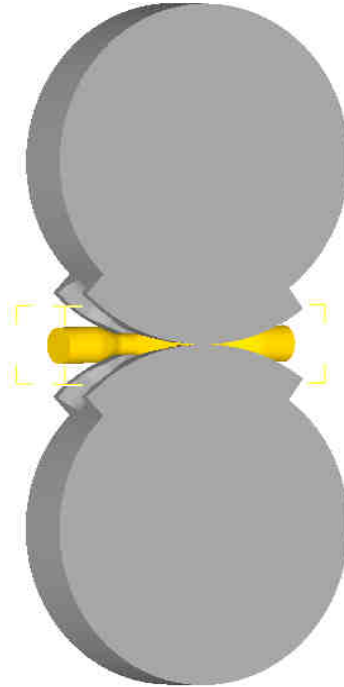
Obrázek 91 Simulace tváření pomocí PKV



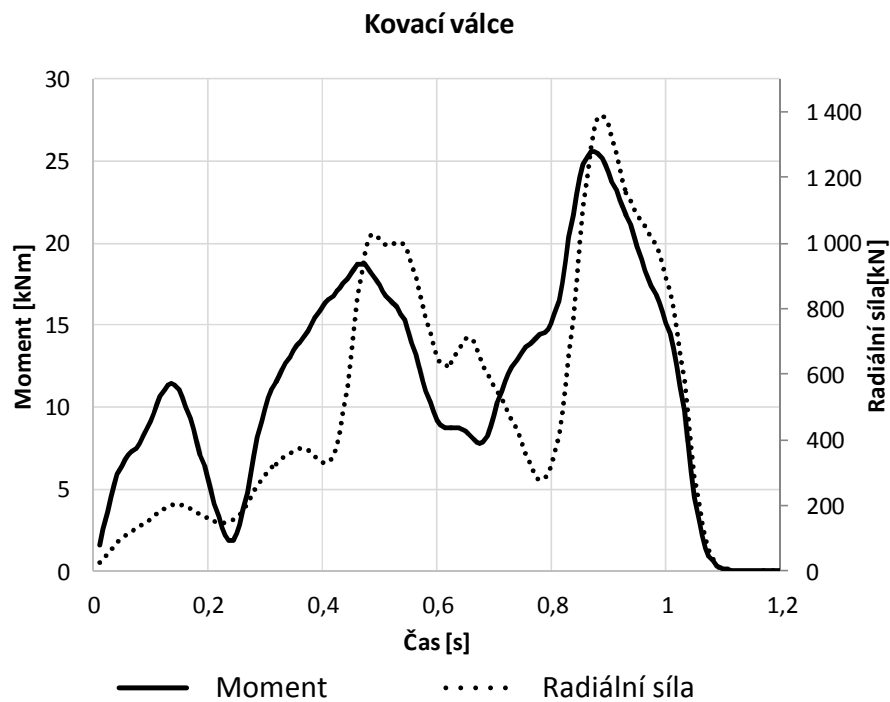
Obrázek 92 Průběh radiální síly a točivého momentu při příčném klínovém válcování

11.2.4 Simulace KV

Tváření pomocí KV není možné provést na jeden průchod mezi válci jak je tomu u PKV. V tomto případě je zapotřebí celkem 6 průchodů. Průběh simulace tváření je uveden pro poslední 6. průchod, ve kterém dosahuje síla i moment největších hodnot. V grafu je znázorněn průběh síly i momentu v závislosti na čase tváření.



Obrázek 93 Simulace tváření pomocí KV



Obrázek 94 Průběh radiální síly a točivého momentu na kovacích válcích (poslední průchod)

11.2.5 Výstupy ze simulací

V následující tabulce je uvedeno shrnutí naměřených hodnot pro obě simulace. Je zřejmé, že u technologie KV je dosažena cca dvojnásobná síla oproti PKV naproti tomu dosažený moment dosahuje pouze 1/8.

Tabulka 2 Porovnání parametrů pro konstrukci stroje dvou technologií

	Radiální síla [MN]	Točivý moment [kNm]	Čas tváření [s]
Kovací válc	1,41	25,7	1.1
Příčné klínové válcování	0,77	202	1.5

Z hlediska energetické náročnosti se jeví velmi nevýhodnou volbou příčné klínové válcování, avšak u kovacích válců se jedná o hodnoty pro jeden průchod. Pokud je uvažováno 4-6 průchodů, rozdíl není tak výrazný.

