

POČÍTAČOVÁ PODPORA TECHNOLOGIE

obor: strojírenská technologie

ČINNOSTI V POSTPROCESSINGU SIMULAČNÍCH SOFTWARE S UKÁZKAMI

Ing. Miloslav Kopřiva

1.0 MOŽNOSTI MĚŘENÍ V POSTPROCESSINGU

Výsledky postprocessingu umožňují využít jejich hodnot v několika oblastech výstupů, jedna z nejvýznamnějších je oblast měření (jak nástroje tak tvářeného polotovaru) a posunu objektu s možností animace výsledků. Uvedeny jsou možnosti práce v simulačním software FormFEM instalovaném na odboru tváření UST .

Soubor ikon **Měření**

Funkce pro měření vzdáleností, délek entit a úhlů Objektů dané Sestavy. Všechny tyto funkce jsou transparentní a ukončí se buď stisknutím klávesy <Esc> nebo automaticky volbou jiné funkce.



Funkce Měření vzdáleností

změří vzdálenost mezi dvěma vybranými body v aktivním okně.

Dva referenční body lze zadávat:

- pomocí kurzoru a levého tlačítka na myši se na obrazovce zadává poloha dvou bodů. Po zadání druhého bodu se automaticky zobrazí změřená vzdálenost mezi těmito dvěma body.
- pomocí klávesnice se zadávají přímo souřadnice bodů:
 X_{start}, Y_{start} -> souřadnice prvního bodu
 X_{end}, Y_{end} -> souřadnice druhého bodu

Výsledná vzdálenost se zobrazí po stisknutí klávesy <Enter>.

Souřadnice bodů se zobrazují a zadávají v jednotkách nastavených v dialogovém okně **Délkové jednotky** ve volbě **Nastavení** hlavního menu **Objekt**. Ve stejných jednotkách se zobrazí i výsledná vzdálenost. Je možné zadat polohu prvního bodu kurzorem na obrazovce a druhý bod zadat z klávesnice. Opačný postup není možný!



Funkce Měření úhlů

změří úhel, který svírají dva směry definované třemi vybranými body.

Tři referenční body lze zadávat:

- pomocí kurzoru a levého tlačítka na myši se na obrazovce zadává nejprve poloha vrcholu úhlu a následně proti směru hodinových ručiček poloha dvou bodů definujících jeho ramena.
- pomocí klávesnice se zadávají přímo souřadnice bodů:
 X_v, Y_v -> souřadnice vrcholu úhlu
 X_1, Y_1 -> souřadnice bodu prvního ramene úhlu
 X_2, Y_2 -> souřadnice bodu druhého ramene úhlu

Výsledný úhel se zobrazí stisknutím klávesy <Enter>.

Souřadnice bodů se zobrazují a zadávají v jednotkách nastavených v dialogovém okně **Délkové jednotky** v příslušné volbě **Nastavení** hlavního menu **Objekt**. Výsledkem je velikost úhlu měřená ve stupních od prvního ramene ke druhému proti směru hodinových ručiček ! Je možné zadat polohu vrcholu nebo polohu vrcholu a prvního bodu kurzorem na obrazovce a zbývající body zadat z klávesnice. Jiná kombinace není možná!



Funkce Měření objemu

Změří objem vybraného Objektu dané Sestavy.

Pomocí kurzoru a levého tlačítka na myši se na obrazovce vybere Objekt. Po výběru Objektu se automaticky zobrazí jeho objem. Změřený objem se zobrazí v jednotkách

nastavených v dialogovém okně **Délkové jednotky** ve volbě **Nastavení** hlavního menu **Sestava**.

Soubor ikon **Měření polotovaru**

Funkce pro měření rozměrů deformovaného polotovaru ve zvoleném časovém kroku.



Funkce **Změření podélného profilu**

změří délku podélného profilu deformovaného polotovaru.

Pomocí kurzoru se na obrazovce vybere bod, který leží na obrysu deformovaného polotovaru. Po stisknutí levého tlačítka na myši se automaticky sestrojí vodorovná čára, která má počátek ve vybraném bodu obrysu polotovaru a končí v průsečíku s protilehlou částí obrysu. Délka podélného profilu se zobrazí v liště zpráv v jednotkách nastavených v okně **Délkové jednotky** v menu **Nastavení** v hlavním menu **Výsledky**.



Funkce **Změření příčného profilu**

změří délku příčného profilu deformovaného polotovaru.

Pomocí kurzoru se na obrazovce vybere bod, který leží na obrysu deformovaného polotovaru. Po stisknutí levého tlačítka na myši se automaticky sestrojí svislá úsečka, která má počátek ve vybraném bodu obrysu polotovaru a končí v průsečíku s protilehlou částí obrysu. Délka příčného profilu se zobrazí v liště zpráv v jednotkách nastavených v okně **Délkové jednotky** v menu **Nastavení** v hlavním menu **Výsledky**.



Funkce **Změření délky obrysové hrany**

změří délku vybrané části obrysu deformovaného polotovaru.

Pomocí kurzoru a levého tlačítka na myši se na obrazovce vyberou dva body, které leží na obrysu deformovaného polotovaru. Po výběru druhého bodu se automaticky určí délka obrysové hrany mezi prvním a druhým vybraným bodem proti směru hodinových ručiček. Délkou se rozumí součet délek hran prvků vytvářejících vybranou část obrysu. Délka obrysové hrany se zobrazí v liště zpráv v jednotkách nastavených v okně **Délkové jednotky** v menu **Nastavení** v hlavním menu **Výsledky**.

Soubor ikon **Změna polohy**

Funkce pro změnu polohy Objektů v okně s výsledky.

Pomocí kurzoru a myši se na obrazovce vyberou Objekty, které mají být posunuty a to:

- po jednotlivých Objektích stisknutím levého tlačítka myši,
- po více Objektích najednou pomocí okna, které se vytvoří držením levého tlačítka za současného pohybu myši (vybírají se pouze ty Objekty, které celé leží uvnitř okna).

Současné držení klávesy <Ctrl> při práci s myši vede ke zrušení již vybraných Objektů ze souboru vybraných Objektů. Ukončení výběru Objektů proběhne stisknutím pravého tlačítka na myši.

2.0 MOŽNOSTI GRAFICKÉ MANIPULACE S VÝSLEDKY POSPROCESSINGU



Funkce **Posunutí Objektu**

posune vybraný Objekt v okně s výsledky ve směru definovaného vektoru.

Po ukončení výběru Objektů se zadají následující parametry posunutí:

- pomocí kurzoru a levého tlačítka na myši se na obrazovce zadá poloha dvou bodů, které definují vektor posunutí. Po volbě druhého bodu proběhne automaticky posunutí vybraných Objektů.
- pomocí klávesnice se v I/O liště zadávají parametry :
dx,dy -> kartézské souřadnice vektoru posuvu

Transformace vybraných Objektů proběhne po stisknutí klávesy **<Enter>**. Souřadnice vektoru posunutí se zobrazují a zadávají v jednotkách nastavených v dialogu volby **Délkové jednotky** v menu **Nastavení**. Posunutí Objektu slouží pouze k dočasným úpravám konfigurace Objektů v okně s výsledky. Po zavření hlavního okna s výsledky se upravená konfigurace Objektů neukládá!



Funkce **Natočení Objektu**

otočí vybraný Objekt v okně s výsledky o daný úhel kolem zadaného bodu.

