
Komentovaný metodický list č. 09

Vytvořil: Ing. Petr Marcián, Ing. Zdeněk Florian, CSc., Ing. Michal Mrázek v rámci grantového projektu FRVŠ 1402/2010/G1

Téma: Řešení deformace a napětí na 3D segmentu dolní čelisti včetně zubu s výplní (kavita první třídy skříňového tvaru).

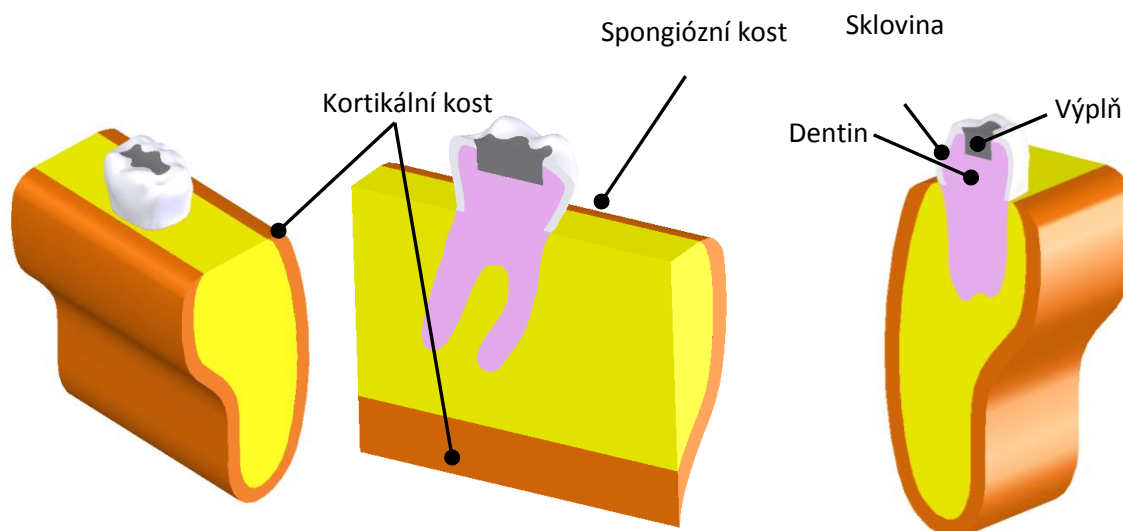
Zadání: Vytvořte výpočtový model dolní čelisti na 3D úrovni a proveďte řešení deformace a napětí interakce různých výplní se sklovinou a dentinem.

Řešení:

Cílem tohoto cvičení je vytvořit výpočtový model ve 3D zubu (včetně dentinu sklovinu a výplně) zavedeného v segmentu čelisti. Model geometrie je dodaný ve formátu *.step.

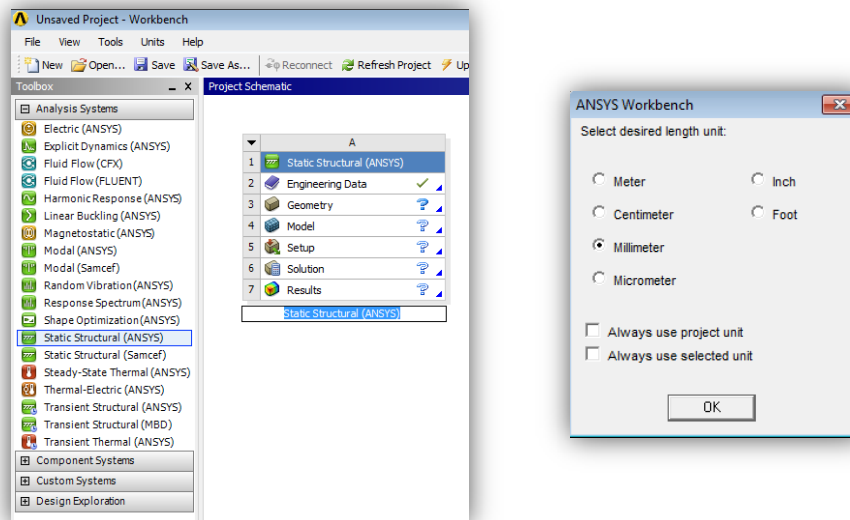
Model geometrie

Model geometrie zubu byl získán skenováním reálného zubu na 3D skeneru ATOS (viz hlavní dokument). V programu CATIA byly automaticky vytvořeny z stl sítě plochy a model byl vyexportován do programu SolidWorks pomocí formátu *.igs. V tomto modeláři již nebylo těžké pomocí základních funkcí vytvořit objem kosti spongiózní, kortikální a rozdělit zub na tři části: dentin, sklovinu a výplň (obr. 1). Na závěr se model geometrie uložil ve formátu step, který je zabalen v souboru [zub_1_kavita.rar](#).



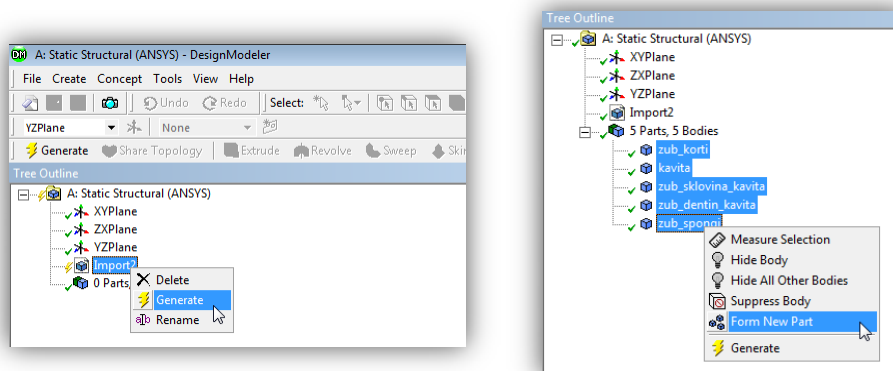
Obr. 1: Model geometrie.

V programové prostředí ANSYS Workbench nejprve zadejte typ analýzy, která se bude řešit. V našem případě se jedná o statickou úlohu proto v levém panelu „Analysis Systems“ vyberte „Static Structural“ (obr. 2). Dvojklikem na „Geometry“ se otevře okno „Design Modeler“ v němž je nutné nejprve zadat jednotky (obr. 2).