V případě porovnání produktivity je jednoznačně výhodnější příčné klínové válcování. Pokud uvažujeme maximální frekvenci lisu 20 zdvihů za minutu při tříduťinové zápustce, jeden výkovek vyprodukuje za 9 vteřin. Stejnou produktivitu musí mít i předkovací zařízení. Tento limit je snadno splnitelný příčným klínovým válcováním. Avšak u kovacích válců, které by potřebovaly 4-5 průchodů je těžko splnitelný bez rychlého automatického zařízení pro vkládání a vyjímání materiálu.

Stroj pro příčné klínové válcování by stíhal zásobovat polotovary i dva kovací lisy.

Dá se konstatovat, že pro uvedený výkovek jsou dostačující oba způsoby tváření. Pokud by byl požadován jiný tvar předkovku (nekruhový) mohly by být použity pouze kovací válc. Na druhé straně, pokud by byla požadována vysoká přesnost, bylo by výhodné příčné klínové válcování.

11.3 Shrnutí kapitoly možností zvyšování produktivity kování s využitím rotačního tváření

Porovnáním jednotlivých cest ke zvyšování produktivity jednoznačně vyplývá výhodnost předkovacích zařízení. Použitím předkovacích zařízení lze zlepšit i další parametry kování, např. úspora materiálu.

Uvedené dva způsoby předkovacích zařízení, jsou použitelné pro podobný druh výkovků. Podle druhu výkovku je nutné zvolit správné předkovací zařízení.

Provedenými analýzami bylo připraveno porovnání základních parametrů příčného klínového válcování i kovacích válců včetně časové náročnosti.

12 Přínosy práce

Na prvních stránkách práce byla provedena analýza základních technologických operací prováděných na kovací lisech. Vybrané základní operace byly podrobeny analýze pomocí softwaru Deform, který byl poté dále využíván. Porovnáním provedených analýz tváření s již známými údaji uváděnými v literatuře došlo k ověření výstupů.

V návaznosti na technologické operace byla provedena analýza tvářecích strojů a to hydraulických a klikových kovací lisů. Oba typy strojů byly podrobně popsány již ve vztahu na možnosti jejich technologického využití.

Po kapitolách zabývajících se popisem strojů a technologií bylo přistoupeno k náhledu na využití strojů z hlediska druhu výrobního sortimentu kovárny. Jelikož se požadavky jednotlivých provozů kováren diametrálně liší, vznikají i rozdílné požadavky na stroje, které je nutné v dalších kapitolách zohlednit. Z této pasáže práce vyplývá, že klíčovým prvkem je sériovost výroby a hned druhým velikost kovaných dílů. V sériových nebo hromadných výrobních dílech (hmotnost v jednotkách kg) jsou klíčové klikové lisy, naopak při kusové výrobě nebo kování těžkých a rozměrných dílů (desítky tun) jsou nenahraditelné hydraulické lisy.

V návaznosti na podmínky a požadavky provozu hydraulických lisů byla zpracována kapitola zabývající se vlivem technologických operací na namáhání hydraulického lisu. V této kapitole byly analyzovány možné provozní stavy hydraulického lisu CKV o síle 50 MN, který reprezentuje dnes hojně používané dvousloupové konstrukce hydraulických lisů.

V případě využívání konkrétního lisu v kovárně na „maximum“, je vhodné provést podle uvedeného postupu analýzu zatížení od konkrétních používaných operací, při kterých hrozí pravidelné přetěžování a v důsledku i únavové poškození konstrukce.

Výsledným shrnutím této kapitoly by se dalo konstatovat, že velikost lisovací síly není pro namáhání tolik podstatná v porovnání k velikosti excentricity. Nelze předpokládat, že snížením síly můžeme dovolit větší excentricitu. Celý tento problém byl podrobně popsán na příkladu prodlužování výkovku při kování rozdílnou délkou kovádel. Výsledek popřel, že by se kování polovinou délky kovádra snížilo namáhání lisu na polovinu v porovnání s kování celou délkou. Snížení potřebné kovací síly bylo z 50 MN pouze na 36 MN avšak vlivem nárůstu excentricity kování došlo dokonce k výraznému zvýšení namáhání sloupů.