Po ukončení výběru Objektů se zadají následující parametry natočení:

- pomocí kurzoru a levého tlačítka na myši lze na obrazovce zadat nejprve polohu středu otáčení a pak následně polohu počátečního a koncového referenčního bodu. Po volbě koncového bodu proběhne automaticky natočení vybraných Objektů. Úhel otočení je dán úhlem, který svírají spojnice referenčních bodů se středem otáčení ve směru od počátečního ke koncovému referenčnímu bodu.
- pomocí klávesnice lze v I/O liště zadat parametry :
Sx,Sy ----> kartézské souřadnice středu otáčení
úhel -----> velikost úhlu otočení

Transformace vybraných entit proběhne po stisknutí klávesy **<Enter>**. Úhel natočení se zobrazuje a zadává ve stupních, souřadnice bodu se zobrazují a zadávají v jednotkách nastavených v dialogu volby **Délkové jednotky** v menu **Nastavení**. Je možné zahájit zadáním polohy středu otáčení kurzorem na obrazovce a úhel otočení zadat z klávesnice. Opačný postup není možný! Natočení Objektu slouží pouze k dočasným úpravám konfigurace Objektů v okně s výsledky. Po zavření hlavního okna s výsledky se upravená konfigurace Objektů neukládá!



Funkce **Animovat výsledky**

spouští animaci tvářecího procesu.

Po volbě ikony proběhne automaticky animace pohybů a deformací Objektů v dané Sestavě s těmi zobrazenými výsledky a tom výřezu, který byl v aktivním okně v okamžiku volby této funkce. Parametry animace se nastavují ve volbě **Animace** v menu **Nastavení** v hlavním menu **Výsledky**. Animace probíhá v samostatném okně a ukončí se buď stiskem klávesy **<Esc>** nebo zavřením okna s probíhající animací pomocí ikony v pravém horním rohu okna.

3.0 EXPORT GRAFICKÝCH VÝSTUPŮ

Možnosti grafických výstupů je využíváno převážně v CAD - CAM režimu práce se simulačními software a jsou to následující funkce :



Funkce Výstup geometrie do DXF

zapisuje geometrii vybraných Objektů do souboru ve formátu DXF.

Pomocí kurzoru a myši se na obrazovce vyberou Objekty, jejichž geometrie má být zapsána do souboru DXF a to:

- po jednotlivých Objektch stisknutím levého tlačítka myši,
- po více Objektch najednou pomocí okna, které se vytvoří držením levého tlačítka za současného pohybu myši (vybírají se pouze ty Objekty, které celé leží uvnitř okna).

Současné držení klávesy <Ctrl> při práci s myší vede ke zrušení již vybraných Objektů. Ukončení výběru Objektů proběhne stisknutím pravého tlačítka na myši. V následujícím standardním dialogu lze zvolit jméno a umístění souboru DXF.

Poznámka:

Při zpětném načtení geometrie Objektu z takto vytvořeného DXF-souboru, může být geometrie načtena nesprávně. Příčinou může být příliš vysoká hodnota tolerance pro slučování bodů ve volbě Slučování bodů v menu Nastavení v menu Geometrie. Velikost tolerance je nutné řádově zmenšit a zkusit DXF-soubor načíst znovu !!



Funkce Grafický výstup do schránky

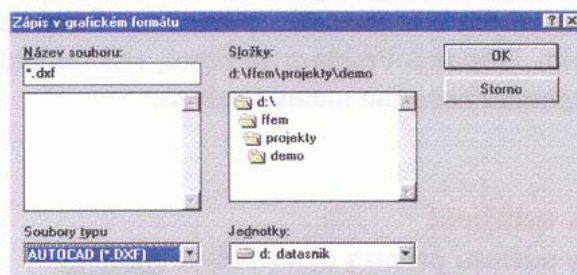
kopíruje obsah aktivního okna nebo jeho výřezu do schránky (clipboardu).

Stisknutím levého tlačítka na myši a pohybem kurzoru při současném držení levého tlačítka se provede výběr části okna, jejíž obsah má být uložen do schránky. Stisknutím posloupnosti kláves <Ctrl+C> se uloží obsah výřezu do schránky. Pokud se neprovede výběr výřezu okna, uloží se do schránky obsah celého aktivního okna.



Funkce Grafický výstup do souboru

zapisuje obsah aktivního okna ve vybraném grafickém formátu do souboru na disk.



Stávající verze programu umožňuje vytvořit grafický soubor pouze ve formátu BMP.



Funkce Grafický výstup na tiskárnu

tiskne obsah aktivního okna přímo na vybranou tiskárnu.

4.0 REŽIM PRÁCE S HLAVNÍMI VÝSLEDKY POSTPROCESSINGU

4.1 Hlavní výsledky

Menu postprocessingu poskytuje možnosti zobrazení výsledků v těchto úrovních, jsou to DEFORMACE, VRSTEVNICE a ZÁVISLOSTI. Deformace jsou označeny DEFO a

v menu **Kreslit DEFO**, lze ze Sestavy opět vyjmout stisknutím levého tlačítka myši v příslušném řádku sloupce "**Vyjmout**" a následnou volbou tlačítka **<OK>**.

- volba **Zvětšení nástrojů** (menu **Kreslit DEFO**)

Zadání hodnoty zvětšení pro zobrazení elasticky deformovaných nástrojů. Elastické deformace nástrojů jsou ve srovnání s deformacemi polotovaru velmi malé a před jejich zobrazením je nutné je zvětšit. Koeficient zvětšení se zadává v následujícím dialogu:



Přednastavená hodnota zvětšení je 500-krát.

Levé ikony v menu Kreslit DEFO (hlavní menu Výsledky)



funkce **Deformovaná síť** pro zobrazení konečnoprvkové sítě Objektů v daném čase



soubor funkcí **Deformovaný rastr** pro zobrazení deformovaného rastru



zobrazení pouze vodorovné čáry rastru deformovaného Objektu



zobrazení pouze svislé čáry rastru deformovaného Objektu



zobrazení svislé i vodorovné čáry rastru deformovaného Objektu



funkce **Deformované nástroje** pro zobrazení tvaru elasticky deformovaných nástrojů. Deformované nástrojů budou zobrazeny se zvětšením, které lze nastavit v dialogu **Zvětšení nástrojů** v menu **Kreslit DEFO**. Přednastavené zvětšení je 500-krát.

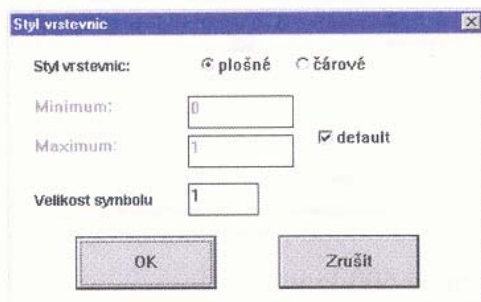
Výstup v úrovni vrstevnic lze aktivovat pomocí roletového menu označeného VRST

Volba **Kreslit VRST** (hlavní menu **Výsledky**)

otevřít menu s následujícími funkcemi pro zobrazení vrstevnic vybraných mechanických a teplotních veličin.

- volba **Styl vrstevnic** (menu **Kreslit VRST**)

nastaví způsob zobrazení a rozsah škály vrstevnic výsledků vybraných veličin a nastavení velikosti symbolů (šipek při zobrazení vektorového pole rychlostí).