Obr. 2: Výběr analýzy a nastavení jednotek v Design Modeleru.

Vlastní geometrie se načteme v menu „File/Import External Geometry File...“. Poté se geometrie vygeneruje, kliknutím pravého tlačítka myši ve stromové struktuře na „Import“ (obr. 3) a zadáním příkazu „Generate“ (obr. 3). Všechny prvky soustavy jsou k sobě pevně spojeny, to znamená, že budou mít společnou síť. Toho docílíte tím, že všechny díly umístíte do jednoho „Partu“ (obr. 3) a tak se vytvoří na všech objemech a plochách společná geometrie (v klasickém APDL prostředí je tato funkce označená „Merge Items“).



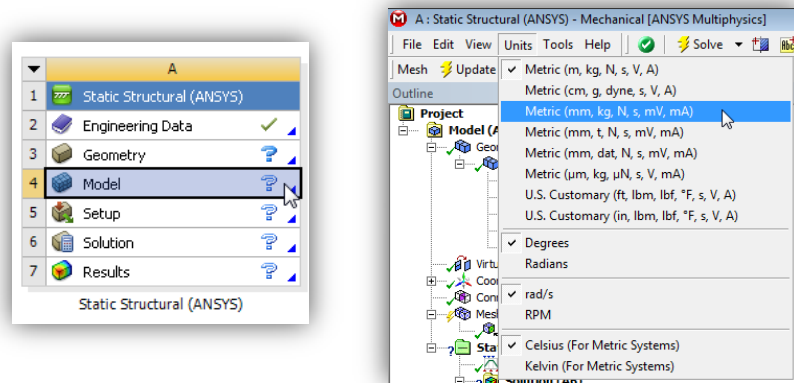
Obr. 3: Načtení modelu geometrie a vytvoření společné geometrie.

V Design Modeleru je možné provádět řadu úprav přidávat tělesa, provádět Booleovské operace, řezat rovinami, rozdělovat plochy apod. Je to plnohodnotný parametrický konstrukční program podobný programu SolidWorks.

Po provedení patřičných úprav a načtení modelu geometrie je možné Design Modeler zavřít. Všechny úpravy se zůstávají zachovány.

Model MKP sítě

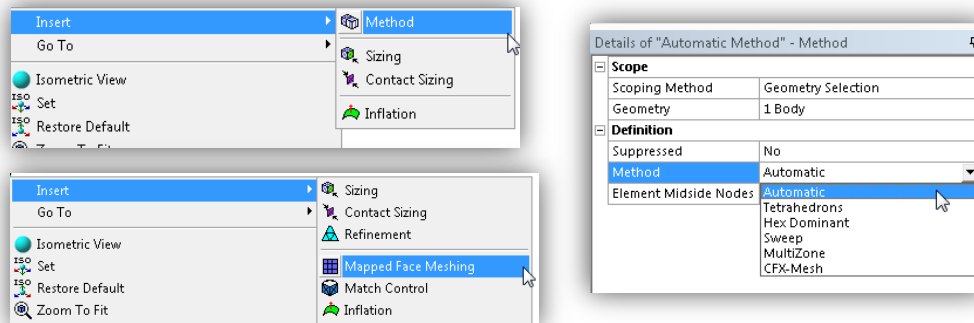
V dalším kroku je nutné spustit samotný modul, v kterém se nastaví MKP síť a celý výpočet. Dvojklikem na „Model“ spustíte prostředí „Mechanicalu“ (obr. 4). Nejprve nastavte jednotky v menu „Units“ než započnete práci na vytváření MKP sítě.



Obr. 4: Spuštění Mechanicalu a nastavení jednotek.

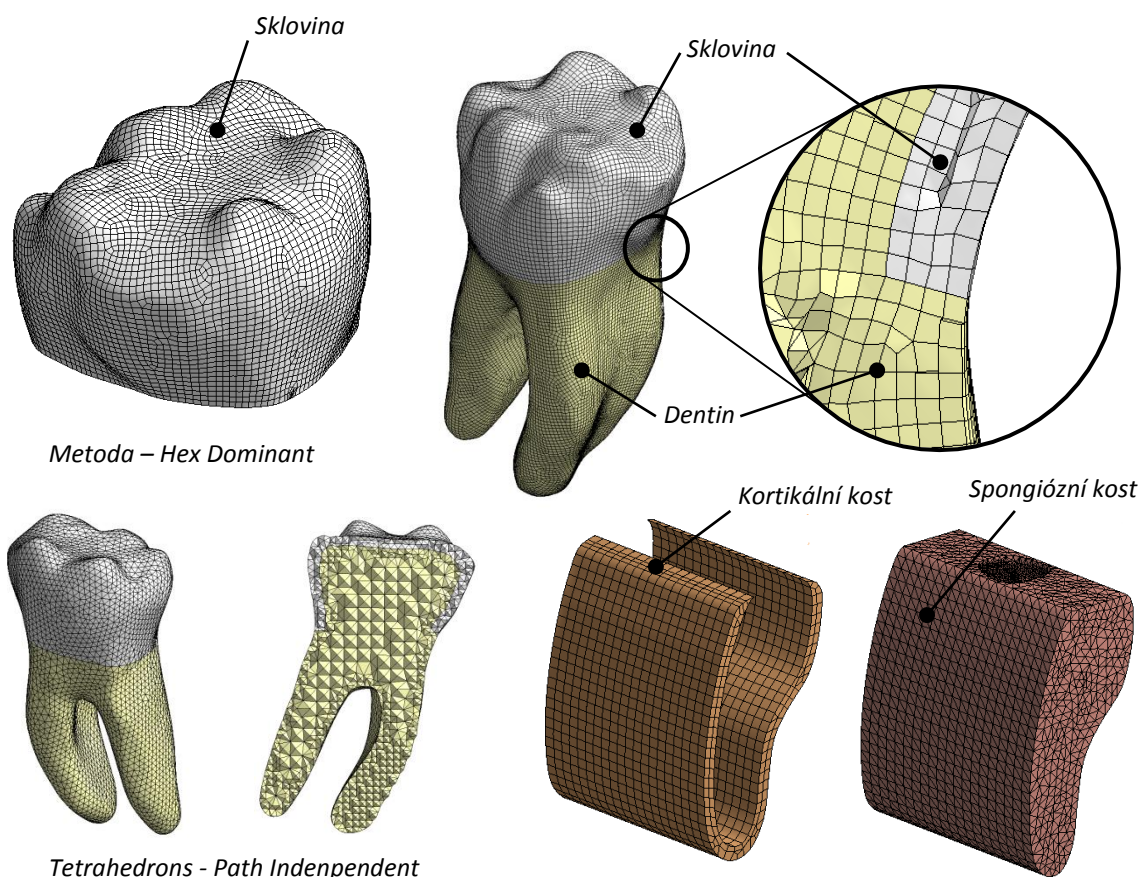
Stejně jako v klasickém prostředí je možné zadávat jednotlivým entitám (liny, plochy, objemy) globální velikosti pomocí příkazu „Sizing“ (obr. 5). Vždy je nutné mít patřičné entity vybrané, jinak se nastaví u všech stejná velikost. Typ sítě respektive algoritmus, který generuje síť, se zadá výběrem metody „Method“ (obr. 5). Síť je možné vytvářet Automaticky („Automatic“ program sám zvolí optimální tvar sítě i počet elementů), přímo předepsat generování čtyřstěnných elementů „Tetrahedrons“ (pro vygenerování pravidelnější sítě i uvnitř objemu je dobré nastavit „Algorithm“ na „Path Independent“), objem síťovaný pomocí šestistěnnů je vyvářen po přiřazení metody „Hex Dominant“. Chceme-li vytvářet síť tažené (sweepované), je nutné mít opět připravenou geometrii (viz předchozí úloha 8). Objemům pak stačí předepsat metodu „Sweep“ a nechat automaticky vytvářet síť, nebo ručně zadávat počáteční a cílovou plochu tažení elementů.