Kapitola zabývající se klikovými kovacími lisami shrnuje možnosti využití nových výpočetních postupů pro stanovení základních parametrů lisu. Porovnává několik možných analytických přístupů i výpočtů pomocí softwaru.

Základní analytický výpočet vychází ze, v současnosti používaného postupu, stanovení potřebného momentu pohonu pro vyvození jmenovité síly při natočení klikového mechanismu do jmenovitého úhlu. Druhý z analytických výpočtů vychází pouze z dosažení jmenovité síly ve spodní úvrati klikového mechanismu.

Z porovnání momentů obou výpočtů jsou zřejmé značné rozdíly. Prvním výpočtem zjištěná hodnota 1,3 MNm je více než dvojnásobná oproti hodnotě 0,56 MNm z druhého výpočtu. Určitý rozdíl byl očekáván, nyní šlo o stanovení závěru, které hodnoty jsou ve vlastní konstrukci a provozu stroje důležité.

Jak již bylo řečeno, kdyby v reálném provozu stroje došlo k dosažení jmenovité síly ve jmenovitém úhlu natočení, tak by dalším otáčením klikového mechanismu došlo ke značnému přetížení stroje. Z technologického hlediska je důležité dosáhnout maximální síly před

dosednutím zápustek, které při správném seřízení lisu nastane, nebo mělo by nastat, ve spodní úvratí.

Pro vlastní praktické použití klikových kovacích lisů by bylo vhodnějším parametrem kromě jmenovité síly ještě stanovení závislosti maximálního využitelného momentu v závislosti na zdvihu beranu místo údaje o jmenovitém úhlu. Respektive přepočítaná síla v závislosti na zdvihu beranu.

Údaj o jmenovitém úhlu by byl dobře využitelný například u lisů pro tažení plechů, kde nedochází k výraznému nárůstu síly v průběhu zdvihu beranu. Nikoli u lisů kovacích.

S ohledem na výše uvedené závěry bylo přistoupeno k virtuální simulaci metodou konečných prvků. Tato simulace byla provedena pro konkrétní výkovek s definovaným průběhem síly, který byl získán v programu Deform, tak aby reprezentovala průběh jednoho úderu lisu.

Potřebný moment na klikové hřídeli dosáhl 0,8 MNm. Tato hodnota je v porovnání s analytickým výpočtem vyšší. Zvýšení momentu je dáno uvažováním tření a elastických deformací všech částí stroje a z toho vyplývající nepatrně větší natočení klikového mechanismu pro vyvození potřebné síly.

S přihlédnutím k uvedeným rozdílům se dá konstatovat, že analytický výpočet je v souladu s MKP výpočtem. Nevýhodou virtuální simulace je větší náročnost na výpočetní vybavení. Velkou výhodou je možnost stanovení namáhání konstrukce, deformací, atd. v celém pracovním zdvihu stroje.

V návaznosti na analýzu klikového lisu byla provedena analýza možností zvyšování produktivity klikových kovacích lisů s využitím předkování pomocí kovacích válců a příčného klínového válcování. Obě technologie byly simulovány a následně porovnány. Z hlediska využití klikových lisů je předkování u složitějších dílů velice přínosné, jelikož redukuje počet zápustek umístěných v lise a tím zrychlují a zlevňují výrobu.

13 Závěr

Každá technologická operace prováděná na tvářecím stroji, je svým způsobem specifická. Z technologického hlediska je vždy možné zvolit optimální podmínky pro tváření, např. optimální teplotu, rychlost tváření a dalších. Při dodržení těchto, technologem stanovených podmínek, můžeme získat výkovek optimální kvality při minimální potřebě energie technologického procesu.

Aby bylo možné takového cíle dosáhnout, musí být použito vhodné výrobní zařízení, na kterém lze požadované podmínky dodržet. V současné době je prováděno tváření především podle strojního vybavení kováren, a tak dochází k případům, kdy za cenu zanedbání některých optimálně stanovených technologických podmínek se provádí tváření na stroji, které má kovárna momentálně k dispozici.

Tento přístup způsobuje nejen to, že jako výsledek jsou výkovky se sníženou kvalitou, ale zároveň dochází k nadměrné spotřebě energie a mnohdy dokonce ke zvýšenému opotřebením strojů.