Nastavení stylu "**plošných**" vrstevnic zapíná zobrazení skalárního pole dané veličiny pomocí barevných izoploch. Nastavení stylu "**čárových**" vrstevnic vede na zobrazení dané veličiny pomocí barevných izočar. Škála vrstevnic se "**default**" počítá automaticky ze skutečného minima a maxima zobrazované veličiny pro pevný počet 12 barev. Default nastavení lze vypnout, což umožní zadat libovolnou škálu předepsáním vlastního "**Maxima**" a "**Minima**" zobrazené veličiny. Nastavením "**Velikosti symbolu**" lze měnit velikost šipek při zobrazení vektorového pole rychlostí. Velikost symbolu je reálné číslo. Čím vyšší bude číslo, tím bude symbol větší.

Levé ikony v menu **Kreslit VRST** (hlavní menu **Výsledky**):



soubor funkcí **Rychlost** pro zobrazení rychlostí Objektů



zobrazení vrstevnic x-ové složky vektoru rychlosti



zobrazení vrstevnic y-ové složky vektoru rychlosti



zobrazení vektorového pole rychlostí



soubor funkcí **Napětí** pro zobrazení napětí Objektů



zobrazení vrstevnic intenzity napětí podle HMH

Postprocessing využívá ve většině software, kromě běžně používané intenzity napětí HMH také střední hydrostatické napětí, jeho ikony jsou uvedeny následně :



zobrazení vrstevnic středního (hydrostatického) napětí



zobrazení vrstevnic složky σ_x tenzoru napjatosti



zobrazení vrstevnic složky σ_y tenzoru napjatosti



zobrazení vrstevnic složky σ_{xy} tenzoru napjatosti



zobrazení vrstevnic složky σ_z tenzoru napjatosti



soubor funkcí **Zatížení nástrojů** pro zobrazení silového zatížení nástrojů



zobrazení rozložení normálových napětí působících na nástroje.



zobrazení rozložení smykových napětí působících na nástroje.



soubor funkcí **Přetvoření** pro zobrazení přetvoření Objektů



zobrazení vrstevnic intenzity přetvoření podle HMH



zobrazení vrstevnic složky ϵ_x tenzoru přetvoření



zobrazení vrstevnic složky ϵ_y tenzoru přetvoření



zobrazení vrstevnic složky ϵ_{xy} tenzoru přetvoření



zobrazení vrstevnic složky ϵ_z tenzoru přetvoření (pouze pro rotační symetrii)



funkce **Intenzita rychlosti přetvoření** pro zobrazení vrstevnic intenzity rychlosti přetvoření podle HMH



funkce **Teplota** pro zobrazení vrstevnic teplotního pole



soubor funkcí **Posuvy** pro zobrazení posuvů deformovaných nástrojů



zobrazení vrstevnic posuvů ve směru globální osy X



zobrazení vrstevnic posuvů ve směru globální osy Y

Komplexní náhled na tok tečení materiálu v průběhu simulace tvářecího procesu přehledně zobrazuje vektorové pole posunů materiálu. Pro vyhodnocení tepelného zpracování ocelí je hojně využívána možnost zobrazení strukturálních podílů a mechanických vlastností zpracovávaných ocelí.



zobrazení vektorového pole posuvů



soubor funkcí **Strukturální podíly** pro zobrazení rozložení strukturálních podílů oceli po tepelném zpracování Objektu.



zobrazení vrstevnic rozložení nerozpadlého austenitu



zobrazení vrstevnic rozložení feritu



zobrazení vrstevnic rozložení perlitu



zobrazení vrstevnic rozložení bainitu



zobrazení vrstevnic rozložení martenzitu



soubor funkcí **Mechanické vlastnosti po zakalení** pro zobrazení rozložení mechanických vlastností oceli po zakalení Objektu



zobrazení vrstevnic tvrdosti podle Vickerse



zobrazení vrstevnic meze kluzu



zobrazení vrstevnic meze pevnosti



soubor funkcí **Mechanické vlastnosti po popuštění** pro zobrazení rozložení mechanických vlastností oceli po popuštění Objektu



zobrazení vrstevnic tvrdosti podle Vickerse



zobrazení vrstevnic meze kluzu



zobrazení vrstevnic meze pevnosti



zobrazení vrstevnic vrubové houževnatosti



soubor funkcí **Škála** pro nastavení zobrazení barevné škály vrstevnic



vypnutí zobrazení barevné škály vrstevnic v okně s výsledky.



nastavení polohy barevné škály v okně s výsledky.

Volba Závislosti (hlavní menu Výsledky)

otevřít menu s následujícími funkcemi pro zobrazení grafů závislostí vybraných skalárních veličin na vybraných nezávisle proměnných (čas, zdvih, dráha nástrojů apod.)

Levé ikony (volba Závislosti v hlavním menu Výsledky):



soubor ikon **Celková síla** pro zobrazení závislostí celkové tvářecí síly



soubor ikon **Celková energie** pro zobrazení závislostí celkové energie nástrojů



funkce **Změna objemu** pro zobrazení závislosti změny objemu deformovaného Objektu



funkce **Průběh konvergence** pro zobrazení průběhu konvergence při výpočtové analýze

Soubor ikon **Celková síla** (levé ikony v menu Závislosti)

Funkce pro zobrazení různých závislostí celkové tvářecí síly působící na nástroje. Závislosti X-ové a Y-ové složky celkové síly působící na jednotlivé nástroje se zobrazí v samostatných oknech.



Funkce Celková síla = $f(\text{čas})$

zobrazí závislost celkové tvářecí síly působící na jednotlivé nástroje na čas.



Funkce Celková síla = $f(\text{posuv})$

zobrazí závislost celkové tvářecí síly působící na jednotlivé nástroje na dráze, kterou daný nástroj vykonal.



Funkce Celková síla = $f(\text{zdvih})$

zobrazí závislost celkové tvářecí síly působící na jednotlivé nástroje na procentu zdvihu nástroje.

Procento zdvihu nástroje je definováno jako poměrná část dráhy, kterou nástroj urazil ze své celkové dráhy. Dráha je měřena pro dva referenční body té polohové události, která má minimální mezní vzdálenost. Tento typ závislosti tedy vyžaduje vytvoření alespoň jedné polohové události !

Funkce celková síla je využívána pro simulaci tváření na lisech. Pro simulaci problému energie tváření na rázových jednotkách (bucharech) je využívána nabídka v režimu celková energie .

Soubor ikon **Celková energie** (levé ikony v menu **Závislosti**)

Funkce pro zobrazení různých závislostí celkové energie nástrojů.

Závislosti celkové energie jednotlivých nástrojů se zobrazí v samostatných oknech.



Funkce Celková energie = f(čas)

zobrazí závislost celkové energie jednotlivých nástrojů na čase.



Funkce Celková energie = f(posuv)

zobrazí závislost celkové energie jednotlivých nástrojů na dráze, kterou daný nástroj vykonal.



Funkce Celková energie = f(zdvih)

zobrazí závislost celkové energie jednotlivých nástrojů na procentu jejich zdvihu.

Procento zdvihu nástroje je definováno jako poměrná část dráhy, kterou nástroj urazil ze své celkové dráhy. Dráha je měřena pro dva referenční body té polohové události, která má minimální mezní vzdálenost. Tento typ závislosti tedy vyžaduje vytvoření alespoň jedné polohové události !



