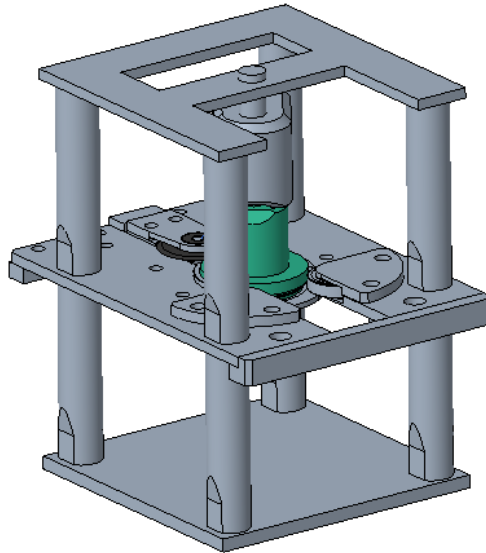


PŘÍLOHA č. 3

Simulace zatížení navrženého 3D modelu

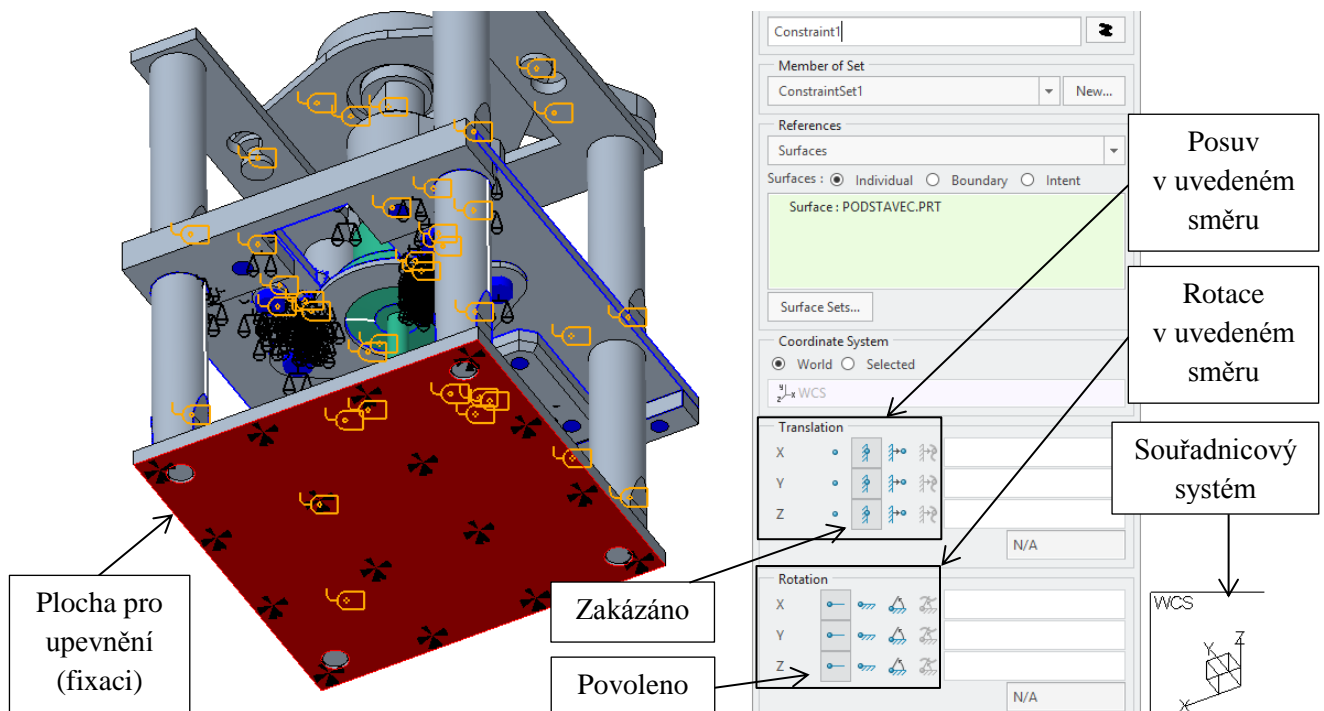
Statická analýza zatížení - střední deska

V prvním kroku byl pro analýzu zatížení 3D model zjednodušen. Byly odebrány veškeré zaoblení a sražení, které znatelné neovlivňují funkčnost, či pevnost zařízení během samotné simulace. V této simulaci byl ponechán koncepční přenosový segment, protože jeho opěra pro zjednodušený výrobek v simulaci je velmi podobná nově navrženému.



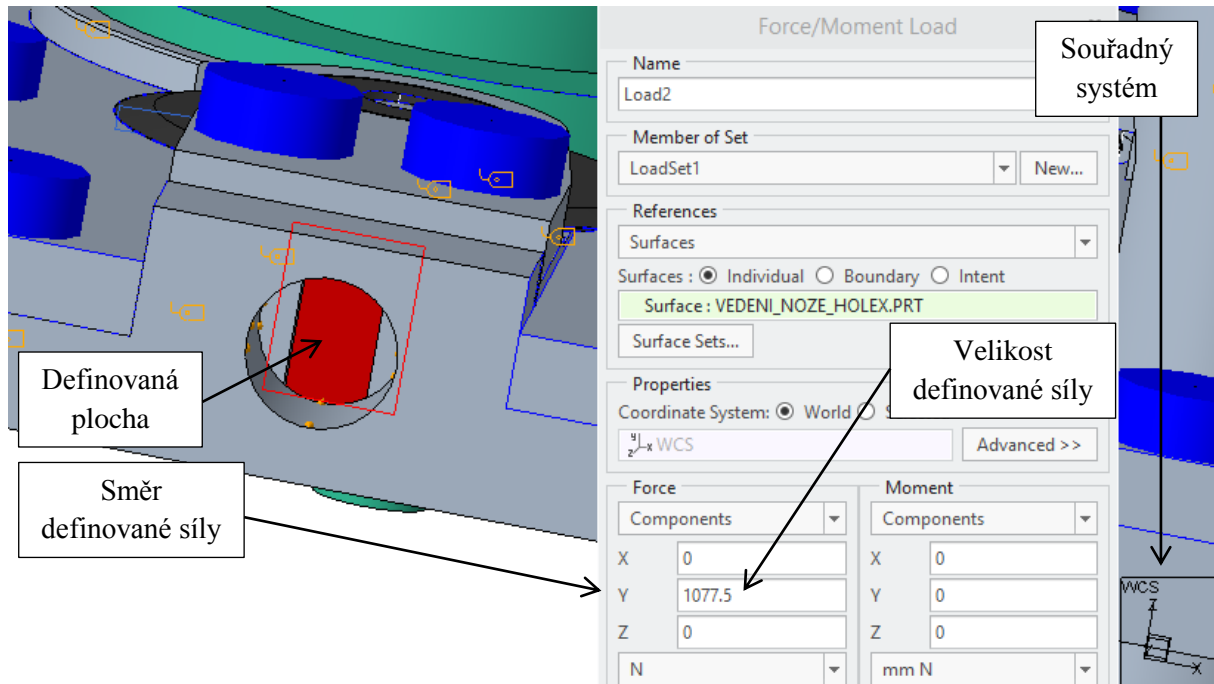
Obrázek 1 - zjednodušený 3D model

Jelikož se u zařízení očekává pevné upnutí k pracovnímu stolu pomocí stolové upínky, byla spodní plocha pro simulaci pevně zafixována funkcí Constraint.

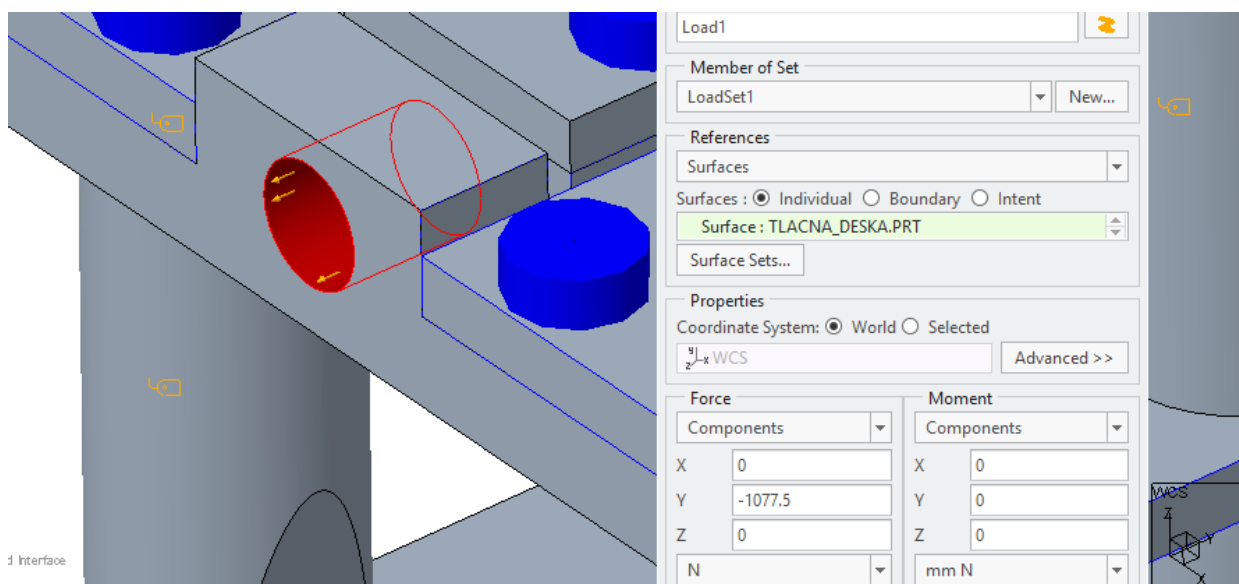


Obrázek 2 - příkaz upevnění podstavce včetně základního popisu funkcí Constraint

Z hlediska zatížení byl nasimulován potenciálně nejhorší možný stav. Jedna síla byla přidělena na zadní plochu tvarové desky, na které je umístěn kruhový nůž. Tato síla simuluje plné zatížení nože při potenciálně zjednodušeně dokonale tuhém uložení tlačného šroubu bez jeho deformace. Druhá síla byla přiřazena pro simulaci přesně opačné situace. Umístění druhé síly bylo voleno do otvoru o průměru 8 mm (znázorňující velký průměr závitu M8x1) a znázorňovala potenciálně dokonale tuhý nůž i všechny ostatní komponenty, aby došlo k plnému zatížení tlačné desky (ve které je závit tlačného šroubu). Pro otvor byl volen velký průměr závitu z důvodu odebrání nejvíce materiálu a tím maximálního zeslabení stran součásti, ve které se otvor nachází. Obě síly jsou rovnoběžné s osou tlačného šroubu.

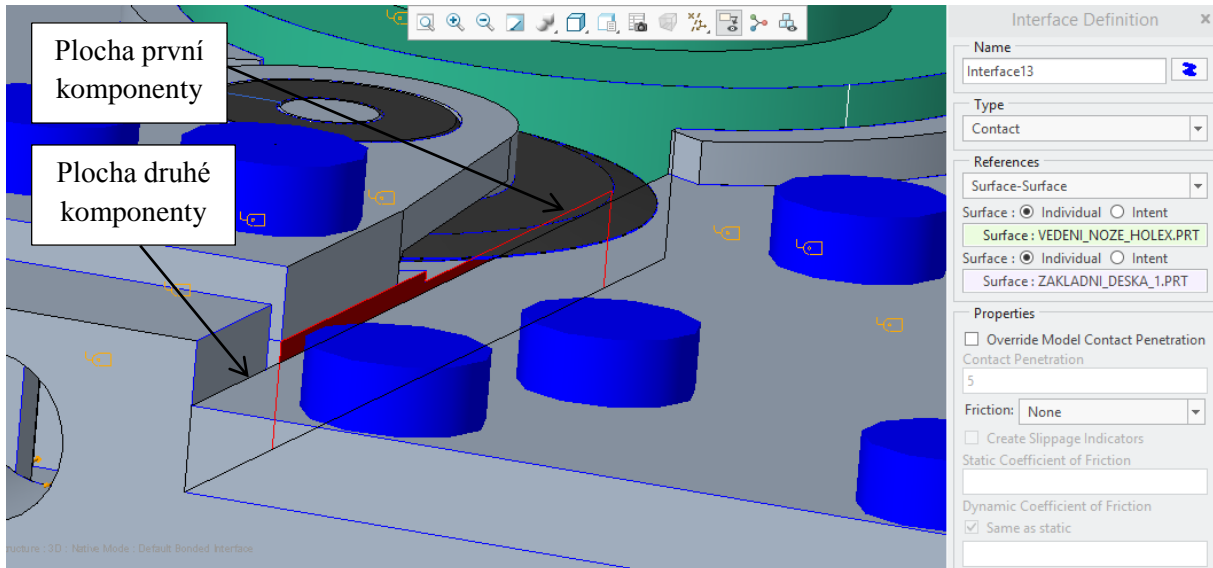


Obrázek 3 - definování první zatěžující síly o velikosti 1077,5 N



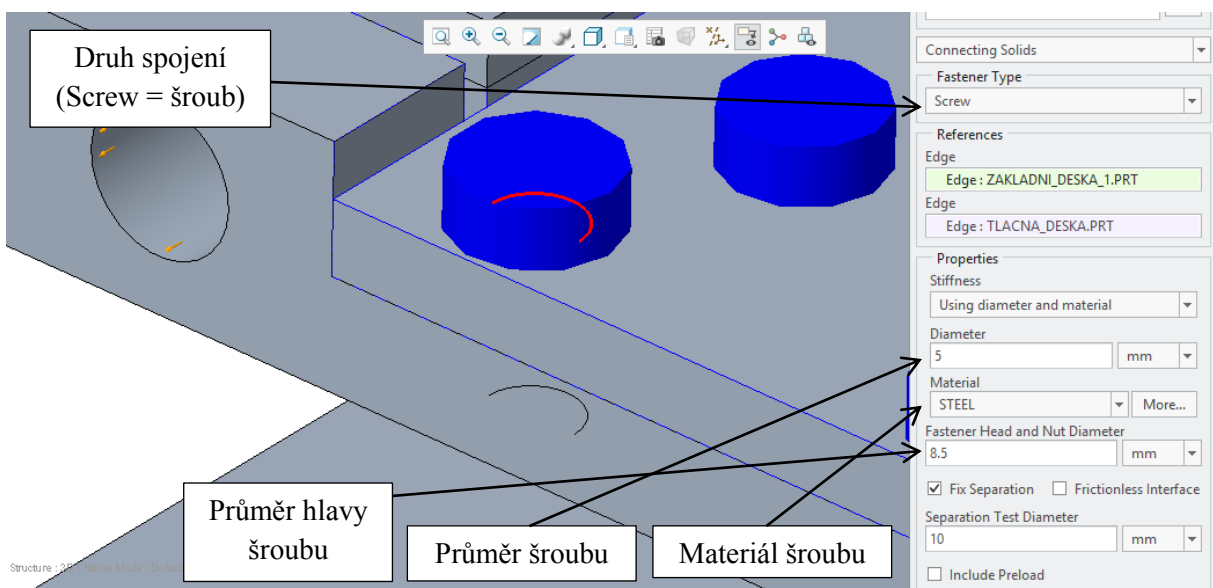
Obrázek 4 - definování druhé zatěžující síly o stejné velikosti 1077,5 N