Obsah této práce poskytuje ucelený pohled na problematiku provázanosti konstrukce tvářecích strojů s technologickými operacemi, pro které má být stroj použit. Práce též odráží aktuální požadavky, z firem vyrábějící či provozující tvářecí stroje, které vznikly v průběhu vzniku této práce.

V naprosté většině případů je v literatuře podrobně rozebírána problematika technologie tváření bez ohledu na stroj, na kterém bude pravděpodobně prováděna. Již o trochu méně to platí o konstrukci tvářecích strojů, kde se při návrhu uvažuje zatížení od předpokládaných technologických operací.

Toto vzájemné neprovázání poznatků se taktéž negativně projevuje i v průmyslové praxi, kdy technologové neberou v úvahu vliv jimi navržených technologických podmínek na tvářecí stroj. Mohou tak nevědomky způsobovat jeho nadměrné namáhání a tím zkracovat jeho životnost.

Z výše uvedených důvodů byl proveden rozbor základních technologických operací prováděných na vybraných tvářecích strojích s provedením rozvahy předpokládané vhodnosti jednotlivých druhů strojů pro různé technologie.

Technologické operace byly popsány v teoretické rovině. Pro vybrané byly provedeny simulace tváření v programu DEFORM. Výstupy z tohoto programu jsou dále použitelné jako okrajové podmínky pro navazující MKP analýzy konstrukcí strojů.

Získané poznatky z technologických operací byly využity jako okrajové podmínky v analýzách konstrukcí strojů, kde se snaží vystihnout reálný stav při provozu stroje.

U každého zástupce z kategorie mechanických i hydraulických kovací lisů byl analyzován modelový příklad technologické operace s přenesením okrajových podmínek z technologie na konstrukci stroje. Tyto příklady jsou využitelné jako návod při dalších analýzách vlivu jiných technologických operací na tvářecí stroje.

Tento připravený postup by bylo vhodné aplikovat i na další tvářecí stroje a technologické operace a rozšířit tak poznatky ohledně vlivu prováděné technologie na stroj, které mohou být následně využity při konstrukcích nových strojů.

Získané poznatky by bylo možné aplikovat především při nově navrhovaných technologických celcích „na míru“ určitého druhu výrobku. Do budoucna se dá předpokládat, že se bude zvyšovat podíl výroby celých výrobních systémů. Kde se přínosy, uvedené v této práci, zúročí ve vhodné volbě výrobního zařízení pro celý výrobní systém.

Znamená to tedy, že do tohoto systému bude nutno zahrnout i takové operace, které se budou provádět i mimo základní tvářecí stroj, jako např. operace předkování, ostříhování, a další. I zda je nutno postupovat dle v práci uvedených zásad tak, aby pro prováděné operace byl zvolen nejvhodnější postup.

Závěr práce byl proto věnován studii možností zvyšování produktivity klikových kovacích lisů se zaměřením na možnosti předkování materiálu. Problematika předkování materiálu byla názorně vysvětlena na dvou způsobech rotačního tváření a to cestou příčného klínového válcování a kovacích válců. Oba způsoby byly analyzovány a vzájemně porovnány. Jedná se o relativně moderní způsoby předkování, které nacházejí v kovárnách stále širší uplatnění.

Práce by měla upozornit na závažnost správného přiřazení stroje ke konkrétním technologickým postupům a tím přispět ke zkvalitnění a zpřesnění výrobků za cenu co nejmenší energetické náročnosti. Rozsah práce dovozoval provést praktickou aplikaci pouze na několika uvedených strojích. Bylo by dobré v dalším výzkumu rozšířit sledované spektrum strojů i technologií.