Plochám je možné předepsat mapované vytváření pravidelné sítě předepsáním funkce „Mapped Face Meshing“ (obr. 5).



Obr. 5: Nastavení MKP sítě.

Na obrázku 6 je uveden příklad MKP sítě vytvořené v prostředí ANSYS Workbench pomocí různých metod a velikosti elementů.



Obr. 6 MKP model zubu.

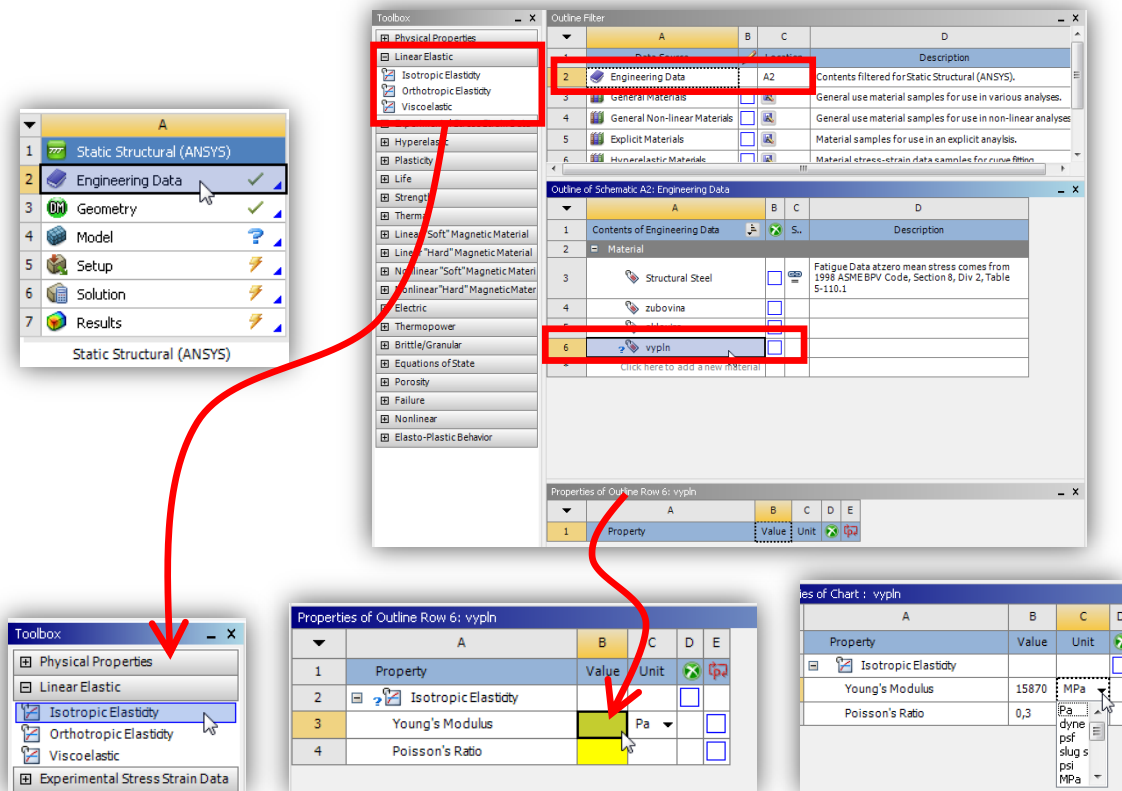
Model materiálu:

Všechny prvky soustavy jsou modelovány homogenním lineárně pružným izotropním modelem materiálu. Tento model je určen dvěma parametry, modulem pružnosti a Poissonovým číslem. Materiálové charakteristiky zadejte dle následující tabulky 1:

Materiál	E [MPa]	μ [-]
Sklovina	80 000	0.3
Dentin	18 600	0.3
Kortikální kost	13 700	0.3
Spongiózní kost	1 370	0.3
Amalgám	15 870	0.3
Kompozitní pryskyřice	6 260	0.3
Skloionomerní cement	3 600	0.3