U modelu byly nastaveny vazby Contact (reprezentující dotek komponent) namísto původního Bonded (pevné spojení na stykové ploše) v místech, kde k doteku mezi komponenty dochází a hlavně, kde se komponenty mezi sebou mohou pohybovat. Mezi tyto místa patří hlavně vedení nože a držáky opěrných ložisek



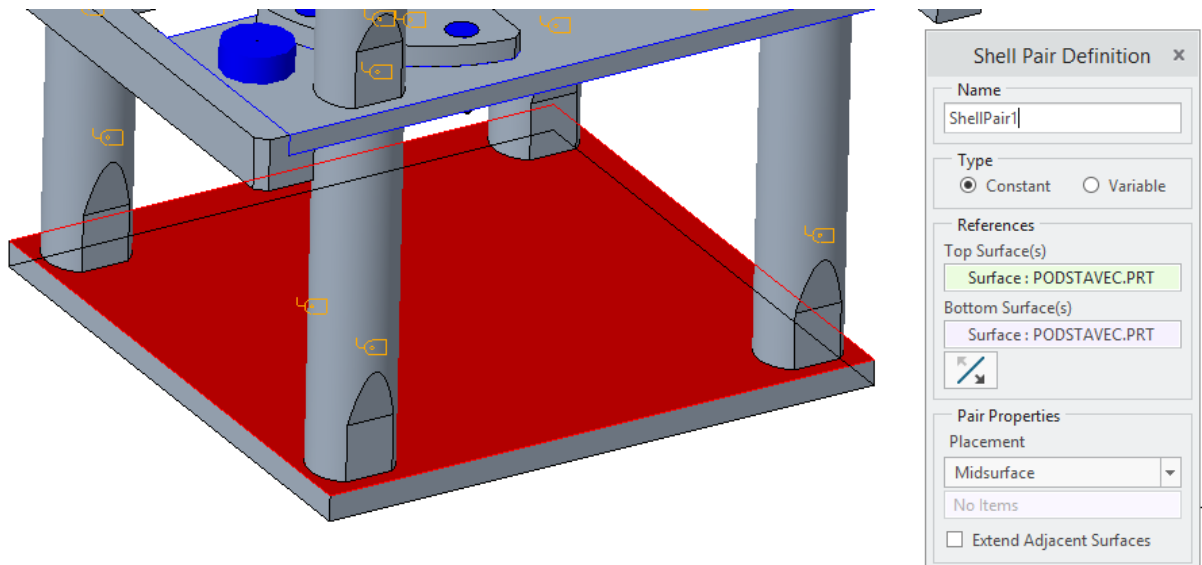
Obrázek 5 - příklad dotyku dvou ploch uvedených komponent pomocí funkce Contact

Dále byla v modelu použita funkce Fastener zastupující spojení pomocí šroubů. Díky této funkci jsou komponenty taktéž nespojeny na jejich stykových plochách jako je tomu u funkce Contact. Šrouby byly voleny stejných parametrů, jako byly znázorněny ve finálním 3D modelu.

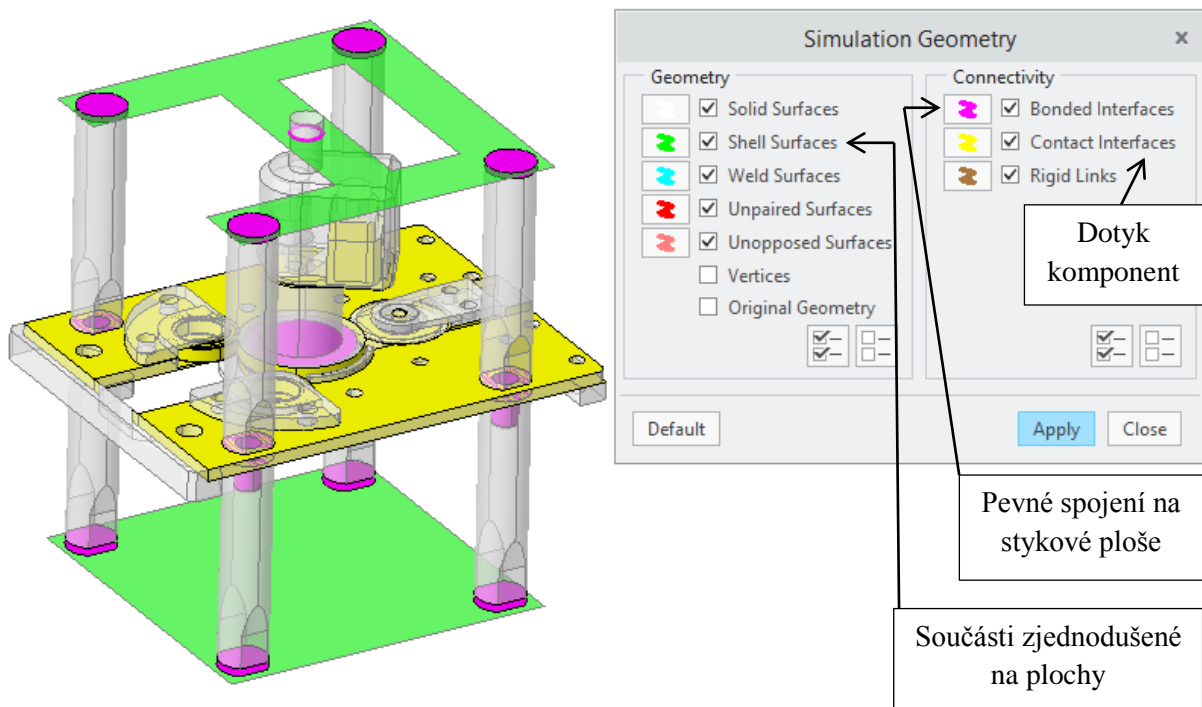


Obrázek 6 - definování funkce Fastener zastupující šroubové spojení

Dále byly na modelu zjednodušeny větší plochá objemová tělesa o menších tloušťkách na jejich střednice (středové plochy objemových stěn) pomocí funkce Shell Pair.



Obrázek 7 - definování funkce Shell Pair



Obrázek 8 - zobrazení vazeb zjednodušeného modelu

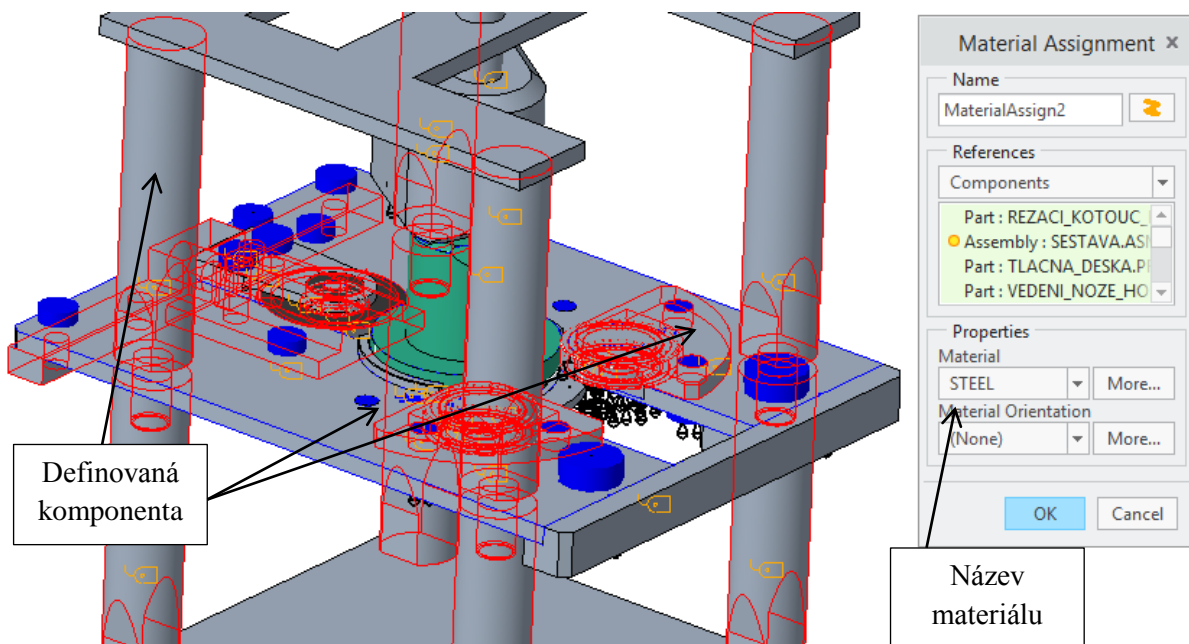
Pro analýzu byly použity následující materiály:

- Ocel („STEEL“) – kruhový nůž, vedení kruhového nože, opěrná ložiska, ložisko v horní části pro ruční páku, aretační kolíky, aretační západka, držáky opěrných ložisek, opěrná deska tlačného šroubu, spojovací tyče desek, ruční páka, přenosový segment
- „HLINIK“ – všechny ostatní části zařízení
- PA66-GF – výrobek TEV

Základní vlastnosti použitých materiálů z knihovny PTC CREO 5.0 „Steel“, „PA66-GF“ a materiálu „HLINÍK“ z knihovny ZČU uvádí následující tabulka:

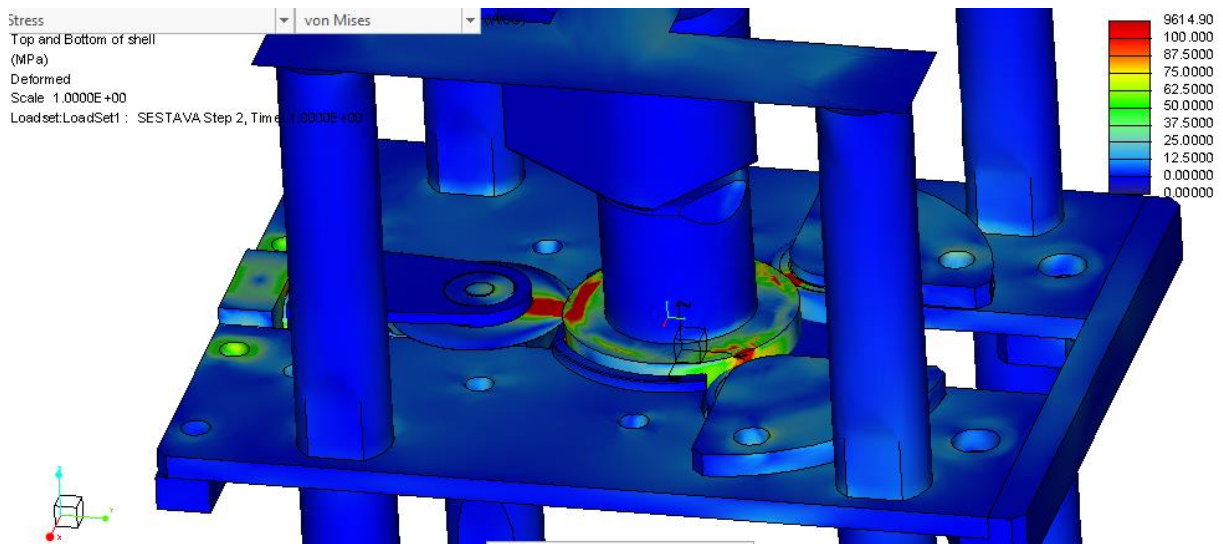
Tabulka 1 - základní vlastnosti použitých materiálů

Materiál	Hustota [t/mm ³]	Poissonovo číslo	Youngův modul [MPa]
STEEL	7,82708*10 ⁻⁹	0,27	199948
HLINIK	2,794*10 ⁻⁹	0,33	73080
PA66-GF	1,36*10 ⁻⁹	0,35	6820