Funkce Změna objemu

zobrazí závislost změny objemu deformovaného Objektu na čase.

Změna objemu deformovaného Objektu je veličina, která slouží k posouzení přesnosti řešení. Vlivem numerických nepřesností v průběhu výpočtu dochází k úbytku objemu, který se pohybuje v jednotkách procent původního objemu. Pokud je úbytek objemu větší než 1-2%, není s nastavením parametrů výpočtové analýzy vše v pořádku !



Funkce Průběh Konvergence

zobrazí závislost dosažených parametrů konvergenčních kritérií v jednotlivých krocích výpočtové analýzy na čase.

Velmi důležitou funkcí pro kontrolu korektnosti software je kontrola změny objemu v průběhu processingu. Pokud se její hodnota změní kromě již zmiňované záporné úchytky o 1 – 2% a kladná úchytky o 1,5 % nelze považovat výsledky simulace za korektní. Pro simulaci technologie bezvýronkového kování je nutno tento kontrolovaný parametr ještě podstatně zúžit. Vždy je proto nutno po skončení processingu provádět kontrolu korektnosti výpočtu funkcí změna objemu.

5.0 NASTAVENÍ VOLEB VÝSLEDKŮ SIMULACE

Pro stanovení optimálních podmínek processingu a následně postprocessingu simulované problematiky je nutno nastavit následující kritéria:

Volba **Nastavení** (hlavní menu **Výsledky**)

otevřít menu s následujícími funkcemi pro nastavení uživatelského prostředí při práci s výsledky:

Volby v pull-down menu:

- volba **Úroveň zachytávání** (menu **Nastavení** v hlavním menu **Výsledky**)

nastaví úroveň automatického zachytávání význačných bodů entit Objektu při práci s kurzorem na obrazovce.

Mód	Aktivní
konec	✓
střed_us	✓
střed_kr	✓
volný bod	✓
kvadrant	✓
na	✓
kolmice	✓
tečný	✓
uzel	✓
čáry_kolmé	
čáry_obecné	

Tolerance zachytu [pxl] :

Úhel [0-90 deg] :

Při práci s entitami Objektů je zapnuto automatické zachytávání jejich význačných bodů při pouhém přiblížení kurzoru dané entitě. Míra přiblížení kurzoru, při které nastane záchyt jejího význačného bodu, se nastavuje velikostí "**Tolerance záchytu**", což je vzdálenost kurzoru od entity nebo jejího význačného bodu, při které nastane záchyt v pixlových jednotkách obrazovky. Zapnutí "**Módu**" stisknutím levého tlačítka myši v příslušném sloupci "**Aktivní**" aktivuje následující způsob zachytávání:

- "**konec**" zachytávání počátečních a koncových bodů neuzavřených entit geometrie
- "**střed_us**" zachytávání bodů, které dělí úsečky a oblouky na polovinu
- "**střed_kr**" zachytávání středů kružnic a oblouků
- "**volný bod**" zachytávání bodů geometrie, které nejsou součástí žádné entity
- "**kvadrant**" zachytávání bodů ležících na kvadrantech kružnic a oblouků
- "**na**" zachytávání kurzoru na geometrické entitě
- "**kolmice**" zachytávání bodu ležícího na normále k vybrané geometrické entitě
- "**tečný**" zachytávání bodu dotyku ležícího na tečně ke kružnici nebo kruhovému oblouku
- "**uzel**" zachytávání uzlů konečnoprvkové sítě Objektu
- "**čáry_kolmé**" zapnutí dvojice pomocných čar rovnoběžných s hranami aktivního okna
- "**čáry_obecné**" zapnutí dvojice pomocných kolmých konstrukčních čar, z nichž jedna svírá s vodorovnou hranou aktivního okna "**Úhel [0-90 deg]**"

- volba **HV-rozsah** (menu **Nastavení** v hlavním menu **Výsledky**)

nastaví rozměry aktivního okna pomocí klávesnice.

Délkovou škálu od "Min" do "Max" lze z klávesnice přiřadit buď "vodorovné" nebo "svislé" hraně okna. Škála pro zbývající hranu okna je automaticky dopočítána tak, aby byly Objekty zobrazeny proporcionálně.

- volba **Styl hlavních výsledků** (menu **Nastavení** v hlavním menu **Výsledky**)

nastaví styl zobrazení hlavních výsledků jednotlivých Objektů v okně s výsledky dané Sestavy.

Objekt	prvky	uzly	obrys	+MAT	výsledky
w1			✓		✓
kov1			✓		
kovh			✓		

Každému Objektu lze v odpovídajícím řádku "Objekt" a v odpovídajícím sloupci nastavit zobrazení následujících stylů hlavních výsledků :

- "prvky" zapnutí zobrazení prvků sítě
- "uzly" zapnutí zobrazení uzlů sítě
- "obrys" zapnutí zobrazení obrysu
- "+MAT" zapnutí zobrazení materiálů
- "výsledky" zapnutí zobrazení výsledků

- volba **Styl vedlejších výsledků** (menu **Nastavení** v hlavním menu **Výsledky**)

nastaví styl zobrazení vedlejších výsledků v okně s výsledky dané Sestavy.

Podle potřeby lze v následujícím dialogu nastavit styl zobrazení hlavních výsledků jednotlivých Objektů dané Sestavy v aktivním okně na obrazovce :

Objekt	prvky	uzly	obrys	+MAT	výsledky
w1			✓		
kovd			✓		
kovh			✓		

OK Zrušit

Každému Objektu lze v odpovídajícím řádku "**Objekt**" a v odpovídajícím sloupci nastavit zobrazení následujících stylů vedlejších výsledků :

- "**prvky**" zapnutí zobrazení prvků sítě
- "**uzly**" zapnutí zobrazení uzlů sítě
- "**obrys**" zapnutí zobrazení obrysu

Zobrazení materiálů nebo výsledků není u vedlejších výsledků možné !

- volba **Animace** (menu **Nastavení** v hlavním menu **Výsledky**)

nastaví řídicí parametry animace výsledků.

Parametry animace

Posloupnost časových kroků pro animaci:

☒ každý 3 kroku nad 0

☐ rovnoměrně s počtem kroků 5

Způsob animace:

☒ opakovaná Frekvence: 200 ms

☐ jednosměrná

☐ krok po kroku

OK Zrušit

Posloupnost časových kroků pro animaci

Předpis pro výběr časových kroků, které budou zahrnuty do sekvence obrázků pro animaci. Program automaticky vybere časové kroky tak, aby se jejich počet pohyboval kolem 5-7. Toto nastavení lze změnit dvěma způsoby:

- "každý xx krok nad yy" - do sekvence pro animaci bude vybrán každý xx-tý krok s pořadovým číslem vyšším než yy
- "rovnoměrně s počtem kroků N" - do sekvence pro animaci bude vybrán předepsaný počet časových kroků N tak, aby časové intervaly mezi jednotlivými kroky byly zhruba stejné

Způsob animace

Předpis pro nastavení způsobu animovaného pohybu. Lze vybrat mezi třemi způsoby animace:

- "opakovaná" - animovaný pohyb se opakuje bez přerušení v obou směrech
- "jednosměrná" - animovaný pohyb proběhne pouze v jednom směru bez opakování
- "krok po kroku" - zobrazení jednotlivých obrázků se řídí stisknutím klávesy <Enter>

Frekvence

Čas v milisekundách, který určuje časový interval mezi zobrazením dvou sousedních obrázků. Zvyšováním tohoto času lze zpomalovat průběh animace a naopak.