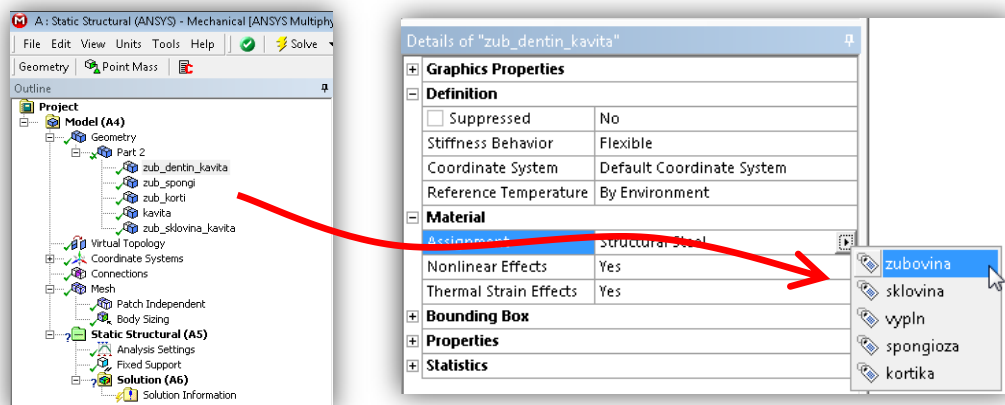
Tab. 1: Materiálové charakteristiky.

V programovém prostředí ANSYS Workbench je rozsáhlá databáze předdefinovaných materiálů a jejich charakteristik. Pro naši úlohu si vytvoříme vlastní databázi. Nový materiál se zadává v modulu „Engineering Data“ (obr. 7). V okně „Outline of Schematic A2: Engineering Data“ přidáte nový materiál tím, že vyplníte jeho název. Dále v levém toolboxu vyberete typ materiálu v našem případě je to „Linear Elastic“ a v něm zvolte „Isotropic Elasticity“. Konkrétní hodnoty materiálových charakteristik vyplníte v okně „Properties of Outline Row“. Zde je nutné věnovat pozornost jednotkám (obr. 7)!!!



Obr. 7: Zadání materiálových charakteristik.

Následně jednotlivým objemům předepíšete materiál v Mechanicalu. Po označení daného objemu v jeho detailech v položce „Material“ zadáte podle názvu mu náležití charakteristiky (obr. 8).

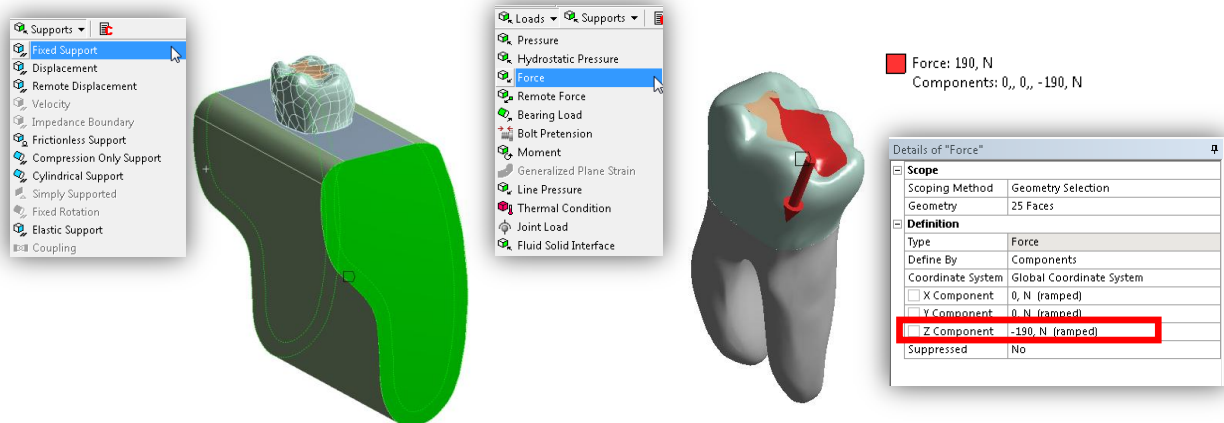


Obr. 8: Přiřazení materiálu objemům.

Model vazeb

Okrajové podmínky vztahující se k vymezení sestavy v prostoru byly nastaveny na kortikální a spongiózní kosti. U volných konců obou kostí bylo zamezeno posuvům ve všech směrech (obr. 9).

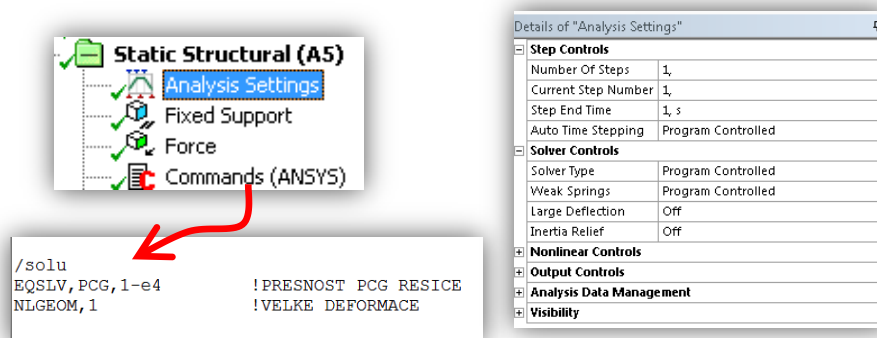
Hodnota žvýkácké síly je zvolena pro řešení této úlohy 190 N. Okrajové podmínky se zadávají po kliknutí ve stromové struktuře na „Static Structural“. Na kost aplikujte vazbu „Fixed Support“ a na plochy zubu zadejte sílu ve směru osy Z „Force“. Všechny prvky jsou vytvořeny se společnou sítí na hranicích a není třeba vytvářet kontaktní dvojice.



Obr. 9: Nastavení MKP sítě.