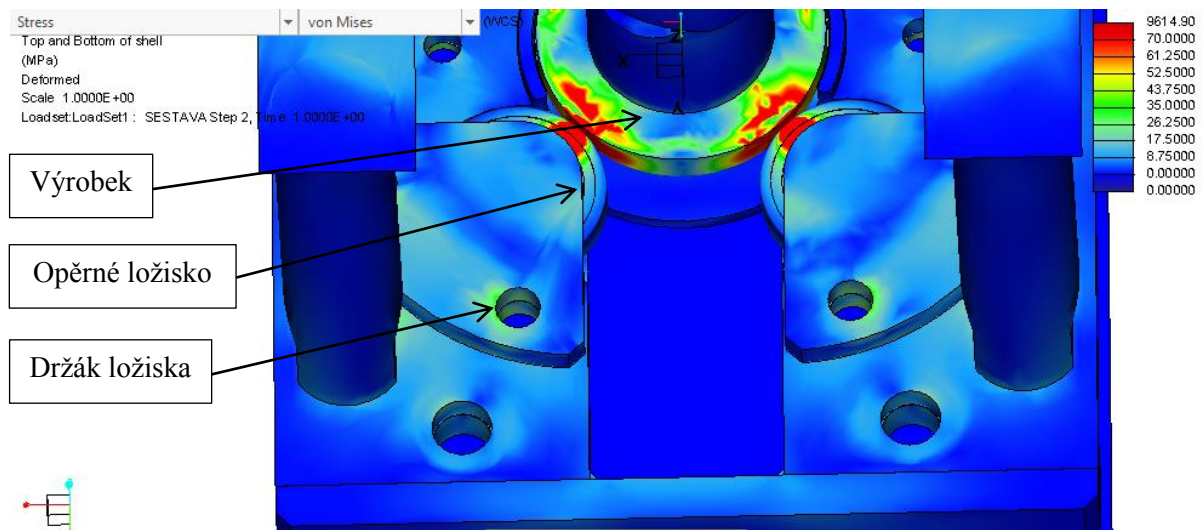


Obrázek 9 - přiřazení materiálu "STEEL" uvedeným označeným materiálům

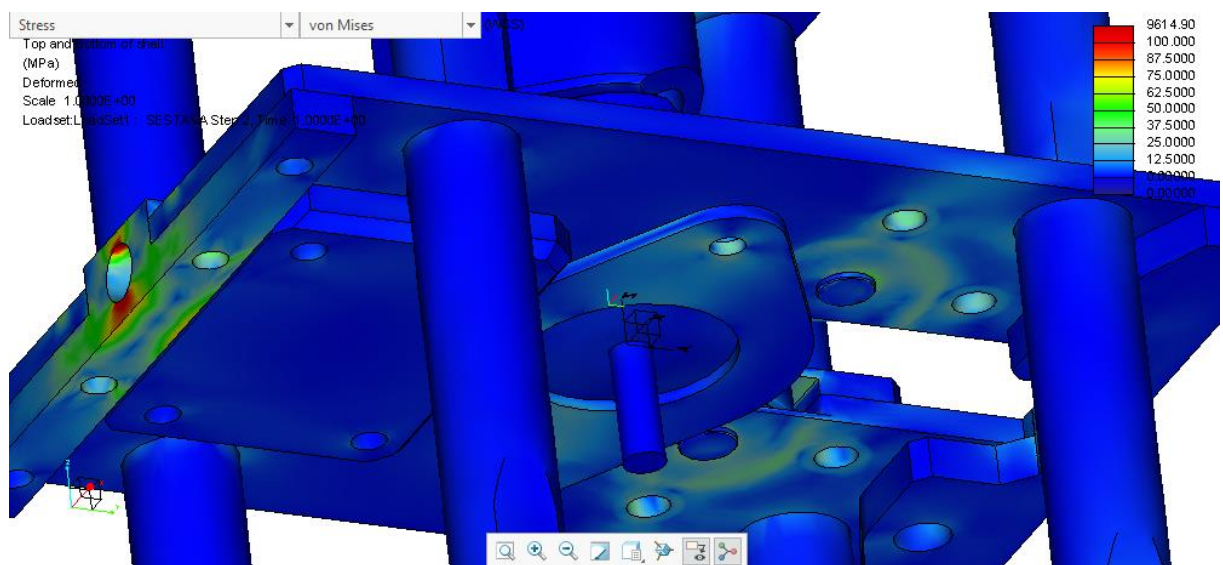
Výsledkem analýzy zatížení je maximální redukované napětí von Mises (dle hypotézy HMM) 9615 MPa v místě dotyku kruhového nože a plastového svařence. Vysoké hodnoty napětí nabývá z důvodu opření nože na velmi malé elementární ploše plastového výrobku.



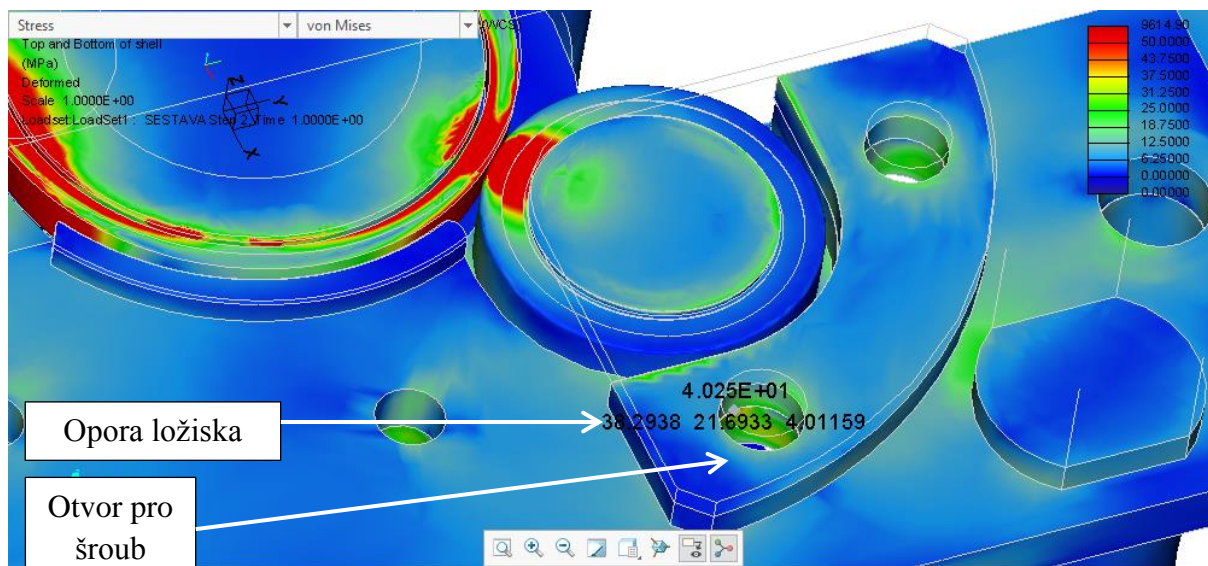
Obrázek 10 - redukované napětí von Mises (dle hypotézy HMM) v MPa s upraveným (názornějším) měřítkem



Obrázek 11 - pohled seshora na opěrná ložiska výrobku, redukované napětí v MPa

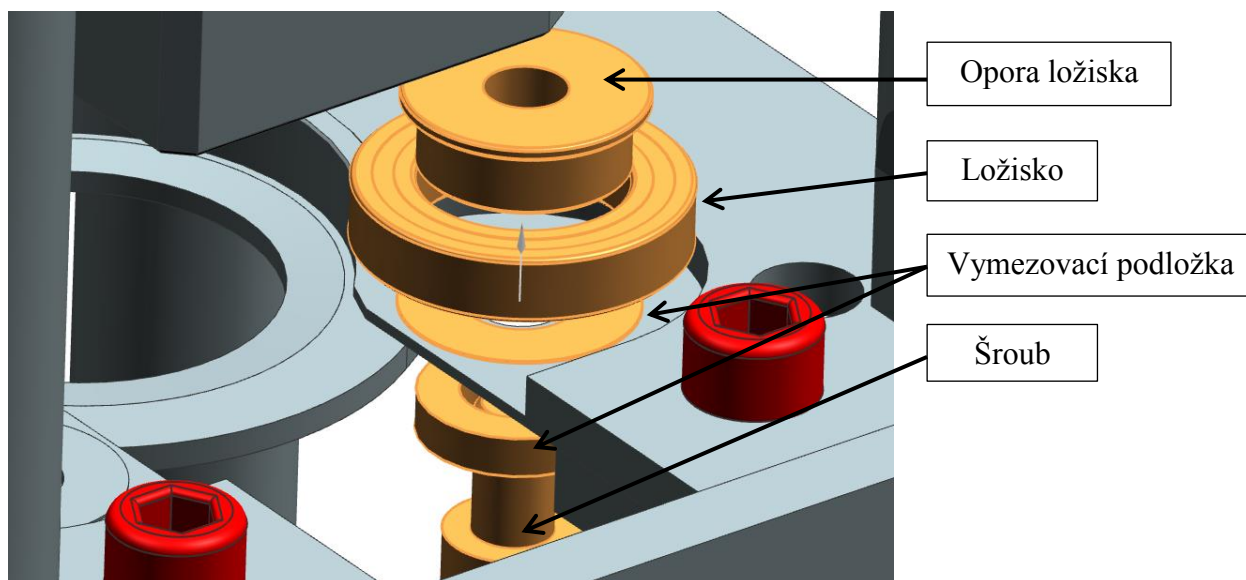


Obrázek 12 – pohled zespod na střední desku s uložení ložisek (hodnota redukovaného napětí kolem 45 MPa)

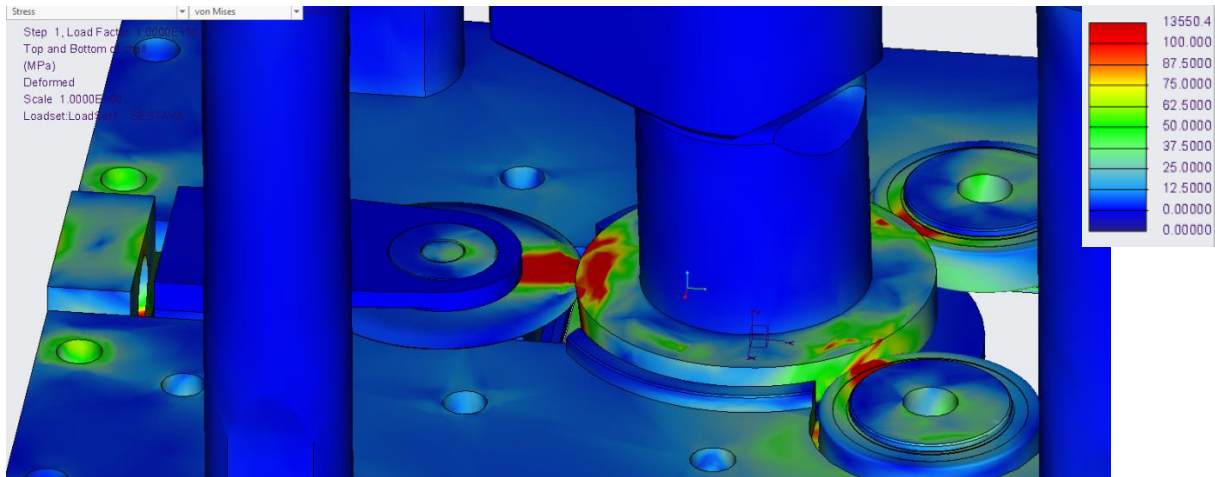


Obrázek 13 – řez oporou ložisek v a zobrazení lokálního maxima (40,25) redukovaného napětí v MPa

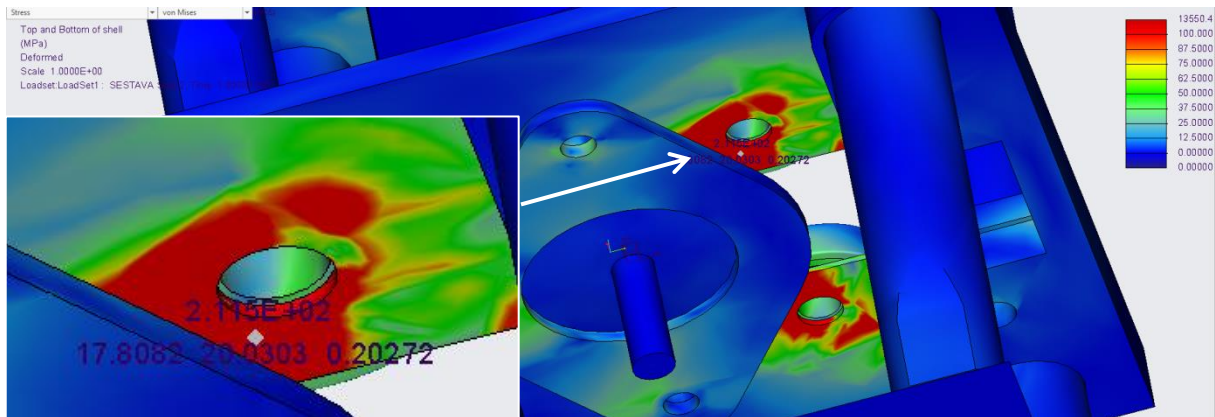
Z hlediska možné jednodušší výroby zařízení bylo vhodné otestovat i jiný navržený typ uložení ložisek. Tento typ byl přichycen pouze ve středovém otvoru v ose ložiska. Výsledkem této analýzy bylo redukované napětí 211 MPa na boční desce v okolí šroubu držící oporu ložiska, což by při zvoleném materiálu AW EN 6082 ($R_{p0,2} = 110$ MPa) bylo destruktivní.



Obrázek 14 - návrh zjednodušeného vedení opěrných ložisek

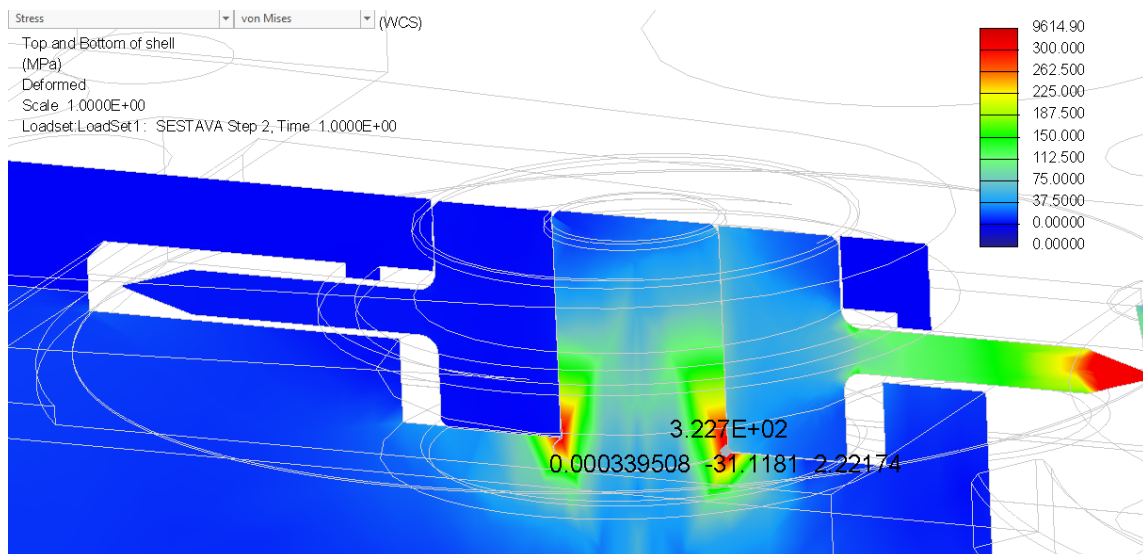


Obrázek 15 - pohled seshora na střední část se zjednodušeným uložením ložisek, zobrazeno redukované napětí v MPa



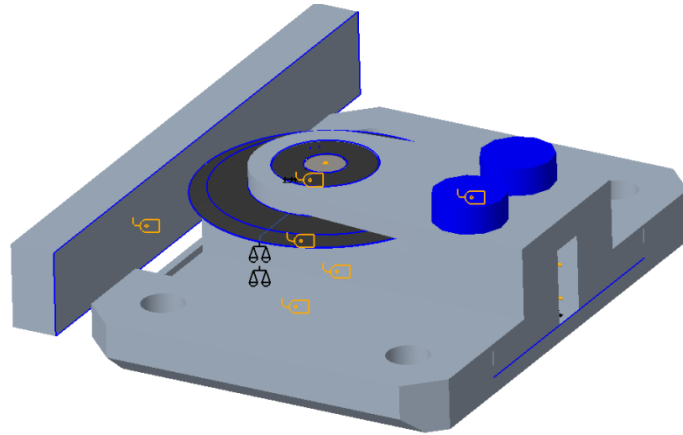
Obrázek 16 - pohled zespoda na střední část s detailem na kritické hodnoty redukovaného napětí (211,5 MPa)

V analýze (s vyhovujícími oporami ložisek) bylo zjištěno, že redukované napětí v čepu nesoucí kruhový nůž je relativně vysoké (322,7 MPa). Navíc se zde vyskytuje ostrý roh – potenciaální koncentrátor napětí.