- volba **Délkové jednotky** (menu **Nastavení** v hlavním menu **Výsledky**) nastaví systém délkových jednotek pro zadávání rozměrů a vzdáleností.



Kromě délkových jednotek se v dialogu nastavují i "desetinná místa", tedy počet desetinných míst pro zobrazování čísel v I/O liště.

Program vyžaduje používání jednotek soustavy SI. Vyjímkami jsou pouze:

- napětí, které se zadává a zobrazuje v MPa
- rozměry a vzdálenosti, které lze zadávat nebo zobrazovat v milimetrech, pokud si to uživatel nastaví.

6.0 PŘÍKLADY VYUŽITÍ SIMULAČNÍCH SOFTWARE DEFORM, FORMFEM A Q FORM

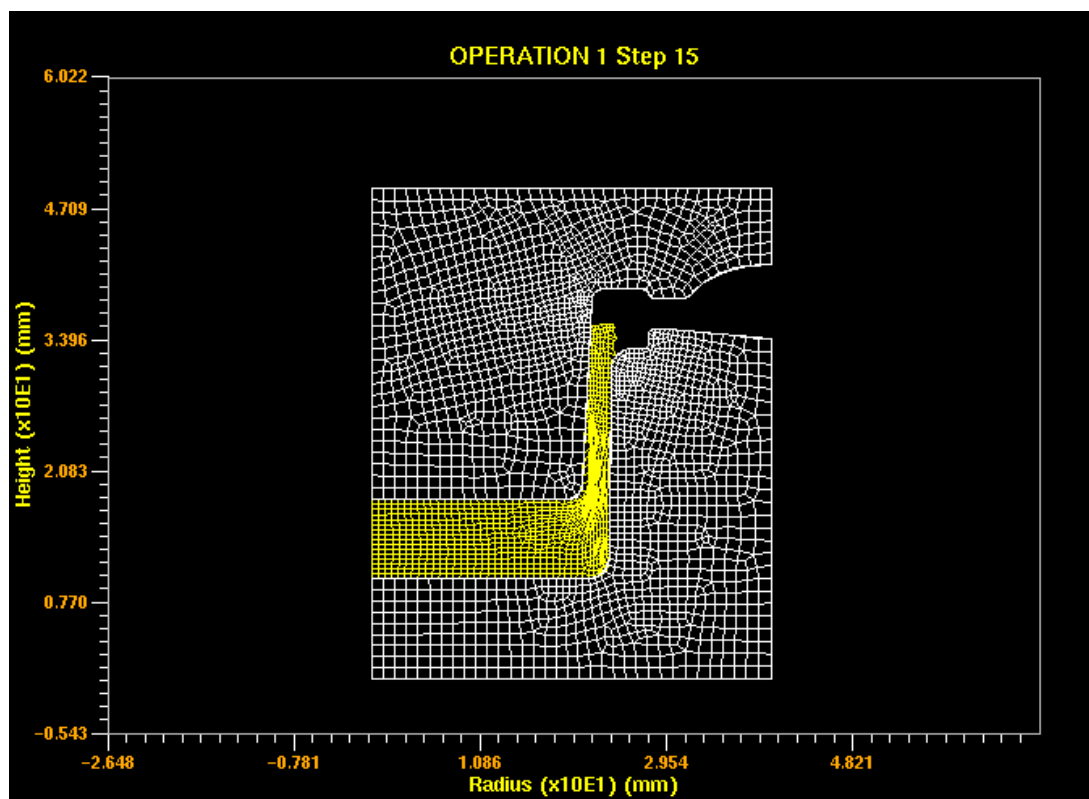
Simulace vzniku přeložky (DEFORM)

Závěrečná fáze kovacího zdvihu kování kola (Q Form)

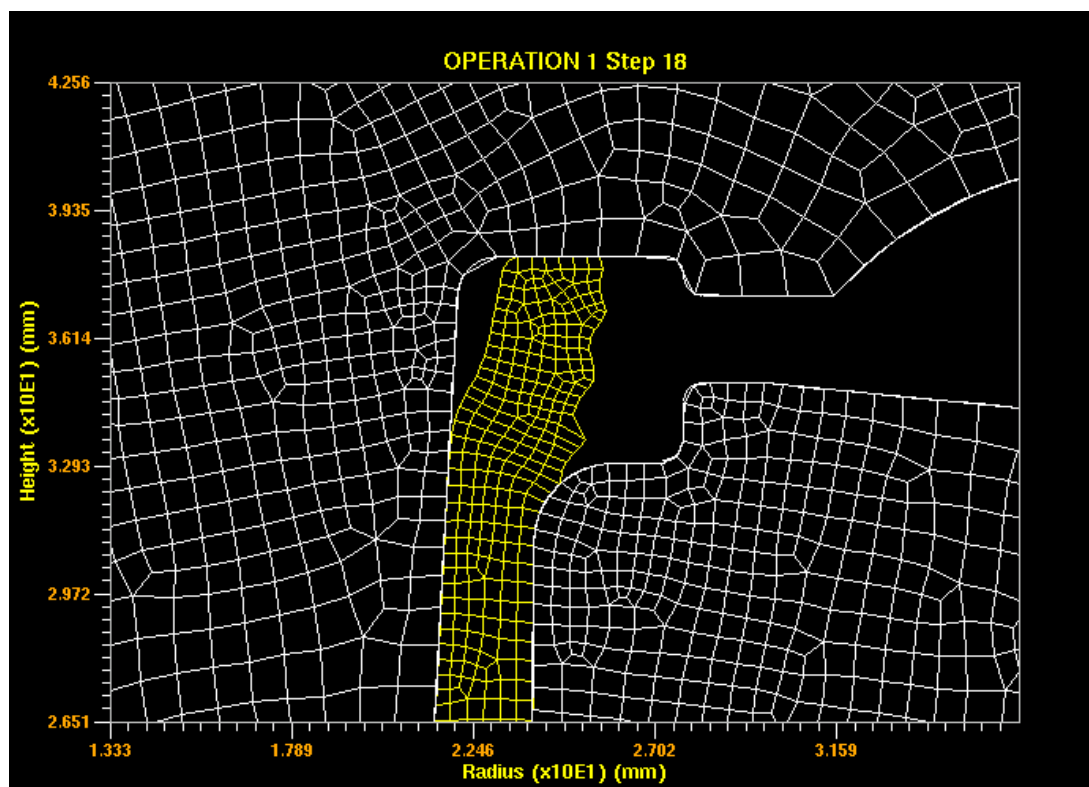
Tažení kruhového výtažku (DEFORM, FormFEM)