Nastavení řešiče

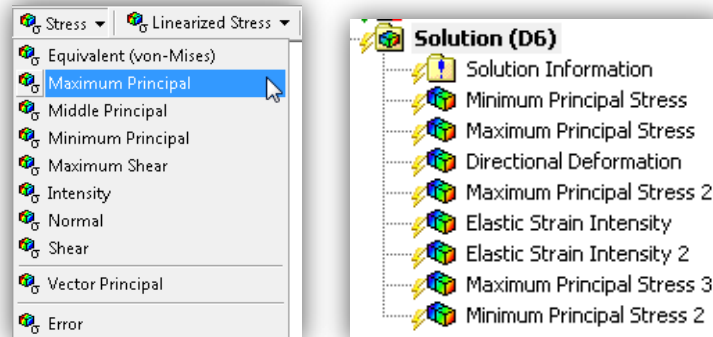
Obdobně jako v klasickém prostředí je možné nastavit počet kroků při řešení. Stačí kliknout ve stromové struktuře na „Analysis Setting“. Do prostředí Workbench je také možné vkládat makra. To provedete vložením „Commands“ do „Static Structural“ ve stromové struktuře. Do něj můžete zapsat klasické příkazy APDL. Pro příklad je uvedeno na obrázku 10 nastavení přesnosti PCG řešiče a zapnutí velkých deformací.



Obr. 10: Nastavení řešiče.

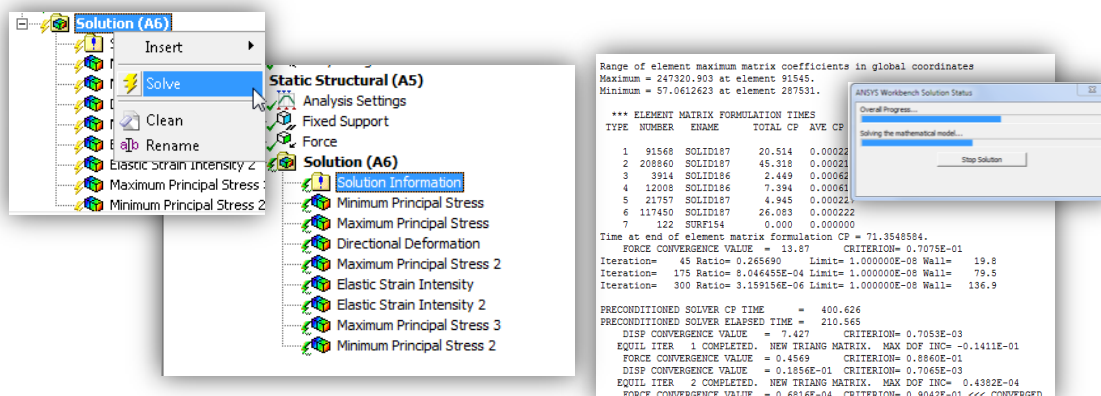
Po provedení všech předchozích úprav je možné již provést výpočet. Pro ušetření času je však výhodné dopředu nastavit vykreslování výsledků. Pamatujte, že není možné ve Workbench prostředí jakkoliv manipulovat s elementy respektive je selektovat. Výsledky se přiřazují geometrickým entitám (lajny, plochy, objemy).

Pro vykreslení výsledků se přepněte ve stromové struktuře do položky „*Solution*“ a pomocí nástrojové lišty „*Solution*“ zadejte výsledky, které budete chtít prezentovat (obr. 11). Automaticky se přiřazují do výběru všechna tělesa podobně jako při vytváření MKP sítě. Můžete, ale výsledky přiřadit i jednotlivým tělesům (plochám a lajnám) zvlášť (obr. 11).



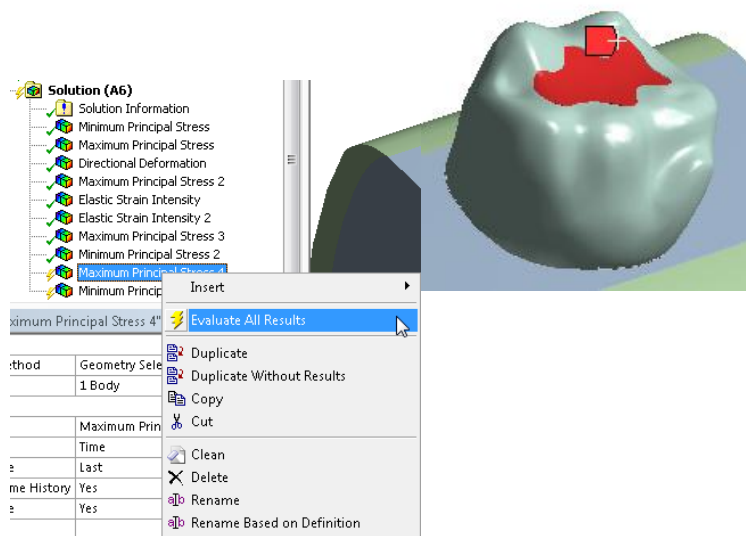
Obr. 11: Zadání výsledků.

Výpočet spustíte po kliknutí pravého tlačítka myši na „*Solution*“ ve stromové struktuře a dáte možnost „*Solve*“. Průběh výpočtu je možné sledovat v „*Output Window*“ po kliknutí na „*Solution Information*“ (obr. 12).



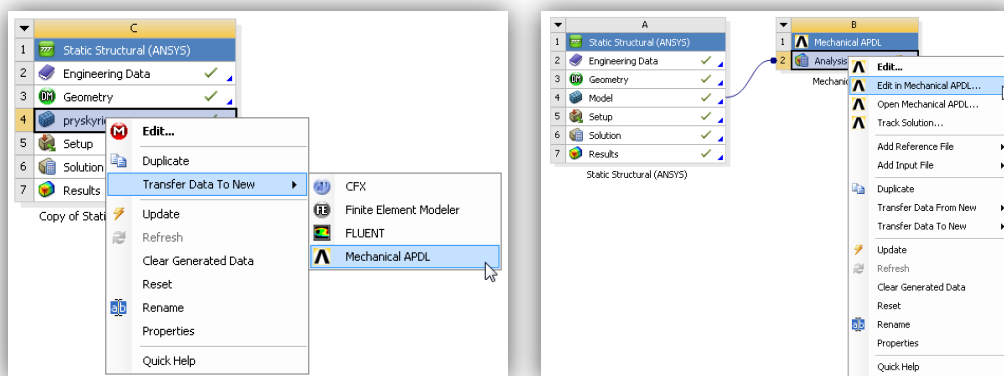
Obr. 12: Průběh řešení „*Output Window*“.