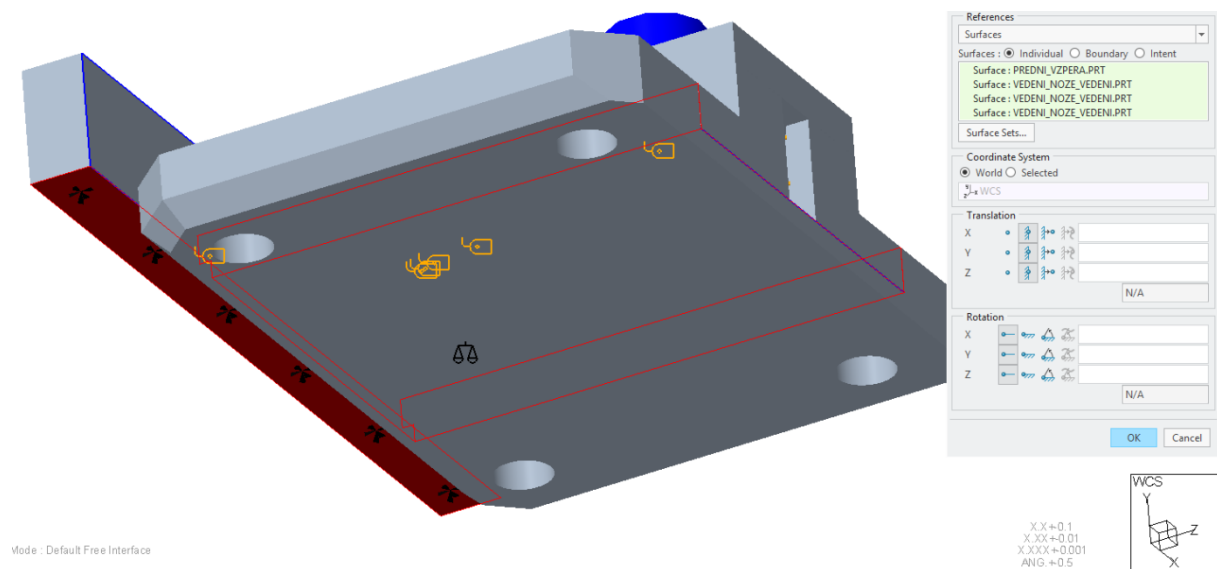


Obrázek 17 - řez uložením kruhového nože - ve vodícím segmentu, zobrazeno redukované napětí v MPa

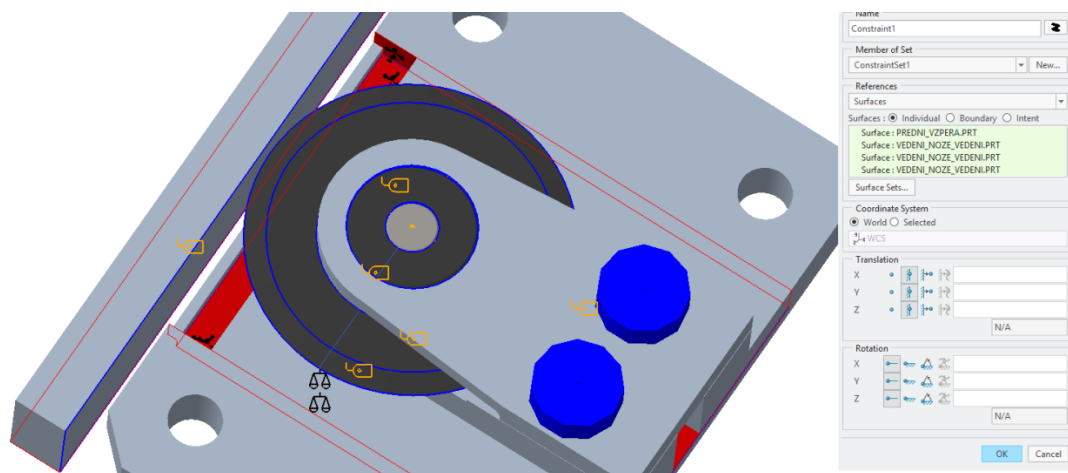
Z důvodu velmi vysoké časové náročnosti analýzy i na zjednodušeném modelu byla vytvořena menší úloha, zjednodušeně reprezentující zatížení čepu nože. Zjednodušený model je tvořen vedením nože, jeho opěrou zespod, která spojuje boční desky, nožem, přiklopením nože a „zarážkou“ která zjednodušeně simuluje opření nože o výrobek TEV.



Obrázek 18 – zobrazení modelu pro zjednodušenou úlohu kruhového nože

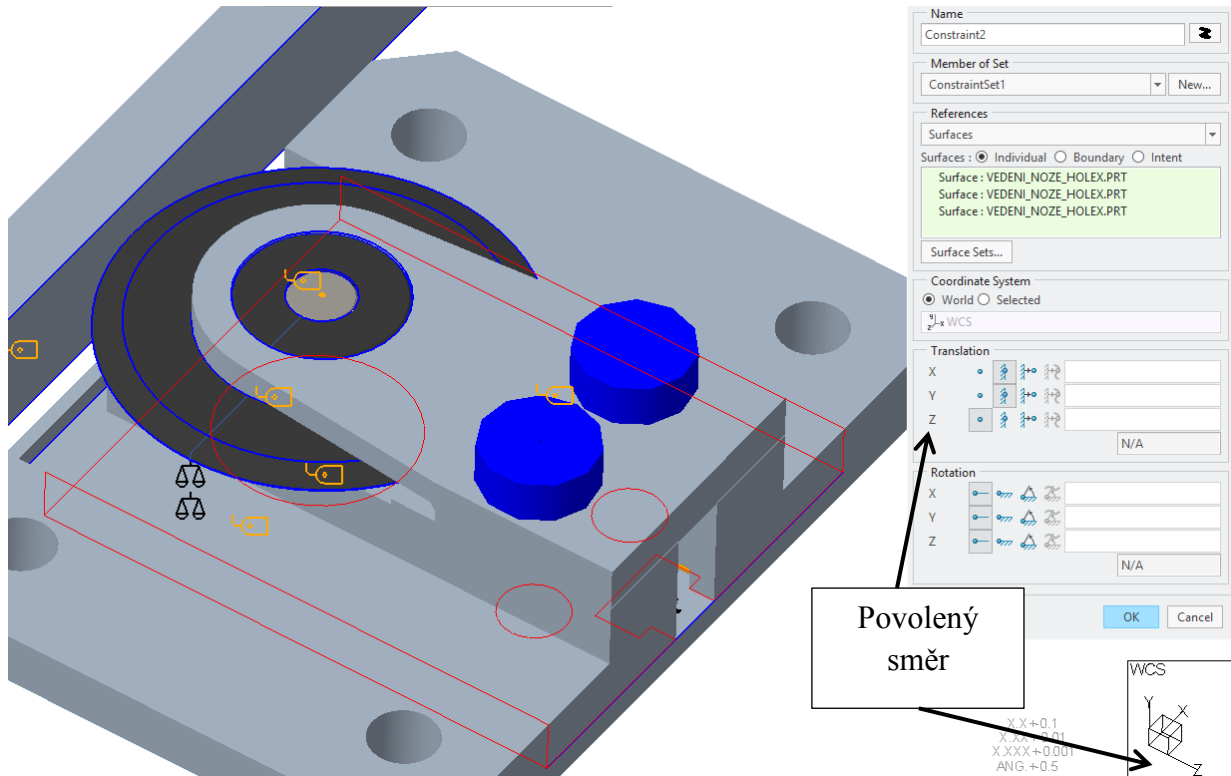


Mode : Default Free Interface



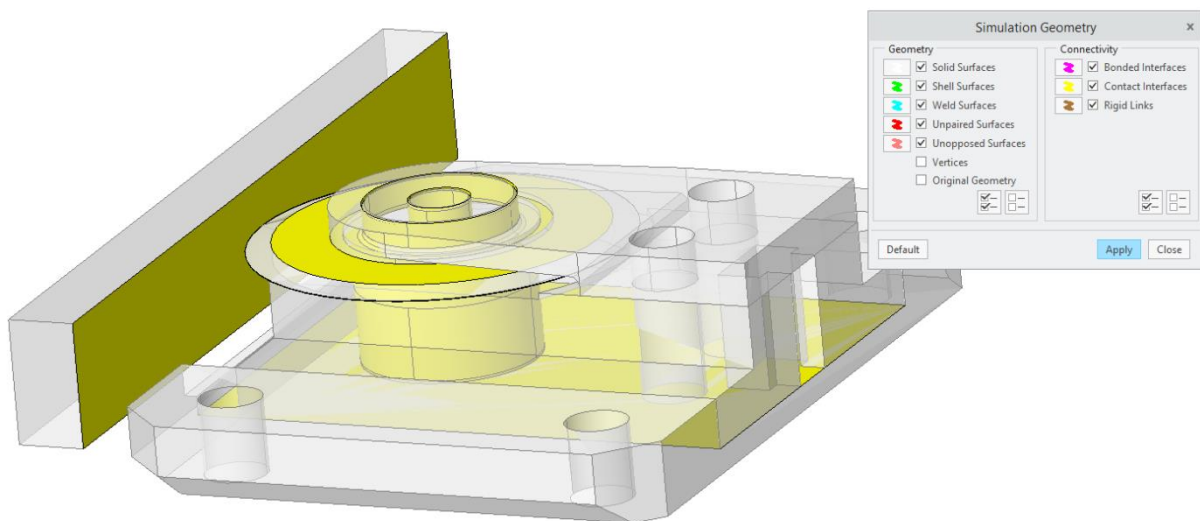
Obrázek 19 - definování okrajových podmínek označených ploch (zákaz pohybu ve všech směrech)

Z hlediska okrajových podmínek bylo nastaveno u opěry vedení nože a zarážkou nože kompletní ukotvení (zakázání pohybů do všech směrů). U tvarové desky nesoucího kruhový nůž byl povolen pouze pohyb v předpokládaném směru pohybu nože (lze vidět v následujícím obrázku).



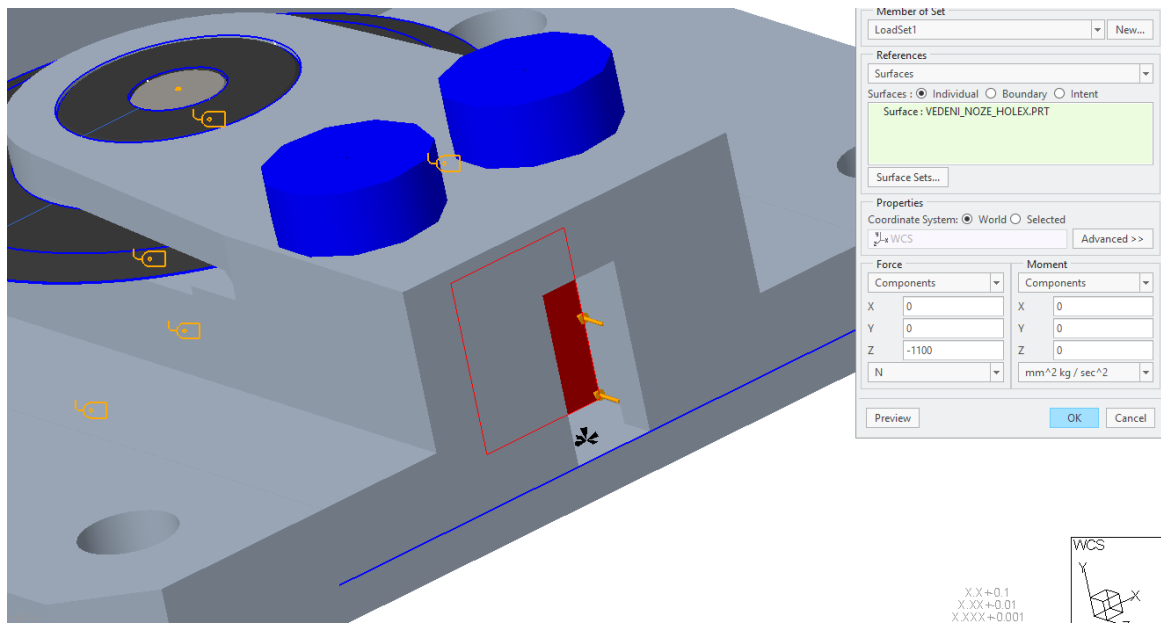
Obrázek 20 - okrajové podmínky tvarové desky nesoucí kruhový nůž ve zjednodušené úloze

Dotek všech komponent byl nastaven analogicky jako v uvedené simulaci celé konstrukce. Stejně jako přiřazení materiálu „STEEL“.