6.1 SIMULACE VZNIKU PŘELOŽKY (DEFORM)

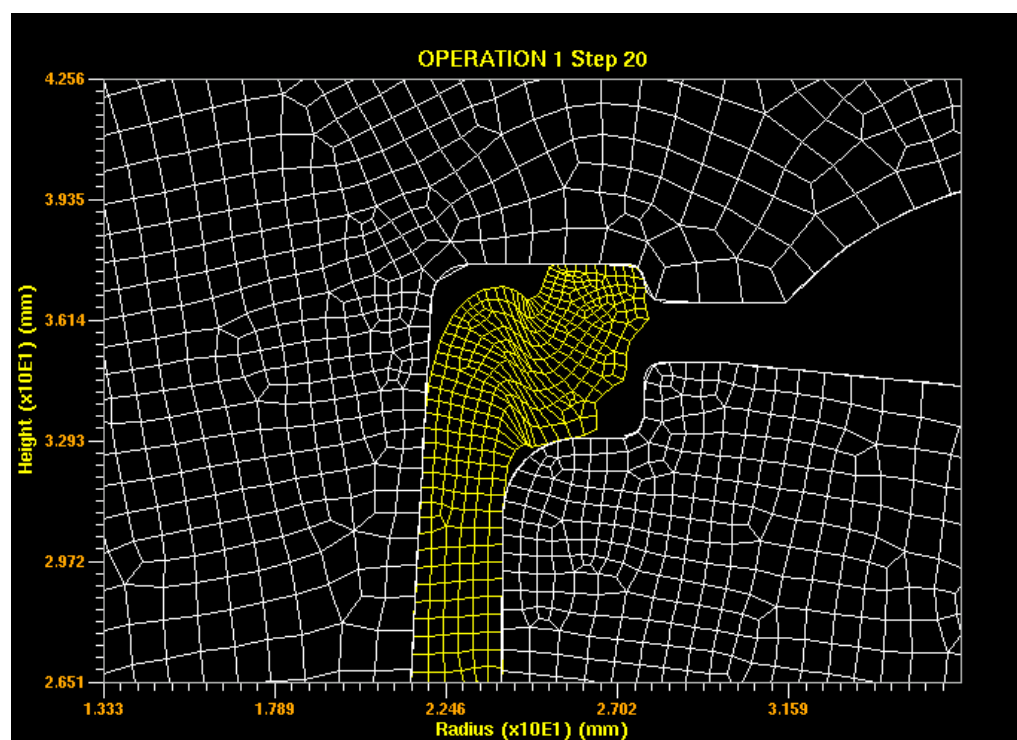
Deformační síť ve střední části zdvihu:



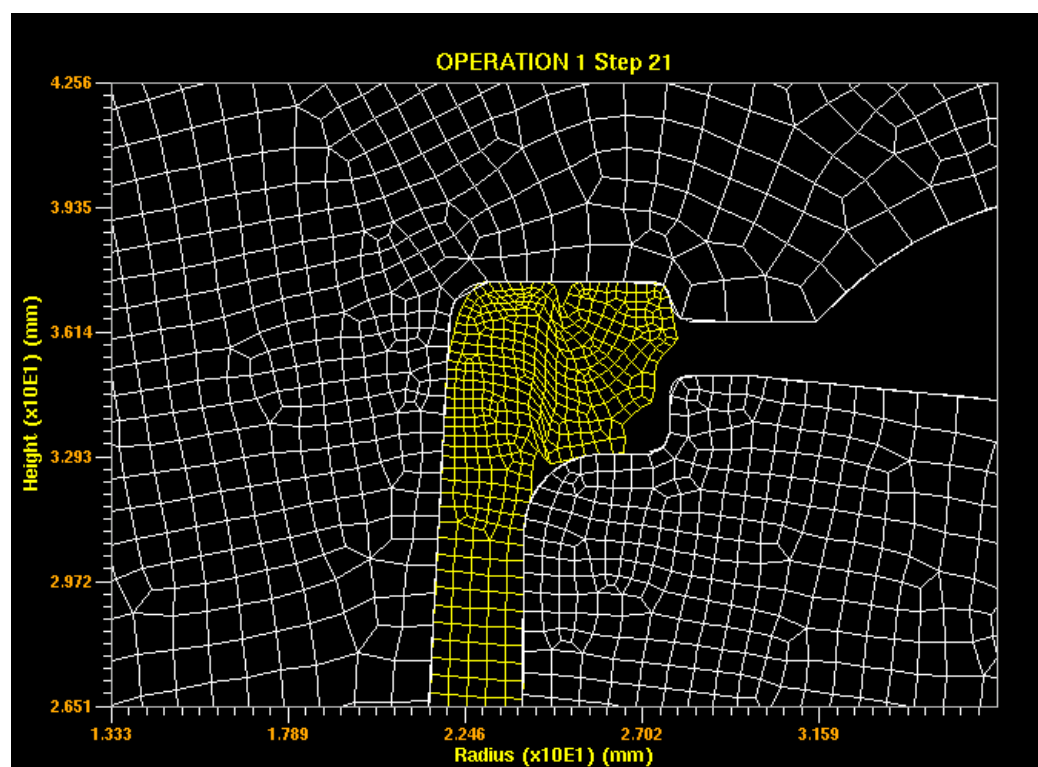
Deformační síť – počátek vytváření přeložky:



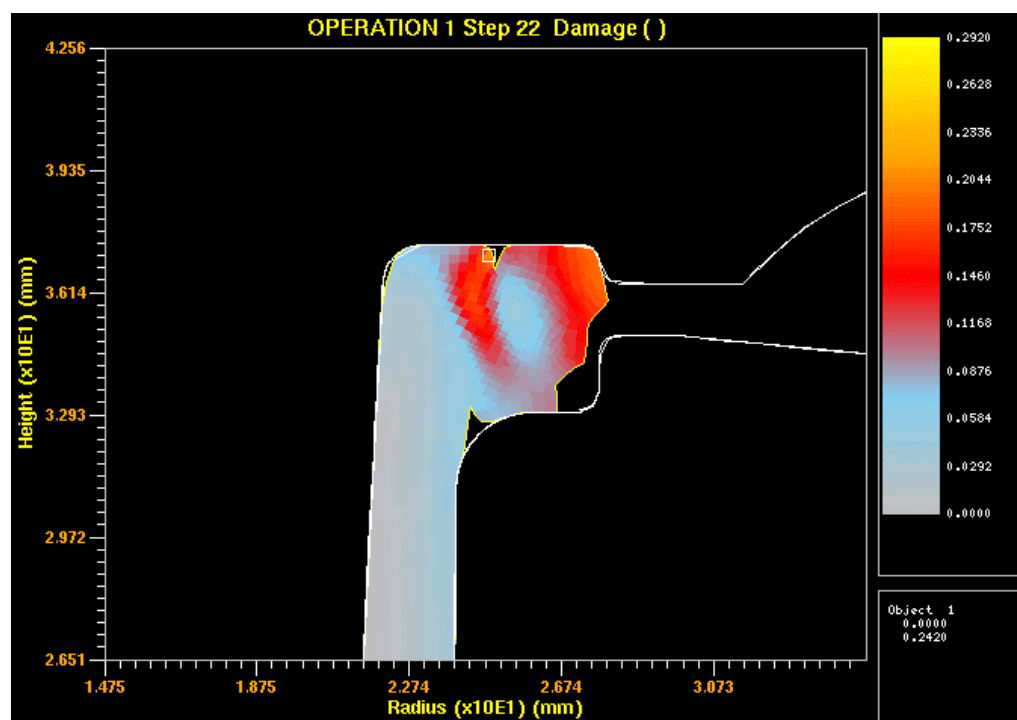
Deformační síť – další fáze vytváření přeložky :