Po skončení výpočtu je možné dále přidávat další výsledky k entitám, avšak není již nutné celý výpočet přepočítávat. Stačí kliknout pravým tlačítkem myši na nově přidanou proměnnou a zadat možnost „*Evaluate All Results*“ (obr. 13). Program pouze z databáze přiřadí spočtené proměnné, aniž by znovu prováděl výpočet.



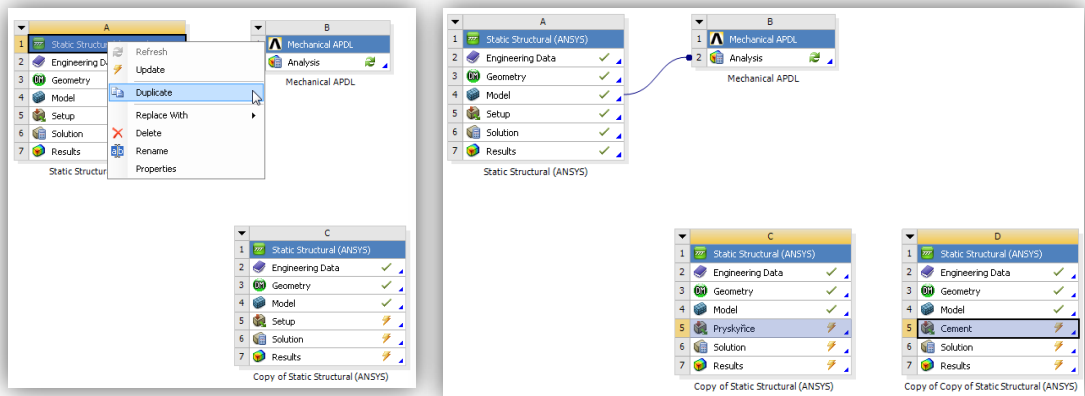
Obr. 13: Přidání a vykreslení dalších výsledků.

Zobrazení databáze v klasickém prostředí ANSYSu se provede ve schématu projektu. Pravým tlačítkem myši klikněte například na model sítě a dejte možnost „*Transfer Data To New*“ a následně dejte možnost „*Mechanical APDL*“. Vytvoří se nový sloupec s označením B a v něm je již možné znovu po kliknutí pravým tlačítkem myši otevřít projekt v klasickém prostředí ANSYS (obr. 14).



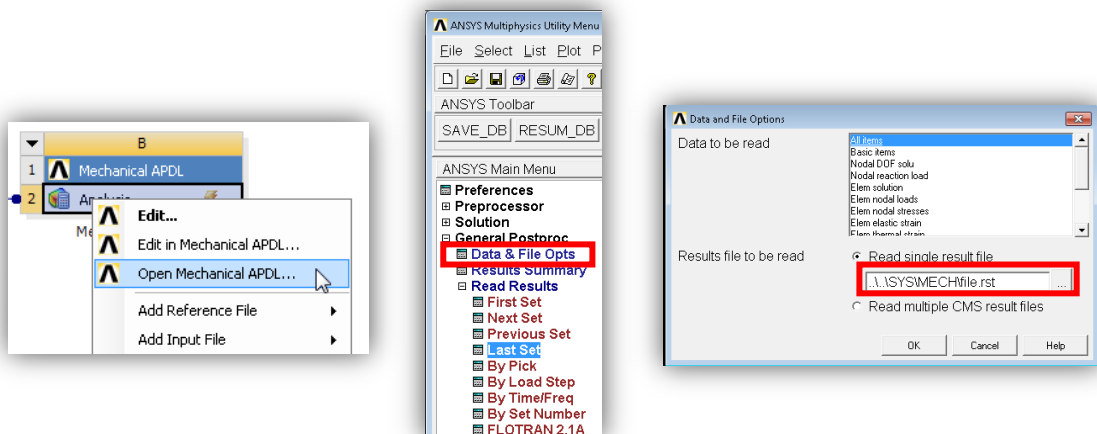
Obr. 14: Nastavení řešiče.

Jestliže chcete měnit například materiálové charakteristiky, zatížení apod. za použití stejného modelu geometrie a sítě, je nejnadhnější celou databázi zkopírovat ve schématu projektu. To provedete kliknutím pravého tlačítka myši na „*Static Structural*“ a zadáním příkazu „*Duplicate*“ (obr. 15). Tímto způsobem je možné vytvořit značně rozsáhlou databázi výsledků. V nově vytvořené databázi je naprosto stejné nastavení včetně výsledků. Tímto způsobem vytvořte dvě nové řešení a změňte materiál výplně z amalgámu na pryskyřici a cement a proveďte výpočet.

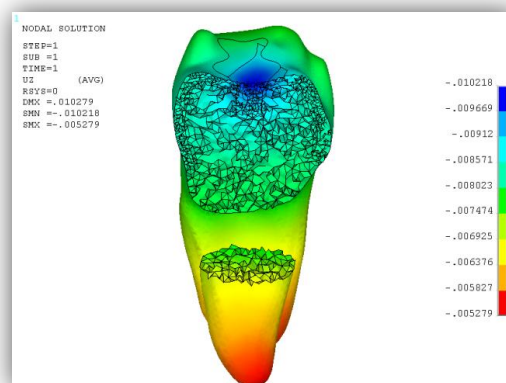


Obr. 15: Zkopírování databáze.

Jak již bylo řečeno nelze ve Workbench prostředí selektovat a pracovat s elementy a uzly. K tomu je nutné načíst výsledkový soubor do klasického prostředí. To se provede obdobně, jako je ukázáno na obrázku 14, ale místo „Edit in Mechanical APDL...“ se zadá možnost „Open Mechanical APDL...“ (obr. 17). V klasickém prostředí se v postprocesoru „General Postproc“ načte funkcí „Data & File Opts“. Poté stačí jen zadat cestu k příslušnému výsledkovému souboru uloženého v datovém typu *.rst (obr. 16). Před zobrazením výsledků (obr. 17) je ještě nutné načíst výsledky z posledního substepu „General Postproc/Read Results/Last Set“.