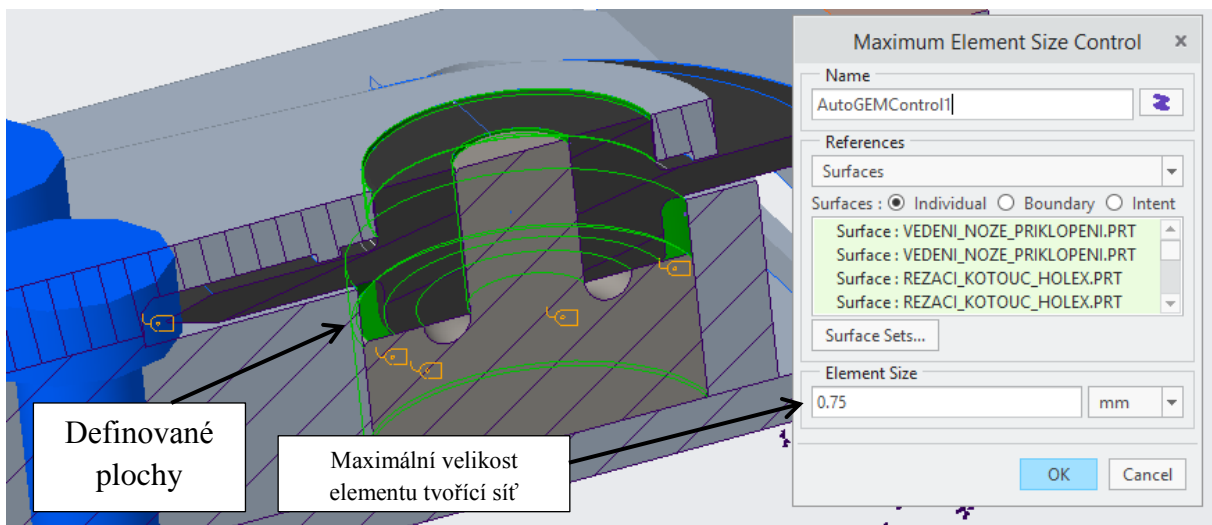
Obrázek 21 – zobrazení vazeb zjednodušené úlohy

Působící síla na nosoucí segment byla zaokrouhlena na sílu 1100 N.



Obrázek 22 – definování zatěžující síly

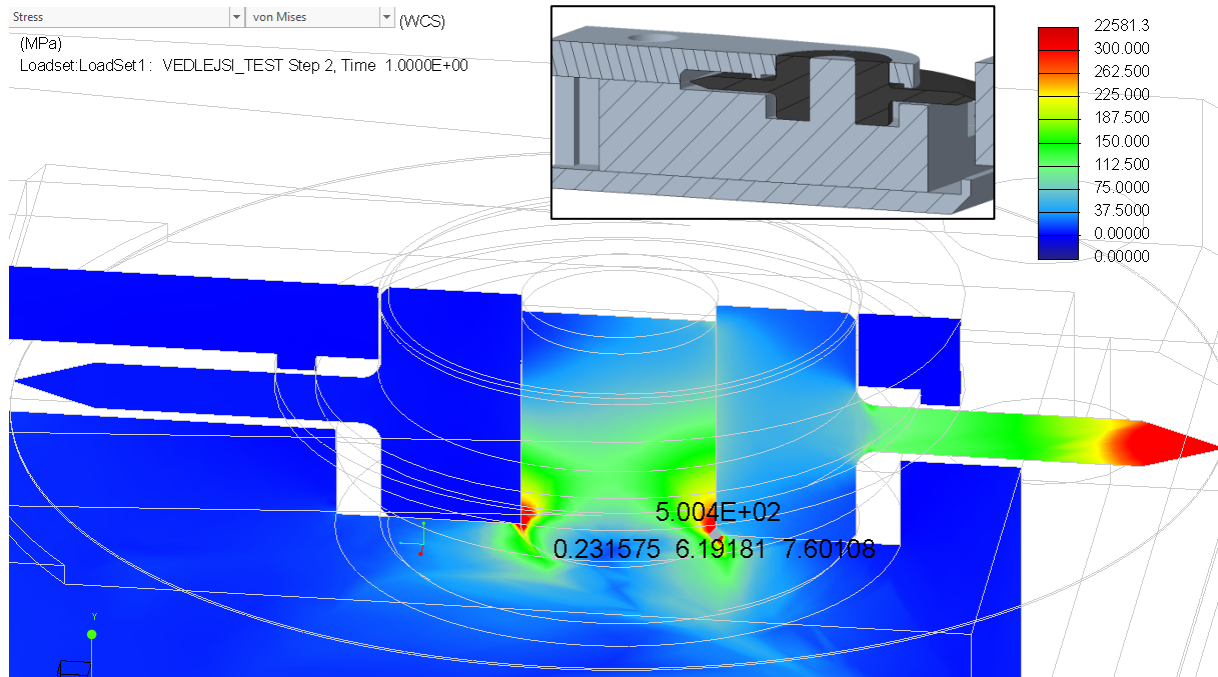
U modelu byl nastaven maximální možný rozměr elementu pro tvorbu hustší sítě reprezentující komponentu v žádoucích místech - tím je docíleno přesnějšího rozložení zatížení ve zkoumaných kritických místech).



Obrázek 23 - řez skrz vedení a znázornění ploch pro definování maximálního rozměru elementu reprezentující výrobek

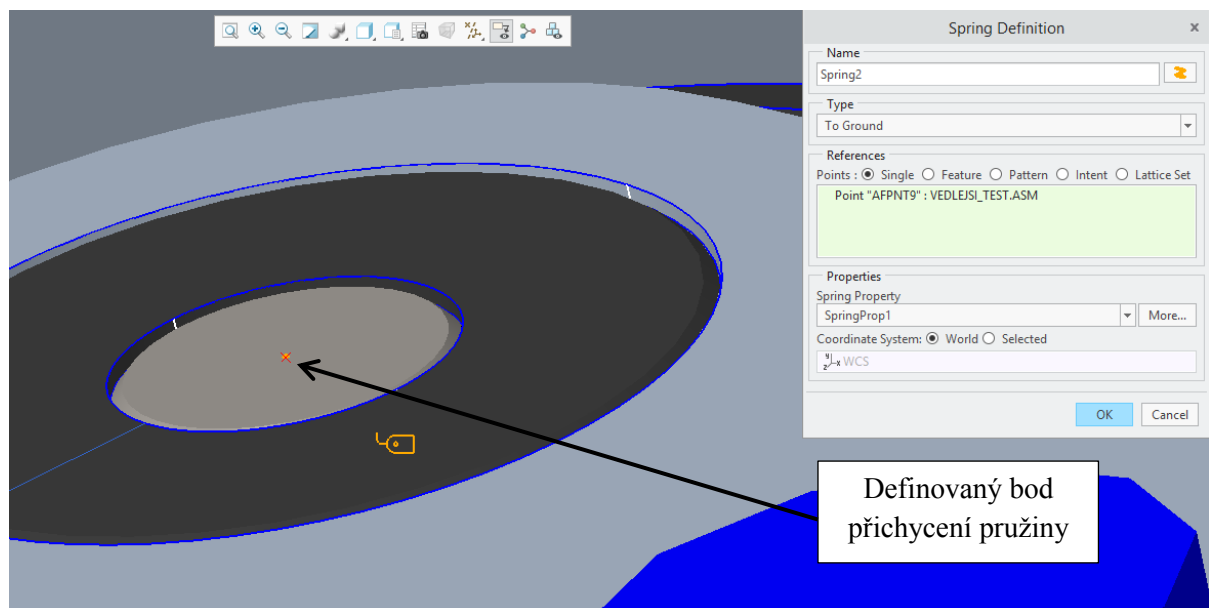
Výsledkem zjednodušené úlohy stejného uložení nože jako v předchozí analýze bylo redukováno napětí dosahující hodnoty 500 MPa. Toto navýšení hodnoty v kritickém místě je způsobeno soustředěním působící síly pouze do kritických míst bez vlivu deformace ostatních komponent zařízení (jako ve složitějším modelu). Ve složitějším modelu tato síla lehce deformuje i jiné komponenty (výrobek atp.) a to způsobí menší napětí v kritickém místě. Výsledek této analýzy a všech ostatních ve zjednodušené úloze se dá tedy považovat za lehce

předimenzovaný (oproti stejnému stavu v zařízení). Vliv na rozdíl hodnoty napětí může mít i hustší síť modelu ve sledovaném místě.



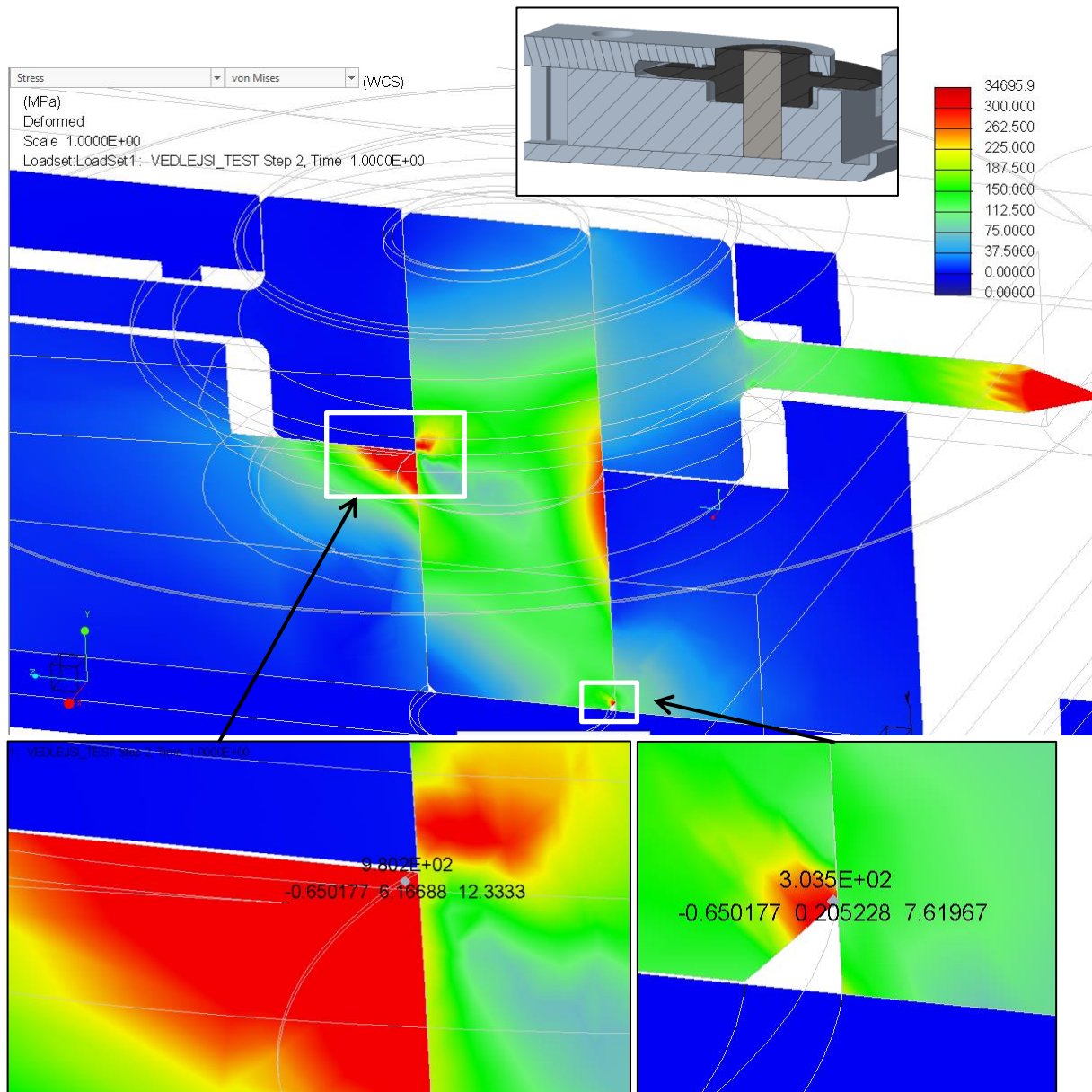
Obrázek 24 – řez uložením kruhového nože zjednodušené úlohy- ve vodícím segmentu, zobrazeno redukované napětí v MPa

Jako první konstrukční úprava bylo vyvrtání otvoru do vodícího segmentu a nalisování čepu, aby se zamezilo ostrému rohu – koncentrátoru napětí, přímo pod kruhovým nožem. U tohoto čepu musela být k jeho středu dodefinována funkce pružiny (Spring) o „zadnebatelné“ tuhosti 0,1 N/mm do všech směrů, která zajistí, zabránění axiálního posuvu čepu z důvodu nastavených doteků se všemi komponentami a tím simulované zalisování.