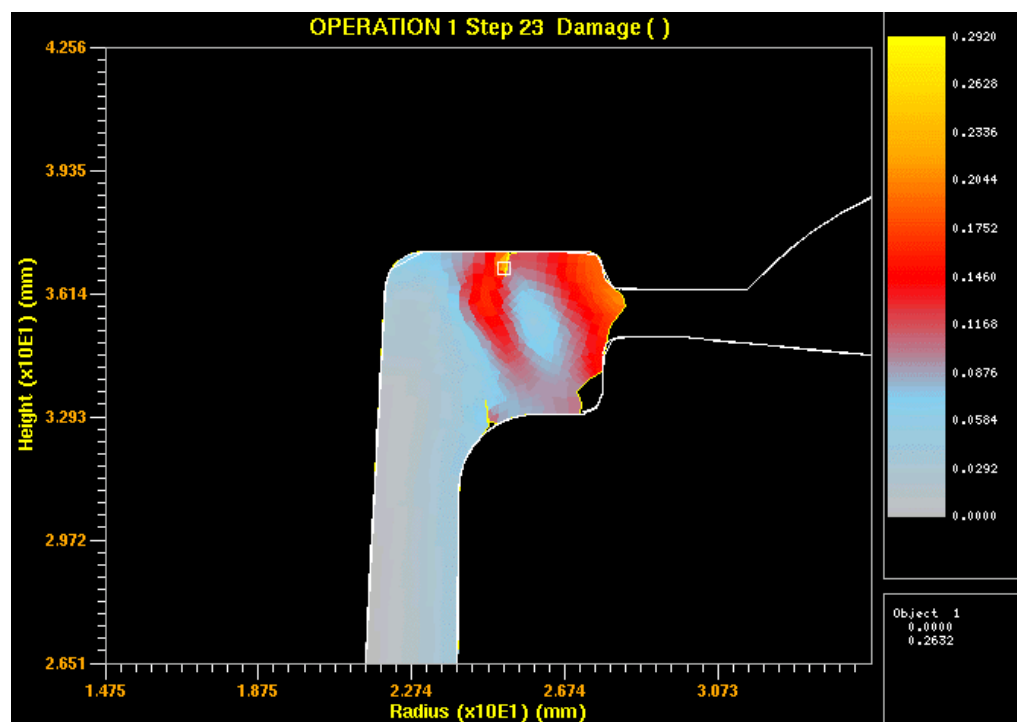
Deformační síť – fáze uzavírání přeložky :



Průběh hodnot predikce vzniku trhlin při uzavírání přeložky :

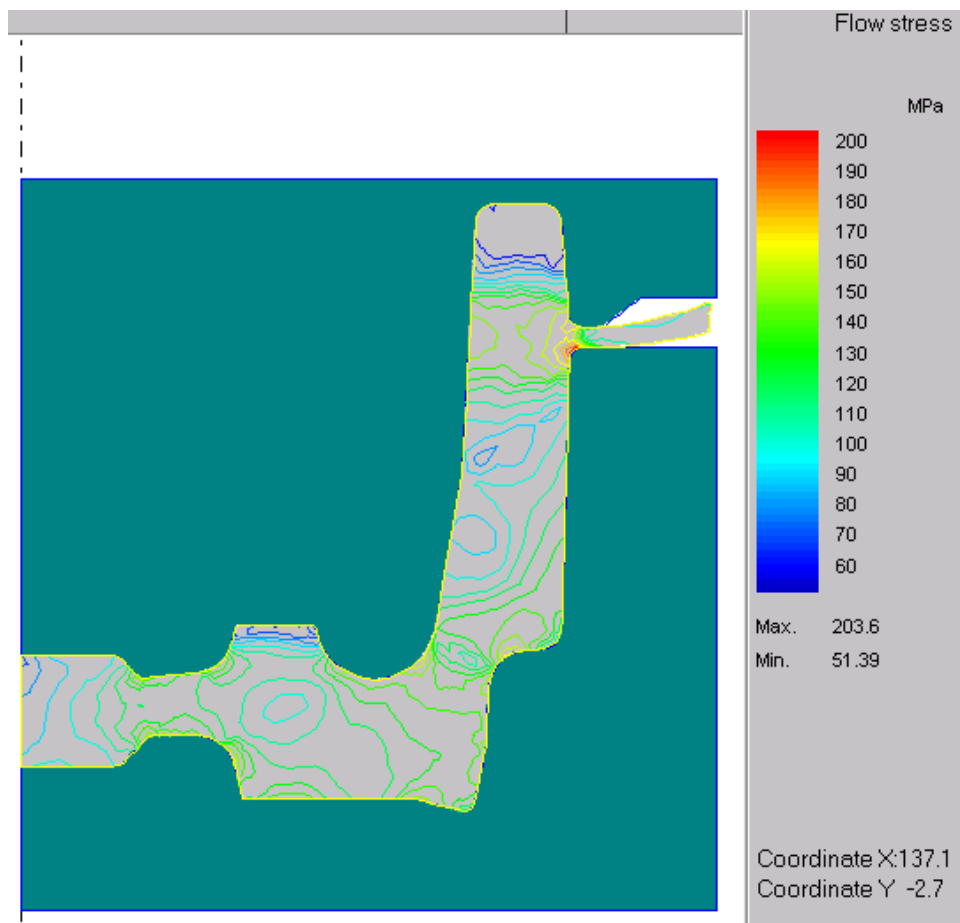


Průběh hodnot predikce vzniku trhlin v závěrečné fázi zdvihu lisu :

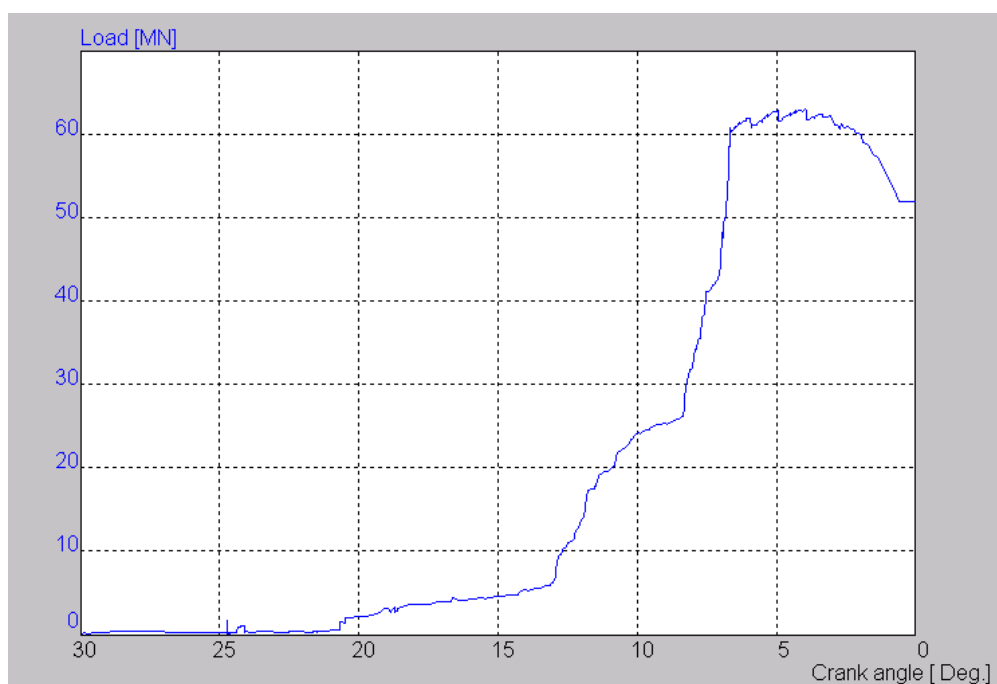


6.2 ZÁVĚREČNÁ FÁZE KOVACÍHO ZDVIHU KOVÁNÍ KOLA (Q FORM)

Průběh středního napětí při dokování výkovku kola :