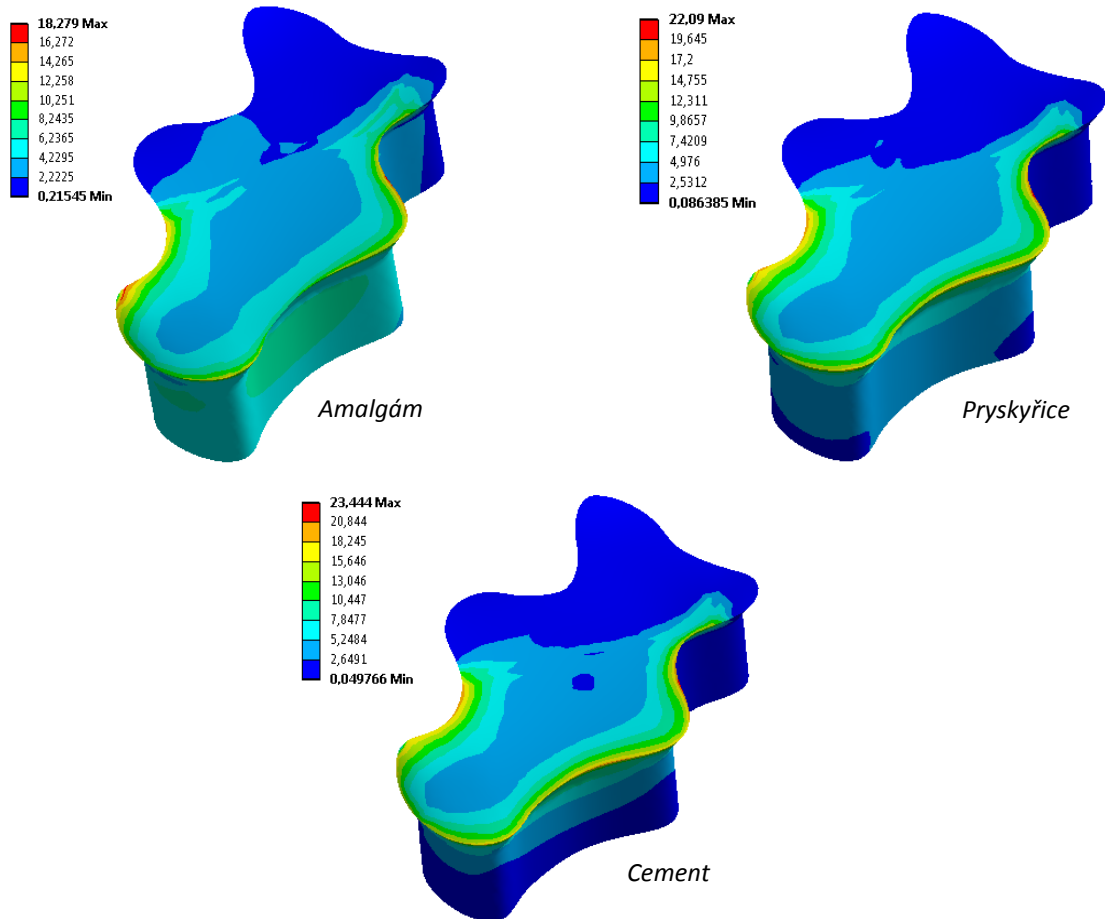
Obr. 16: Načtení výsledků do klasického prostředí.



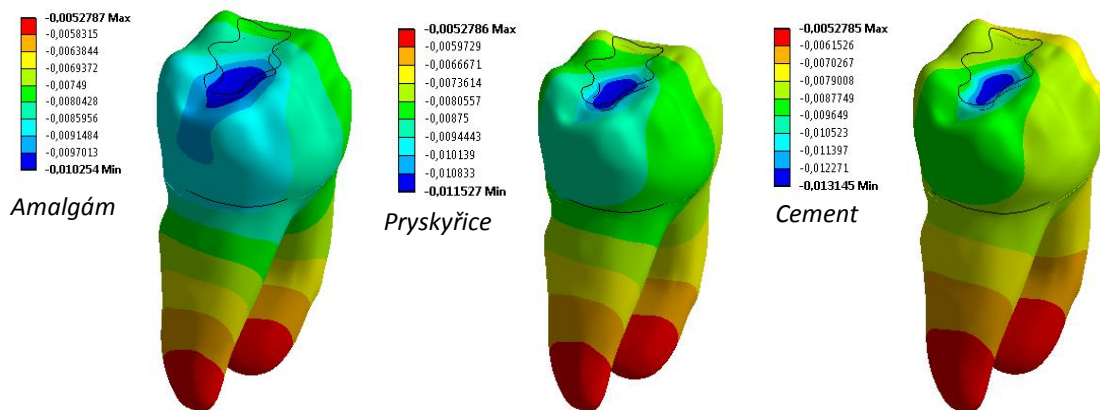
Obr. 17: Posuvy Uz [mm] zubu s odebranými elementy.

Prezentace výsledků

Pro srovnání jsou uvedeny na obrázcích 18 – 22 řešení pro tři typy dentálních výplní. Nejprve jsou zobrazena napětí HMH [MPa] vzniklých ve výplních. Z výsledků je jasně zřetelná poloha nebezpečného místa, která se nachází na okraji mezi sklovinou a výplní. Největších posuvů je dosahováno v případě soustavy s cementovou výplní (obr. 19).

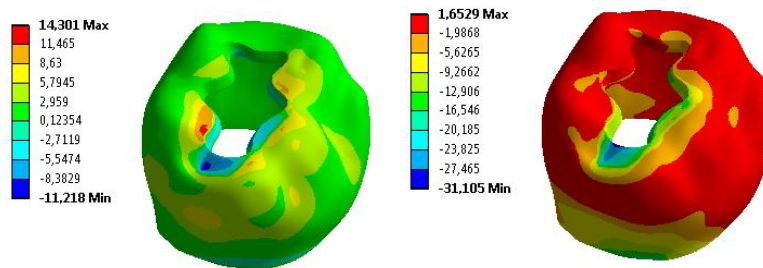


Obr. 18: HMH napětí [MPa] na výplních.