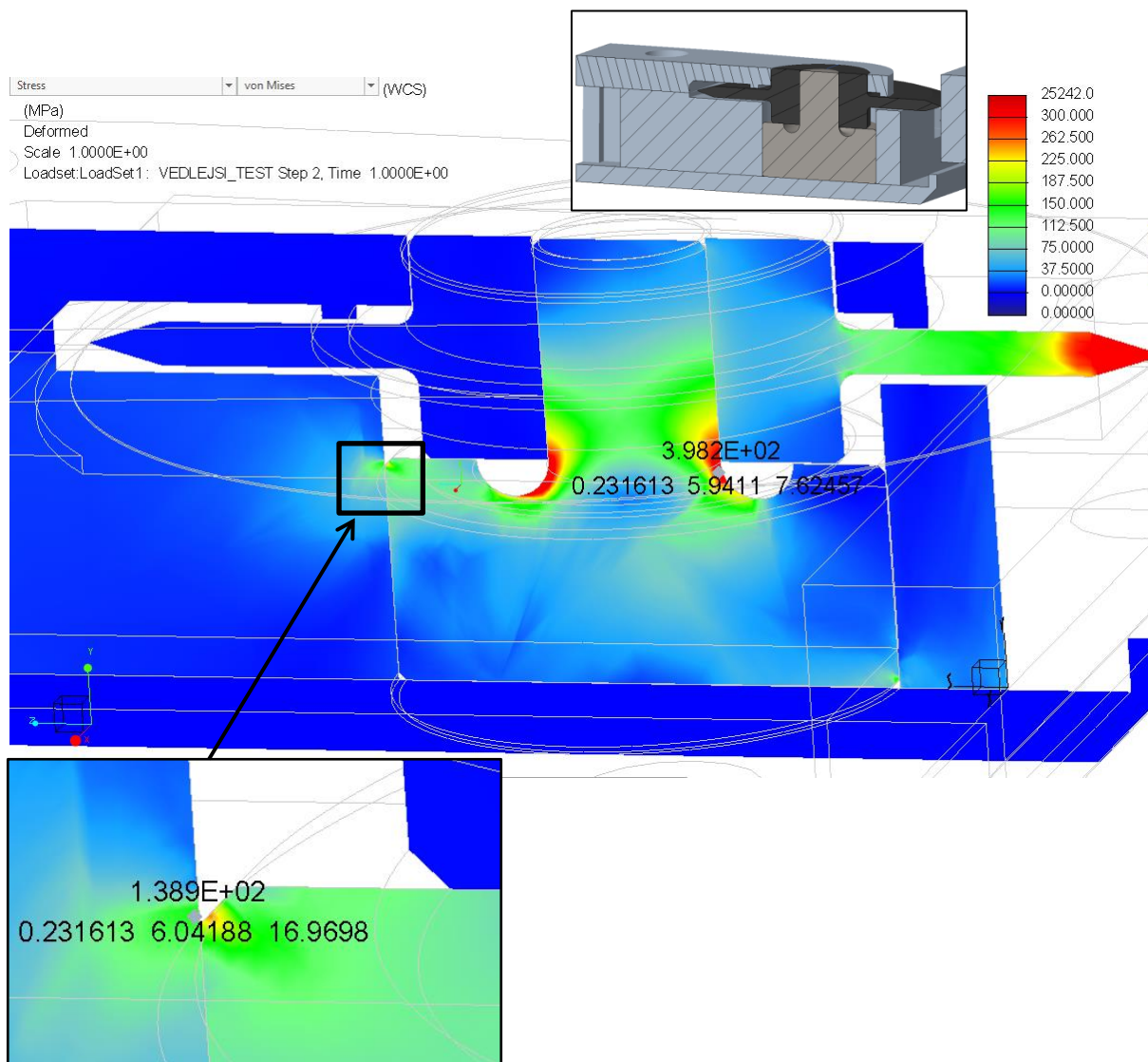
Obrázek 25 – definování pomocné pružiny vloženého čepu pro zajištění jeho polohy

Výsledkem vloženého čepu o stejném průměru (jako vnitřní otvor kruhového nože) bylo maximální redukované napětí 303,5 MPa na povrchu vloženého čepu, ale hlavně v místě opření čepu pod nožem redukované napětí až 980 MPa.



Obrázek 26 - řez konstrukční úpravou - vloženým čepem o stejném průměru se znázorněním lokálních maximálních hodnot, uvedeno redukované napětí v MPa

Další potencionálně vhodnou úpravou vedení nože, je nalisování opět vloženého čepu, ale s rozdílnými průměry a vhodnou eliminací koncentrátoru napětí – ostrého rohu.

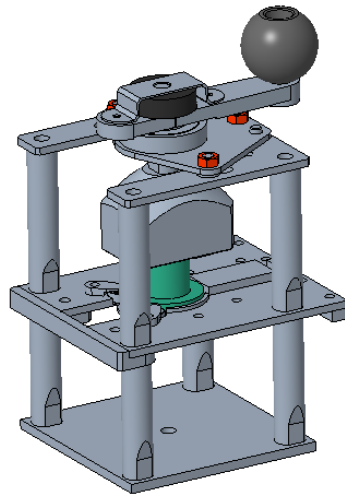


Obrázek 27 - řez konstrukční úpravou - vloženým čepem o rozdílných průměrech se znázorněním lokálních maximálních hodnot, uvedeno redukované napětí v MPa

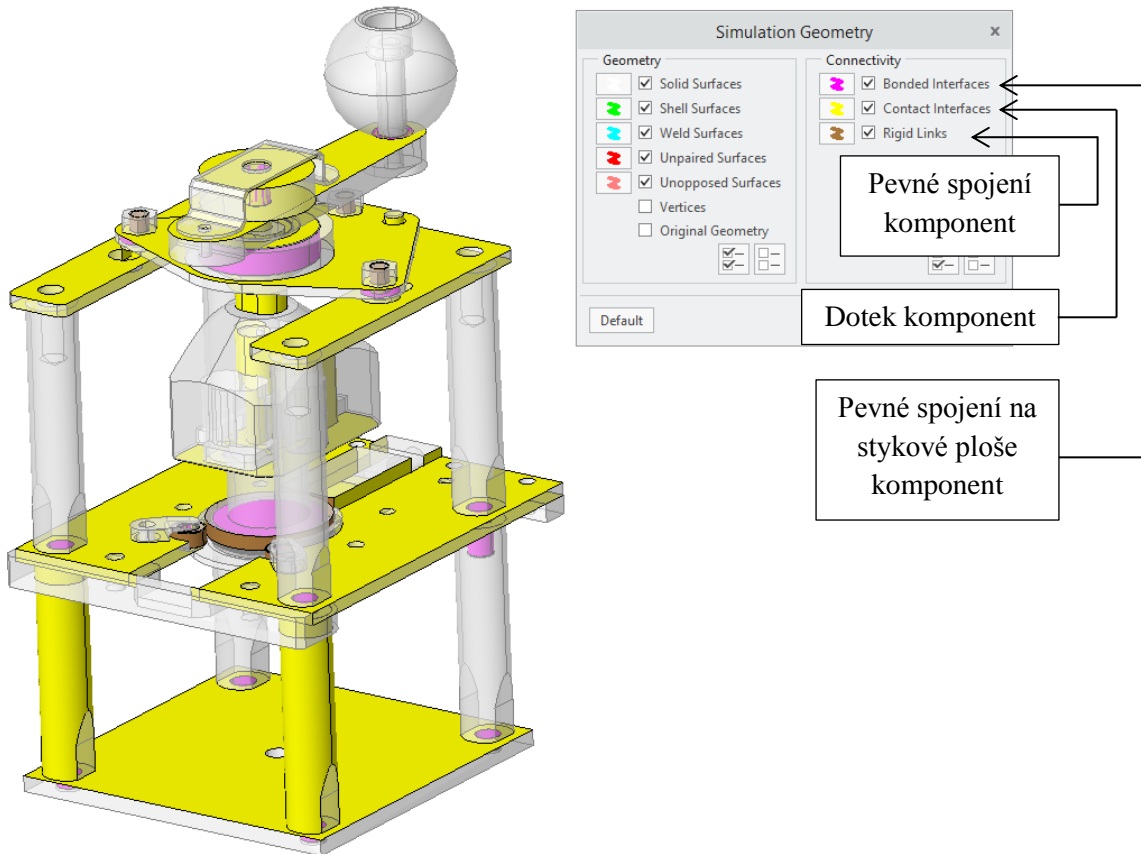
Maximální lokální redukované napětí vyskytující se na stěně segmentu je 139 MPa. Mez kluzu předpokládaného materiálu – ocele S235JR je 235 MPa. Součinitel bezpečnosti tohoto zatížení má hodnotu 1,69 a lze ho tedy akceptovat. Z hlediska čepu je maximální redukované napětí na jeho povrchu pro ocel S235JR příliš velké. Jelikož se jedná o jednoduchou konstrukci, je možné čep vyrobit na soustruhu a z tohoto důvodu je vhodné použití pevnějšího materiálu pouze pro čep. Volbou tohoto typu uložení je umožněna výměna pouze čepu na místo celého segmentu v případě potřeby a také lze kombinovat měkčí (případně levnější) materiál pro větší součást a pevnější (dražší) pro součást menší. Vhodným materiálem pro čep je například ocel ČSN 11140 ($R_e = \text{min. } 520 \text{ MPa}$).

Statická analýza zatížení - celková konstrukce

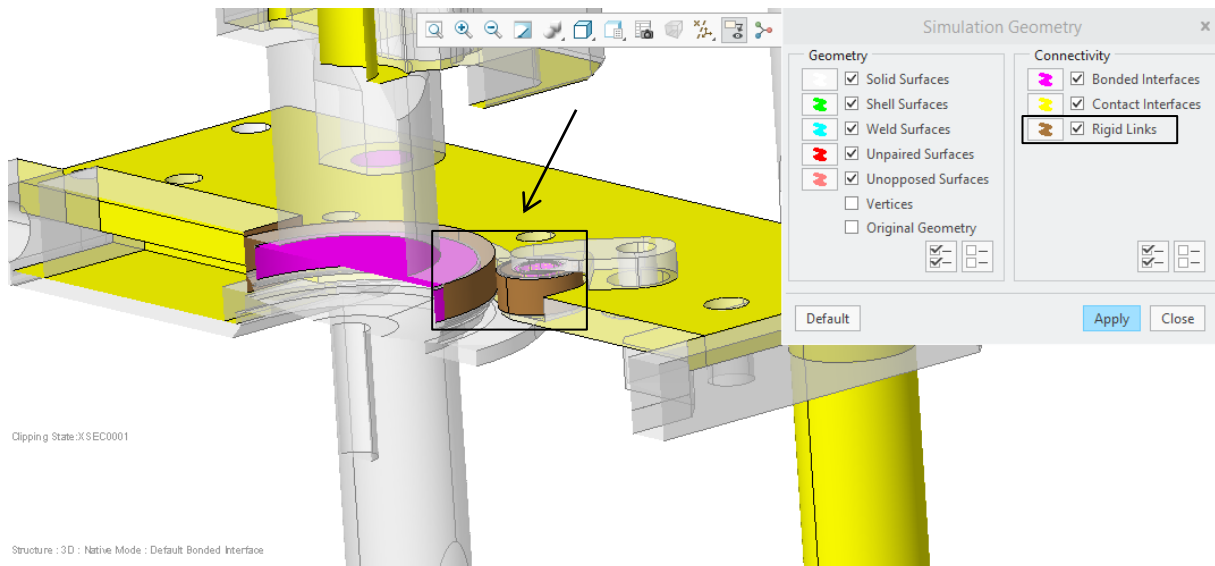
Pro tuto analýzu byl model opět zjednodušen. Oproti předchozímu modelu zde byla zjednodušena i část střední, která byla v minulé analýze testována. Model byl ponechán v původní verzi před upravením ložisek a jejich držáků. Tato skutečnost nemá výrazný vliv na testované součásti a jejich části (případně je vliv okomentován). Ve zjednodušeném modelu jsou frézované plochy pro plochý klíč na spojovacích tyčích na jejich koncích, oproti modelu finálnímu, kde byly tyto plochy přesunuty do středů tyčí – z hlediska analýzy zanedbatelné.



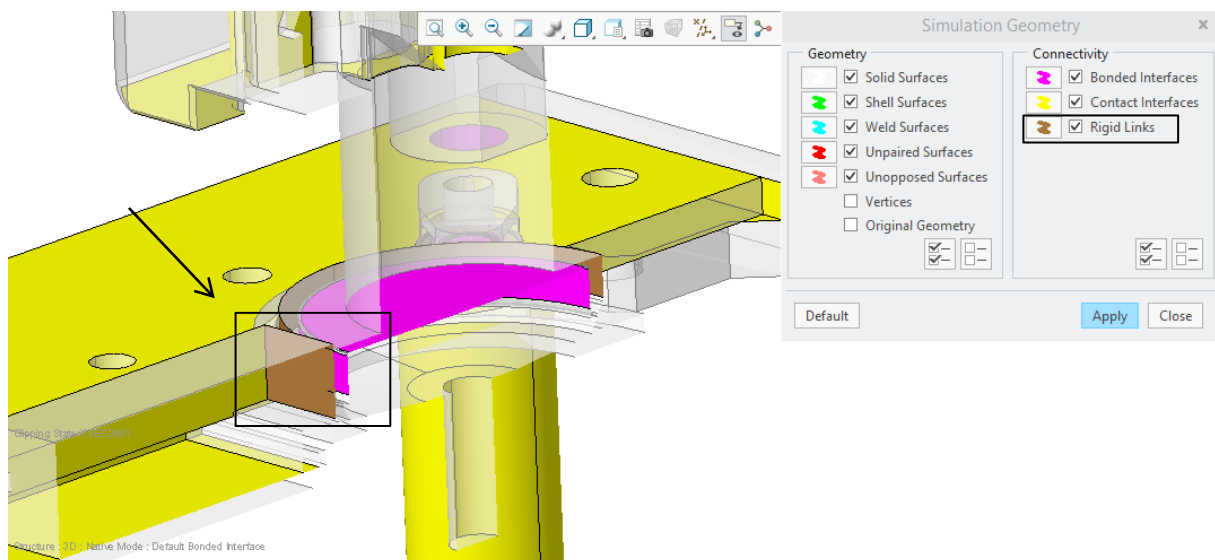
Obrázek 28 - zjednodušený model pro analýzu tuhosti celkové konstrukce