14 Použité zdroje

- [1] Schuler Inc.: *Metal forming handbuch*. Berlin: Springer, 1998, xx, 563 s. ISBN 3-540-61185-1.
- [2] ASM International: *ASM Metals Handbook Volume 14 – Forming and Forging*, Ohio, 2005.
- [3] Altan, T., Shirgaokar, M.: *Selection of Forging Equipment*, The Ohio State University, 2005.
- [4] CVTS.: *Monitorování tvářecích strojů*, Plzeň, 2010.
- [5] CVTS.: *Monitorování tvářecích strojů*, Plzeň, 2011.
- [6] Drastík, F.: *Kovářské stroje a technologie kování*, Praha, 1961.
- [7] Kamelander, I.: *Tvářecí stroje I*, Brno, 1982.
- [8] Rudolf, B., Kopecký, M.: *Tvářecí stroje: základy výpočtů a konstrukce*, Praha, 1979.
- [9] Staněk, J.: *Základy stavby výrobních strojů*, Plzeň, 2001.
- [10] Drastík, F.: *Výpočty z oboru kování a lisování*, Praha 1972
- [11] Ajax Manufacturing Company: *Bulletin No.91-D*, Ohio
- [12] Zahálka, M.: *Doktorská práce ke státní doktorské zkoušce*. Plzeň, ZČU, KKS, 2013.

15 Seznam prací autora

- [1] Zahálka M.; Staněk J.; Čechura M.; Hlaváč J.: *Modální analýzy rámu hydraulických lisů pro volné kování*, Kovárenství 2012, s. 97-100, ISSN: 1213-9289.
- [2] Zahálka M.; Hlaváč J.; Staněk J.: *Kovací válce jako jedna z možností předkování*, Kovárenství 2013, s. 57-61, ISSN 1213-9289.
- [3] Zahálka M.; Hlaváč J.; Staněk J.: *Možnosti pokročilých simulací zatěžování klikových lisů*, Kovárenství 2014, s. 41-44, ISSN 1213-9289.
- [4] Zahálka M.; Staněk J.: *Options of advanced simulations of crank presses loading*, Procedia Engineering 2015, ISBN 978-3-901509-99-5, ISSN 1877-7058.
- [5] Zahálka M.; Staněk J.; Čechura M.; Hlaváč J.: *Studie možností zvyšování produktivity kování s využitím rotačního tváření*, Kovárenství 2015, s. 48-51, ISSN: 1213-9289.
- [6] Zahálka M.: *Modal Analysis of Hydraulic Press Frames for Open Die Forging*, Procedia Engineering 2014, ISBN 978-3-901509-97-1, ISSN 1877-7058.
- [7] Zahálka M.; Ráž K.; Čechura M.; Chval Z.: *Improvement of mechanical press productivity and accuracy by compensation of frame opening*, Industrial Engineering 2015, ISBN 978-9949-23-804-0, ISSN 2346-6138.
- [8] Zahálka M.; Ráž K.; Staněk J.: *Cross Wedge Rolling and Forging Rolls as Additional Devices in Closed Die Forging*, Procedia Engineering 2015, ISSN 1877-7058.
- [9] Zahálka M.; Čechura M.; Petr G.; Hlaváč J.; Hornová J.; Hovorka J.; Hoza M.; Chval Z.; Kubec V.; Maliňák S.; Mnagera M.; Prokeš J.; Ráž K.; Smolík J.; Staněk J.; Sulitka M.; Toman P.; Volena J.: *Vývoj nových a inovace stávajících konstrukčních řešení tvářecích strojů*, Výzkumná zpráva, Plzeň, 2014.
- [10] Zahálka M.; Čechura M.; Hlaváč J.; Hoza M.; Hovorka J.; Chval Z.; Krábek B.; Kubec V.; Maliňák S.; Mnagera M.; Prokeš J.; Ráž K.; Smolík J.; Staněk J.; Toman P.; Volena J.: *Vývoj nových a inovace stávajících konstrukčních řešení tvářecích strojů*, Výzkumná zpráva, Plzeň, 2013.
- [11] Zahálka M.; Čechura M.: *Otevírání a sklápění vulkanizačního lisu*, Výzkumná zpráva, Plzeň, 2013.
- [12] Zahálka M.; Kosnar M.; Janda P.; Lašová V.; Zemčík R.; Kroupa T.; Kaiser J.; Krátký J.; Ráž K.; Chval Zdeněk; Bernardin P.: *Analýza pohonu regulačního orgánu PRO-M jaderného reaktoru VVER 440/V-213*, Výzkumná zpráva, Plzeň, 2012.
- [13] Zahálka M.; Čechura M.; Hlaváč J.; Hoza M.; Hovorka J.; Chval Z.; Kubec V.; Ráž K.; Smolík J.; Staněk J.; Volena J.: *Vývoj nových a inovace stávajících konstrukčních řešení tvářecích strojů*, Výzkumná zpráva, Plzeň, 2012.