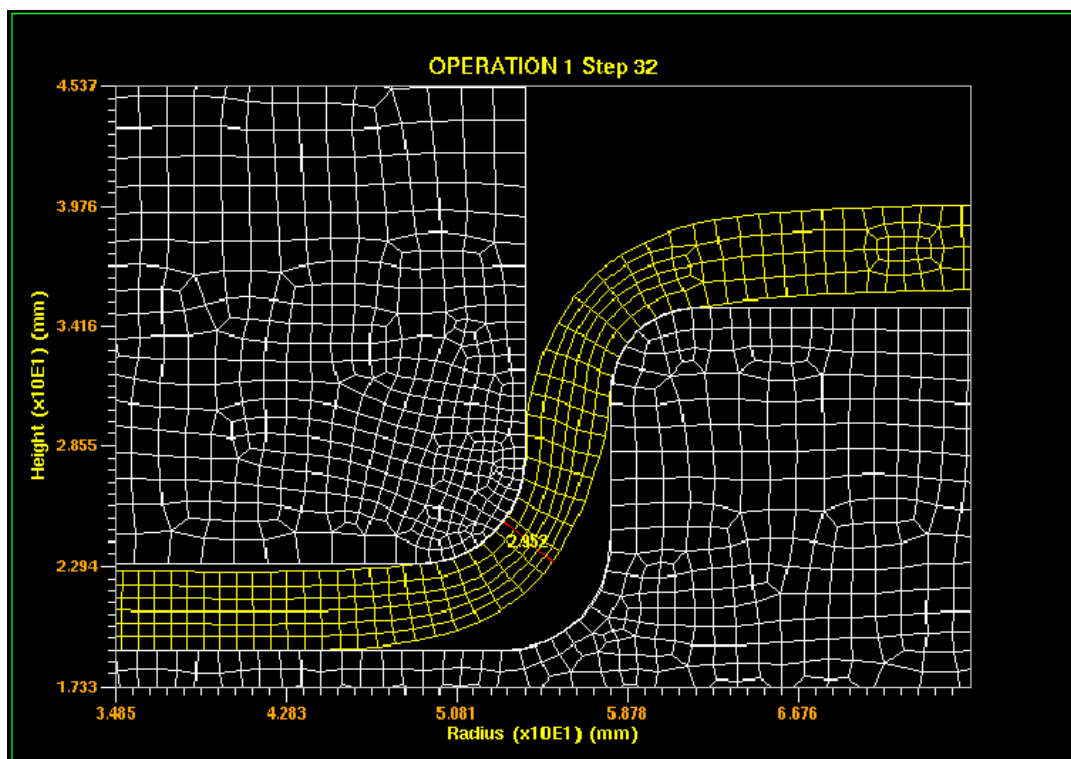


Průběh tvářecí síly :

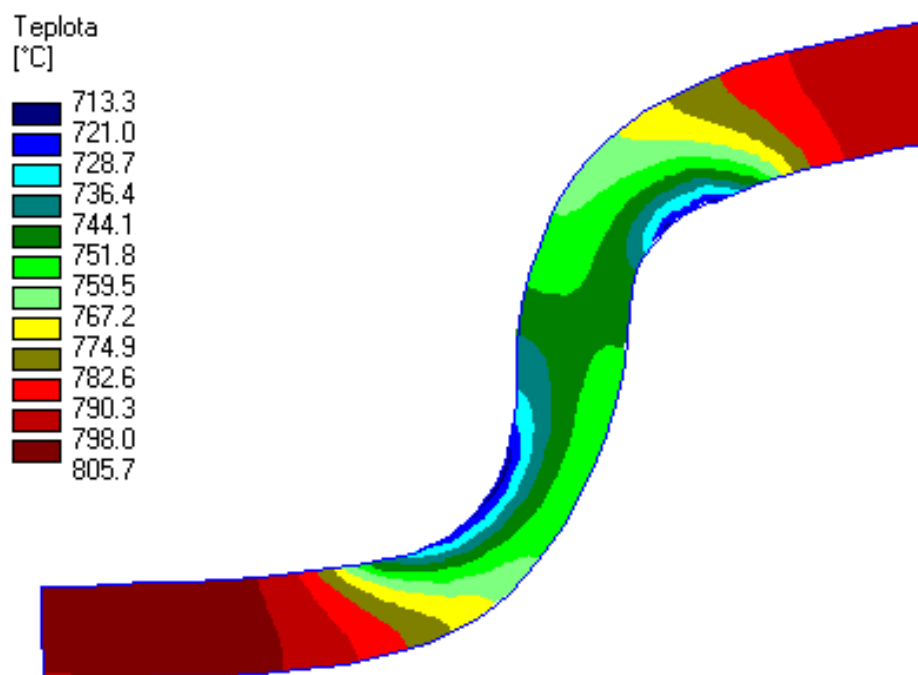


6.3 TAŽENÍ KRUHOVÉHO VÝTAŽKU (DEFORM, FORMFEM)

Stanovení minimální tloušťky stěny (DEFORM)



Průběh teplotního pole po skončení tažné operace (FormFEM)



7.0 OBSAH

1.0	Možnosti měření v postprocessingu	2
2.0	Možnosti grafické manipulace s výsledky posprocessingu	4
3.0	Export grafických výstupů	5
4.0	Režim práce s hlavními výsledky postprocessingu	6
4.1	Hlavní výsledky	6
5.0	Nastavení voleb výsledků simulace	12
6.0	Příklady využití simulačních software DEFORM, FormFEM a Q Form	15
6.1	Simulace vzniku přeložky (DEFORM)	16
6.2	Závěrečná fáze kovacího zdvihu kování kola (Q Form)	19
6.3	Tažení kruhového výtažku (DEFORM, FormFEM)	20
7.0	Obsah	21
8.0	Seznam použité literatury	21

8.0 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. Harley, P., Pilinger, J., Sturgess, C. : Numerical Modelling of Material Deformation Processes, Spriger-Verlag 1992
2. Rowe G., Strugress C.: FEM plasticity and metalforming analysis, Cambridge University Press 1991
3. Kolář, V., FEM: Principy a praxe metody konečných prvků, Computer Press Praha 1997
4. Kratochvíl C., Ondráček E.: Mechanika těles- počítače a MKP, VUT Brno 1987
5. Hutchings, I.: Tribology- friction and wear engineering materials, Cambridge University Press 1992
6. Manuály: FORM 2-D, MARC AUTOFORGE, MSC SUPERFORGE 1.0 , FORMFEM 1.5
7. Čermák ,J.: Cíle a možnosti využívání simulací ve tváření kovů, ČVUT Praha 2000
8. Kříž R., Vávra P.: CIM – Počítačová podpora výrobního procesu, svazek 2 , oddíl F , SCIENTIA spol. s.r.o. – Praha 1999