Obrázek 29 - znázornění vazeb mezi jednotlivými komponenty modelu včetně popisu

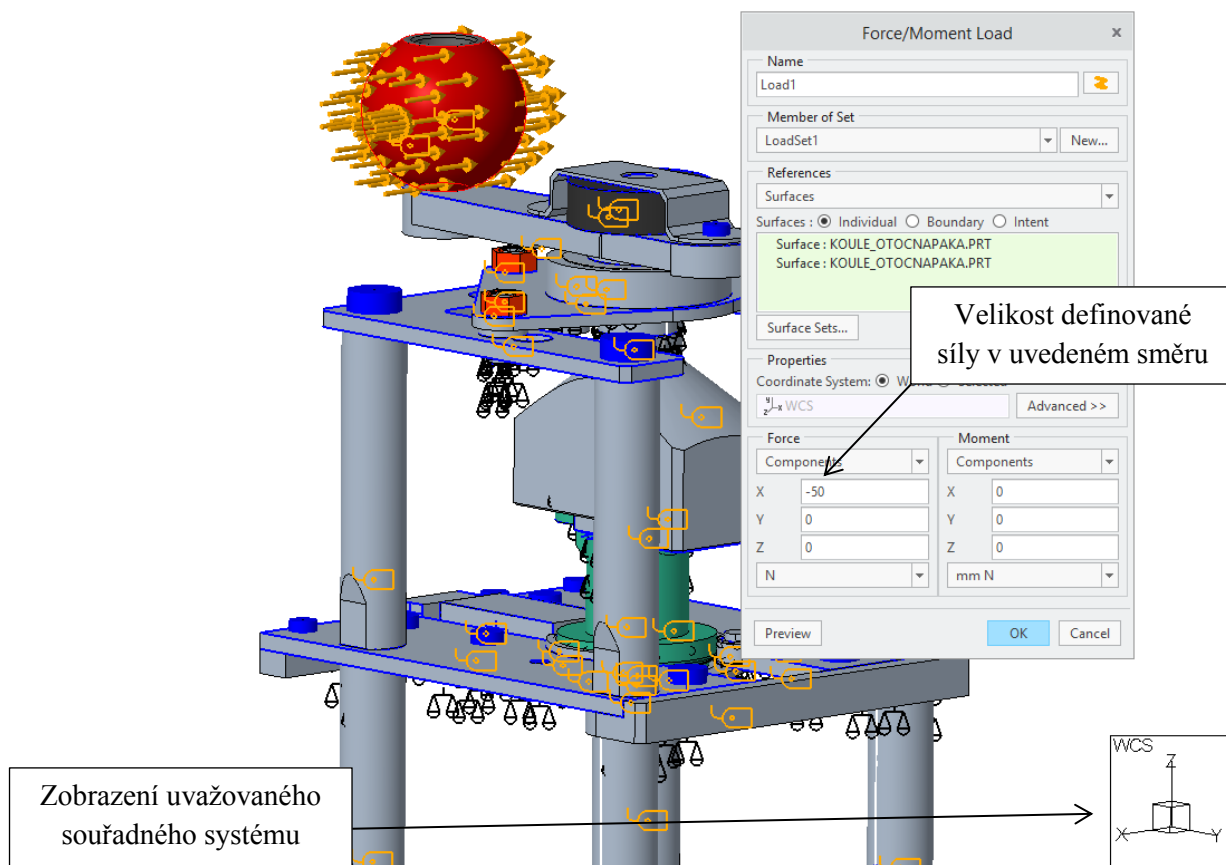


Obrázek 30 - vertikální řez zařízením pro zobrazení vazeb mezi uvedenými komponenty

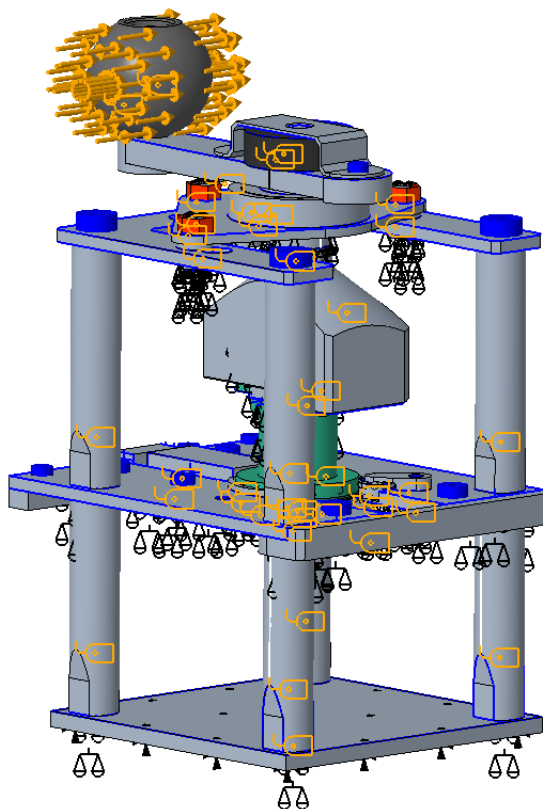


Obrázek 31 - vertikální řez z druhé strany pro zobrazení užitých vazeb mezi komponenty

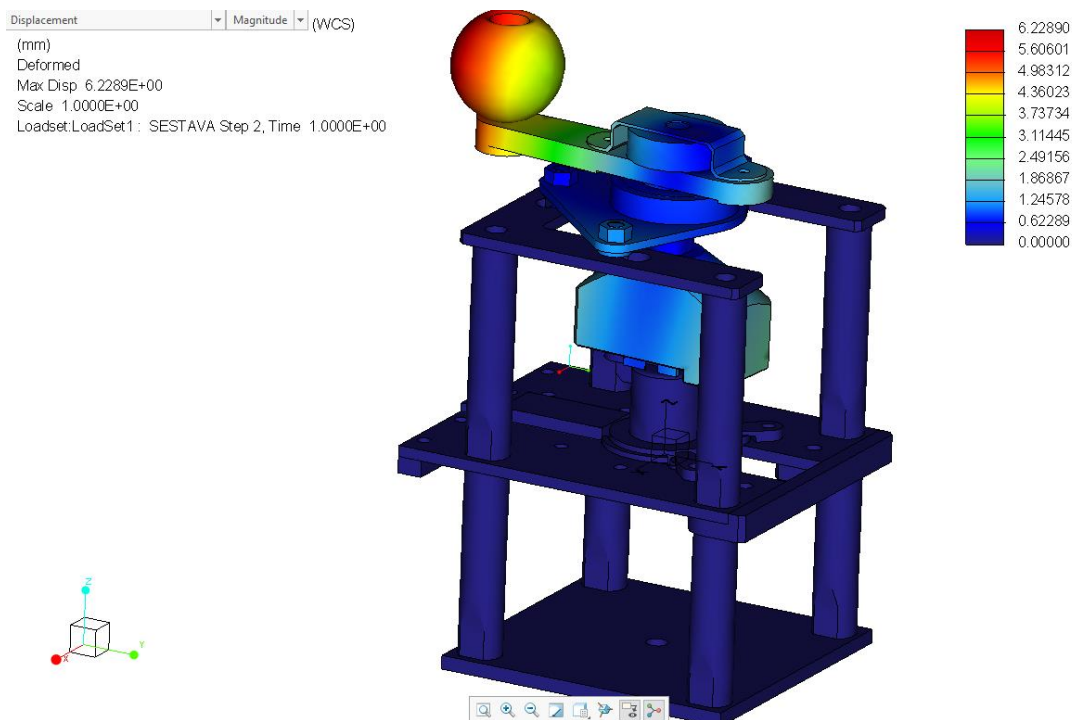
Z obrázků 29, 30 a 31 si lze povšimnout, že opěrná plocha pro otáčení je definována mezi ruční pákou a ložiskem (funkce Contact) a ve spodní části je ventil pevně přichycen k původním ložiskům a komponentě zastupující vedení nože funkcí Rigid Link. Takto definované vazby simulují pevné uchycení výrobku ve střední části při plné působící síle. Zatížení bylo voleno o velikosti 50 N na ruční otočnou páku v kolmém směru na rameno uvedené páky. V analýze byla opět použita funkce Fastener zastupující šroubové spojení.



Obrázek 32 - definování zatěžující síly o velikosti 50 N ve směru osy X

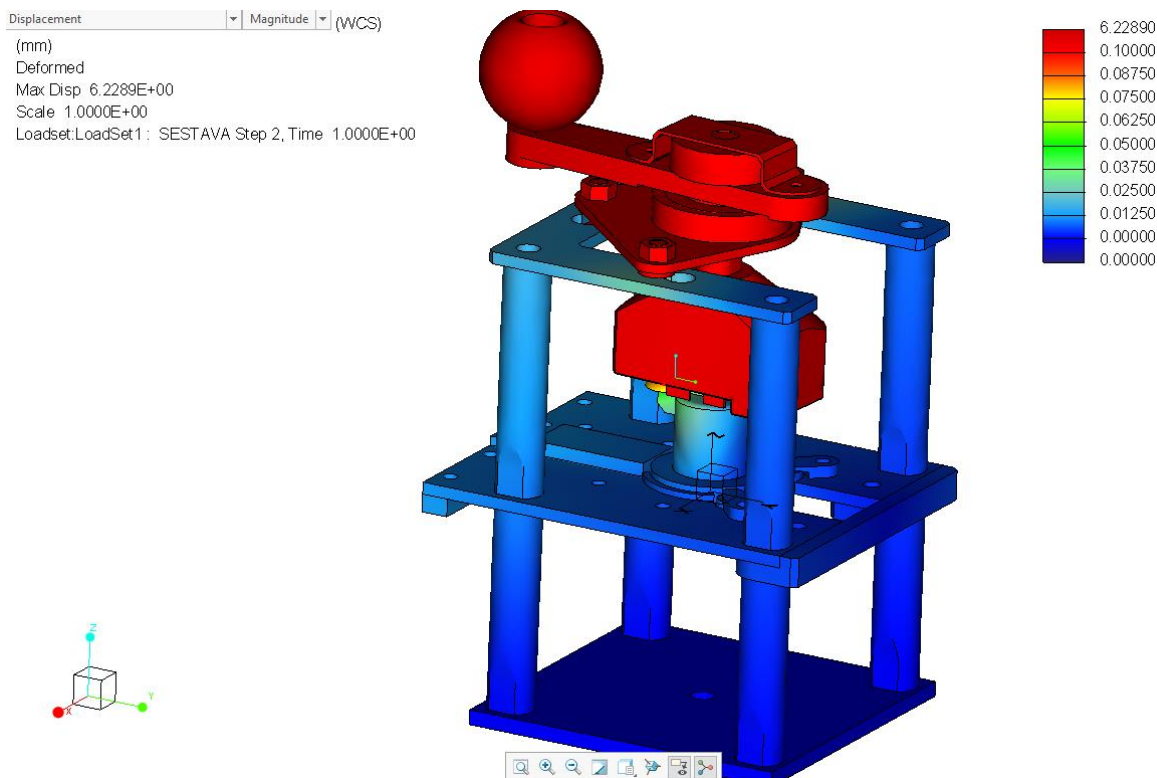


Obrázek 33 - zobrazení definovaných spojení pomocí funkce Fastener (šroubové spojení) a přiřazení materiálu jednotlivým komponentům

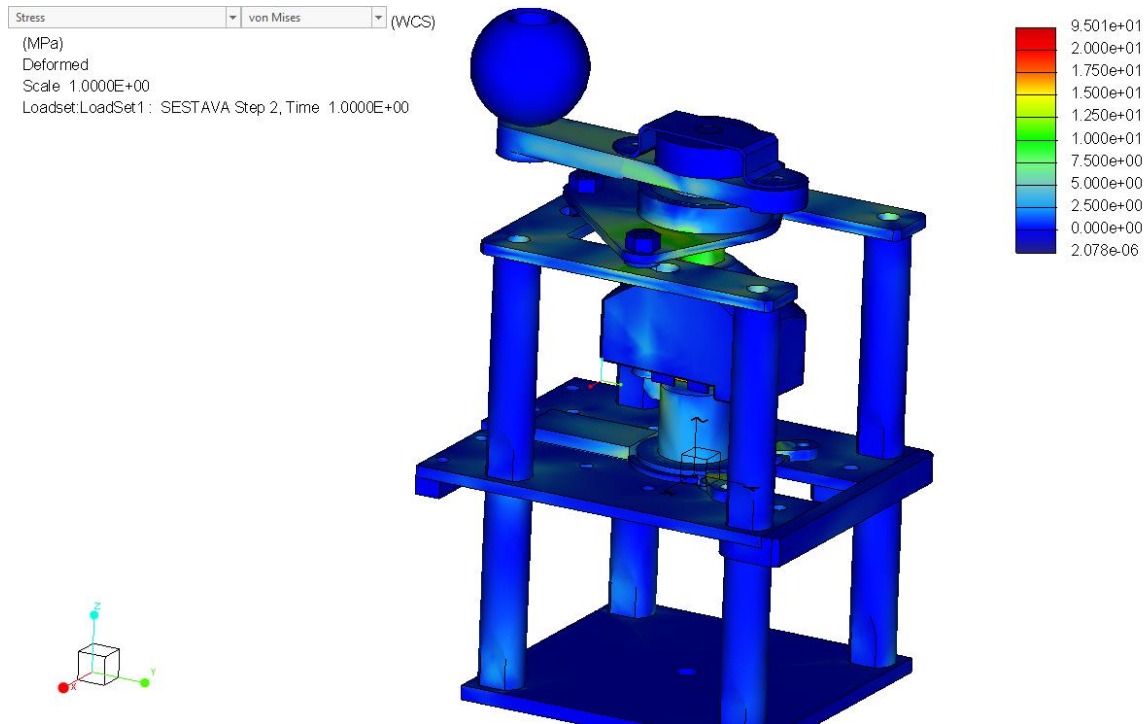


Obrázek 34 – celkové posunutí, uvedeno v mm

Výsledkem je celkové posunutí přes 6 mm v místě působící síly (otočné páky), po vymezení všech vůlí. Po úpravě měřítka lze pozorovat i posunutí samotných spojovacích tyčí a jednotlivých částí zařízení.