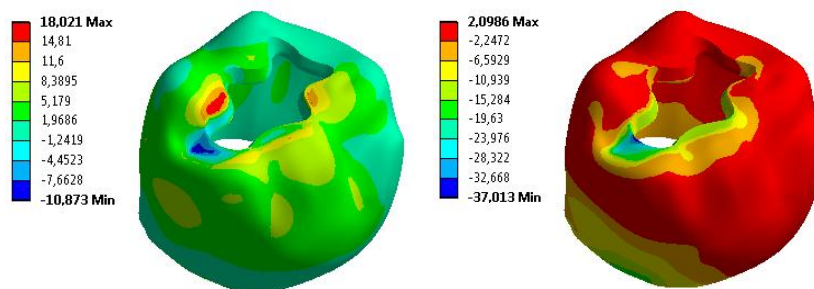


Obr. 19: Posuvy zubu s výplní ve směru Uz [mm].

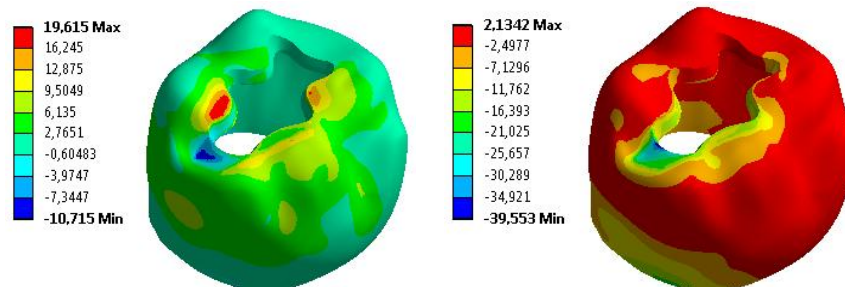
Z vykreslených prvních a třetích hlavních napětí můžeme posoudit pro dané zatěžování tahový a tlakový charakter namáhání (obr. 20-22). Nejmenších hodnot napětí je dosahováno v případě použití amalgámové výplně.



Obr. 20: První hlavní (vlevo) a třetí hlavní (vpravo) napětí [MPa] ve sklovině s amalgámovou výplní.



Obr. 21: První hlavní (vlevo) a třetí hlavní (vpravo) napětí [MPa] ve sklovině s pryskyřičnou výplní.



Obr. 22: První hlavní (vlevo) a třetí hlavní (vpravo) napětí [MPa] ve sklovině s cementovanou výplní.

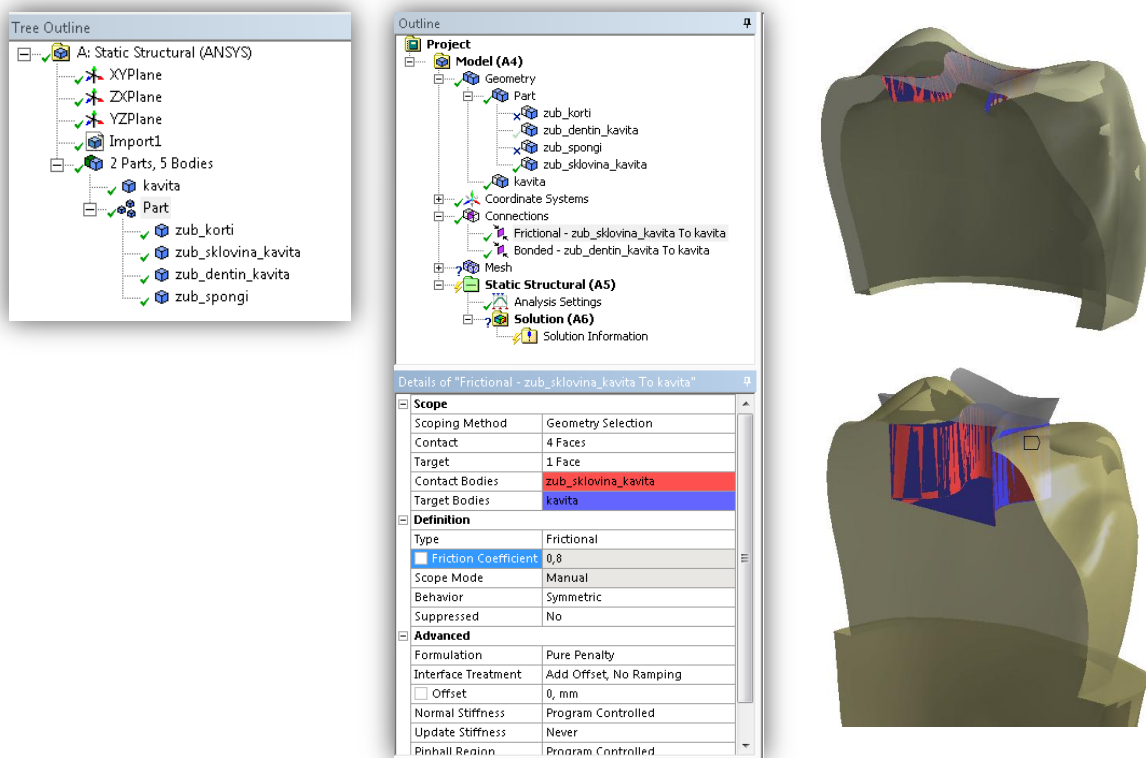
Závěr

Cílem tohoto cvičení bylo na 3D úrovni vytvořit výpočtový model zubu s výplní a částí dolní čelisti. Dále provedení řešení deformace a napětí.

OTÁZKY A ÚKOLY:

1. Vytvořte model zubu s kavitou s divergentními stěnami.
2. Zatěžujte zub i silami bočními o velikosti 17 a 25 [N] a proveďte řešení deformací a napětí.
3. Nastavte mezi výplní a zubem kontakt se třením. Koeficient tření volte 0.8 (obr. 23).

Pozn.: nejprve v „*Design Modeleru*“ vytvořte part ze všech prvků mimo kavitu. Poté se přepněte do „*Mechanicu*“ kde se ve stromu automaticky vytvořil kontakt mezi dentinem a výplní a sklovinou a dentinem. V nastavení kontaktu přepněte na typ kontaktu na „*Frictional*“ a zadejte koeficient tření 0.8 (obr. 23).



Obr. 23: Vytvoření kontaktních dvojic mezi výplní a zubem.