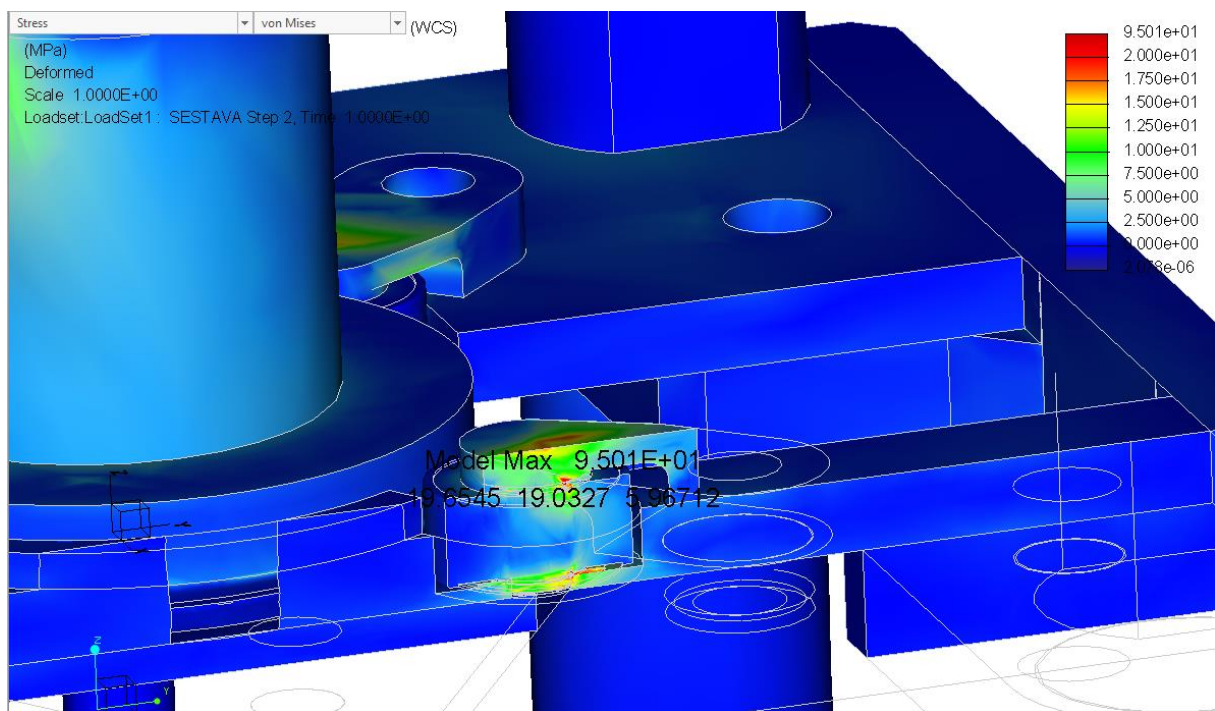


Obrázek 35 - celkové posunutí po úpravě měřítka, uvedeno v mm



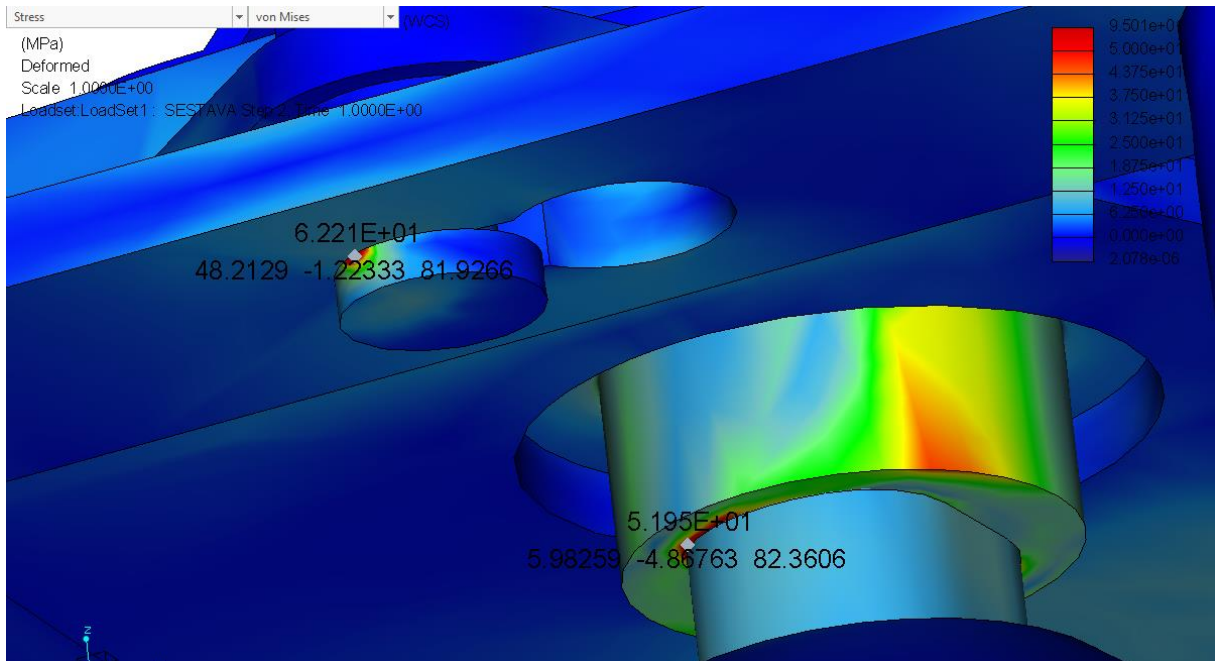
Obrázek 36 - redukované napětí von Mises v MPa po změně měřítka

Jak si lze na následujícím obrázku povšimnout (obrázek 37), maximum redukovaného napětí dle hypotézy HMH celého zjednodušeného modelu se nachází na původním držáku ložisek v místě nad kuličkovým ložiskem. Nově navržený držák ložiska je prostorově větší při zachování stejné tloušťky, což může mít za následek snížení napětí. I pokud by hodnota redukovaného napětí zůstala 95 MPa, stále splňuje koeficient bezpečnost 2,47 vůči mezi kluzu materiálu a zatížení je tudíž akceptovatelné.

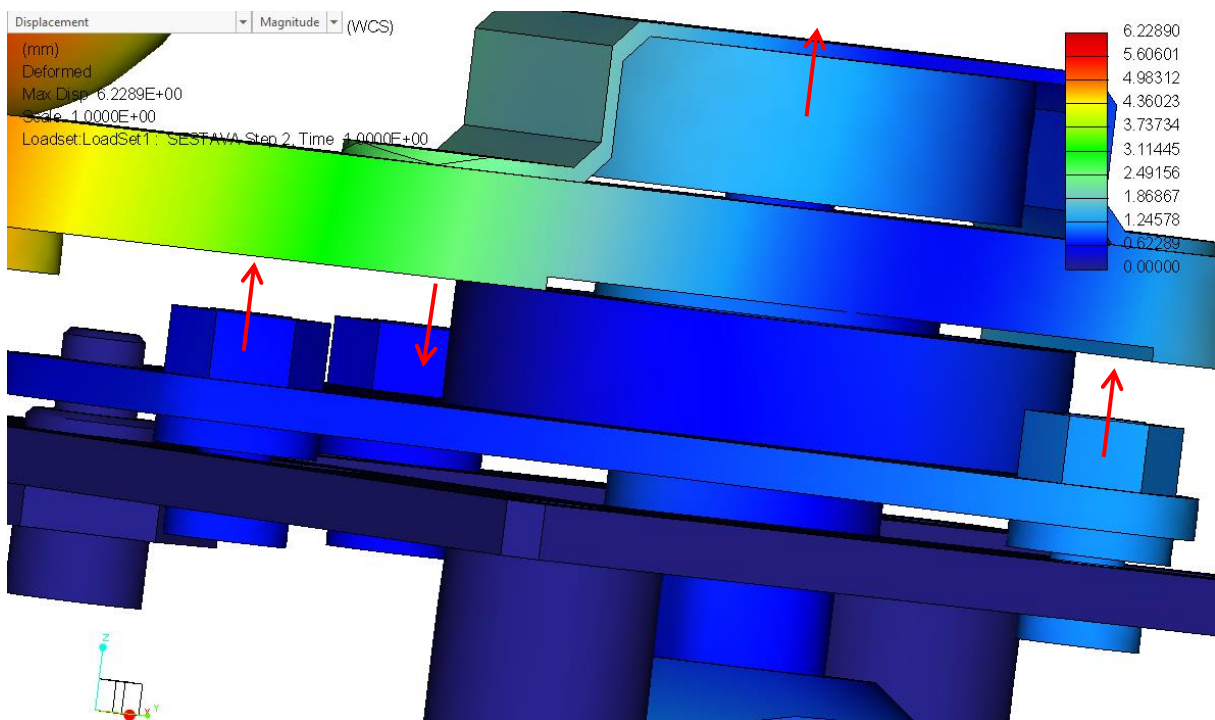


Obrázek 37 – řez střední částí, uvedené redukované napětí v MPa

Další znatelné hodnoty redukovaného napětí jsou v očekávaných místech – v místě přechodu ruční páky na přenosový segment - na hraně tohoto přechodu je redukované napětí až 52 MPa, a dále na hraně jednoho z aretačních kolíků 62,2 MPa.

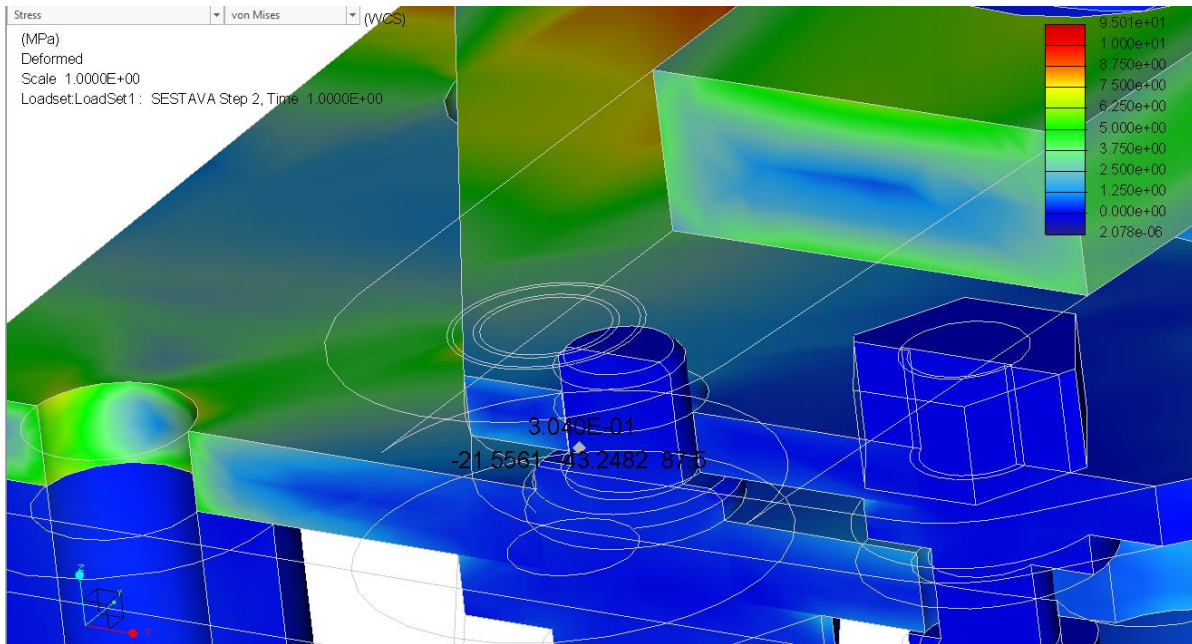


Obrázek 38 – pohled na aretační kolík a přenosový segment, hodnoty redukovaného napětí v MPa

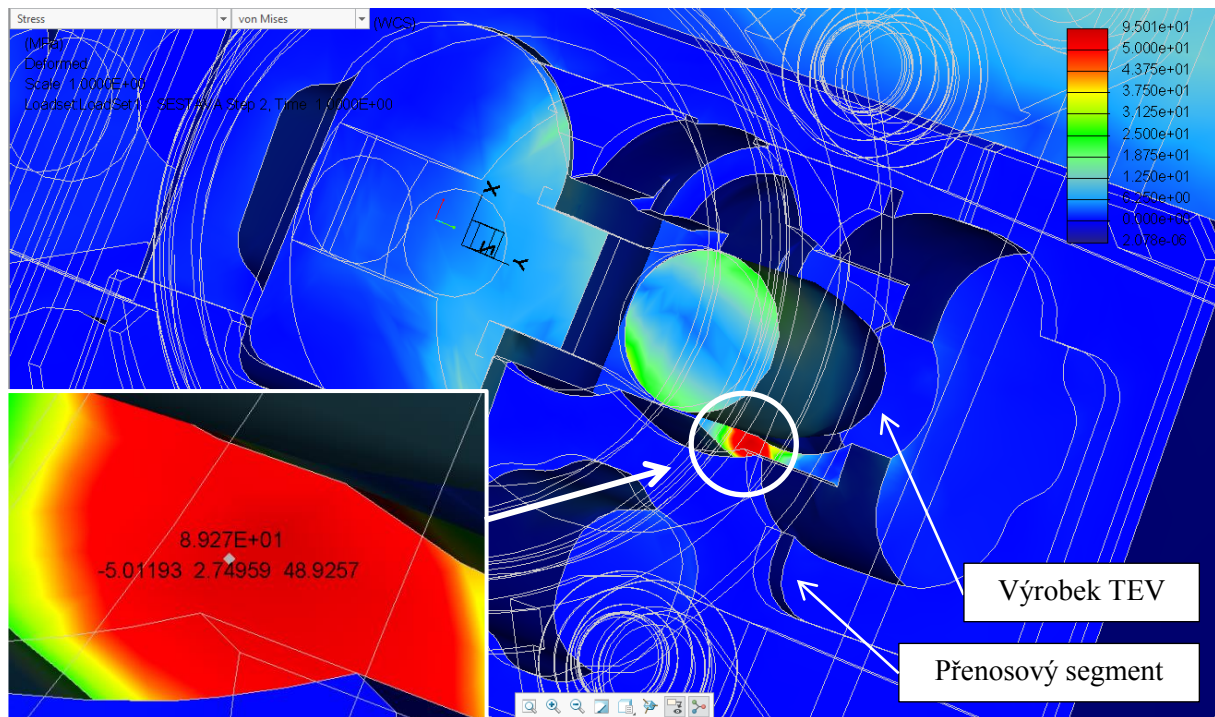


Obrázek 39 – zobrazení celkového posunutí v horní části se znázorněním posunutí kolíků a nastavitelného kola, uvedeno celkové posunutí v mm

Z obrázku 39 vyplývá, že při přenosu síly se vymezí vůle mezi aretačními kolíky ve dvou případech ve směru nahoru a v případě třetím ve směru dolů. Přenosový segment vymezí vůli směrem nahoru.



Obrázek 40 - řez aretační západkou a zobrazení maxima redukovaného napětí na jeho povrchu 0,3 MPa, hodnoty redukovaného napětí v MPa



Obrázek 41 - řez výrobkem a pohled dovnitř přenosového segmentu se znázorněním maximálního redukovaného napětí von Mises v MPa

Po srovnání zjištěných maximálních hodnot redukovaného napětí s mezemi kluzu volených materiálů, bylo zjištěno, že součinitel bezpečnosti s_k kritických míst je následující: ruční klika – 4,52; aretační kolíky 3,79; přenosový segment 2,64. Hodnoty uvedených součinitelů splňují podmínku > 1 , tudíž je zatížení akceptovatelné.