

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A BIOMECHANIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

DEFORMAČNĚ NAPĚŤOVÁ ANALÝZA DRUHÉHO SANOVANÉHO PREMOLÁRU

STRESS - STRAIN ANALYSIS OF SAVE PREMOLAR TOOTH

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ZDEŇKA SÁBLÍKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ZDENĚK FLORIAN, CSc.

BRNO 2008

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá deformačně napěťovou analýzou zdravého a sanovaného zubu. Deformace a napětí soustavy zubu s částí čelisti byla řešena výpočtovým způsobem, MKP ve výpočtovém systému ANSYS Workbench 11. Deformačně napěťová analýza sanovaného zubu byla provedena v pětadvaceti variantách vystihujících různé třídy a velikosti kavit, materiálu výplně a model spojení mezi výplní a zubem.

ABSTRACT

This diploma thesis deals with stress-strain analysis of healthy and save tooth. Deformation and stress of tooth system with a part of jawbone was solved by calculating method, FEM in computing system ANSYS Workbench 11. Stress-strain analysis of save of tooth was performed in twenty-five ways describing various classes and sizes of cavity, filling material and model of connection between the filling and the tooth.

KLÍČOVÁ SLOVA

Premolár, sanovaný zub, deformačně napěťová analýza, metoda konečných prvků

KEYWORDS

Premolar, Save tooth, Stress-strain Analysis, Finite Element Method

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SÁBLÍKOVÁ, Zdeňka. *Deformačně napět'ová analýza sanovaného dolního premoláru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008, 84s. Vedoucí diplomové práce Ing. Zdeněk Florián, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením
Ing. Zdeňka Floriana, CSc. s použitím uvedené literatury.

V Brně dne

.....

PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych poděkovat především Ing. Zdeňku Florianovi, CSc., vedoucímu mé diplomové práce za vedení a poskytnutí rad při řešení této práce. Děkuji také svým rodičům za veškerou pomoc a podporu při studiu na této škole

OBSAH

1. ÚVOD	15
2. POPIS PROBLÉMOVÉ SITUACE	17
3. FORMULACE PROBLÉMU A CÍLE ŘEŠENÍ	18
4. REŠERŠE	19
5.1. Problematika zubního kazu, jeho ošetření a anatomie.....	19
5.2. Elastické moduly pružnosti částí zubu a čelisti a analýzy týkající se zubů	20
5. METODA ŘEŠENÍ.....	22
6. ZÁKLADY STOMATOLOGICKÉ ANATOMIE A PROPEDEUTIKY Z HLEDISKA ŘEŠENÉHO PROBLÉMU	23
6.1. Anatomie chrupu.....	23
6.1.1. Chrup	23
6.1.2. Zevní morfologie zubu	24
6.1.3. Rozčlenění zubu	24
6.1.4. Struktura zubu.....	25
6.2. Výplňové materiály	29
6.2.1. Kompozitní materiály	29
6.2.2. Novější kompozitní materiály	30
6.2.3. Výplně ze skloionomerních cementů	31
6.2.4. Tepané zlaté výplně	32
6.2.5. Amalgamové výplně.....	32
6.3. Dělení kavit	35
6.3.1. Rozdělení kavit do tříd (Blackovo rozdělení).....	35

6.3.2.	Další dělení kavit	36
6.3.3.	Vytvoření obrysu kavity	38
6.3.4.	Retence (zakotvení) výplně	39
6.3.5.	Zajištění odolnosti výplně a zbylých tvrdých zubních tkání	42
7.	TVORBA VÝPOČTOVÉHO MODELU	43
7.1.	Tvorba modelu geometrie.....	43
7.1.1.	Vytvoření základního modelu geometrie zubu.....	43
7.1.2.	Vytvoření struktury zubu a části čelisti	44
7.2.	Modely materiálů	48
7.3.	Tvorba konečnoprvkové sítě	49
7.4.	Vytvoření kontaktu	52
7.5.	Model okrajových podmínek a zatížení zubu	54
7.5.1.	Model vazeb	54
7.5.2.	Model zatížení	54
7.6.	Řešené varianty:	55
7.7.	Volba hardwarového vybavení	55
8.	PREZENTACE A ANALÝZA VÝSLEDKŮ	56
8.1.	Prezentace výsledků zdravého zubu.....	56
8.2.	Porovnání zdravého zubu a zubu sanovaného - kavita I. a II. třídy (velká).....	57
8.2.1.	Průběhy napětí σ_1 na zubní sklovině.....	57
8.2.2.	Průběh napětí σ_3 na zubní sklovině.....	59
8.2.3.	Průběh napětí σ_1 na dentinu	61
8.2.4.	Průběh napětí σ_3 na dentinu	63
8.2.5.	Průběh napětí σ_1 na zubní výplni	65

8.2.6. Průběh napětí σ_3 na zubní výplni	67
8.2.7. Zhodnocení vlivu třídy kavity a materiálu výplně.....	68
8.3. Porovnání průběhů napětí pro velikosti kavit- velká, střední, malá pro kavity I. II. třídy	69
8.3.1. Průběhy napětí σ_1 na zubní sklovině.....	69
8.3.2. Průběhy napětí σ_3 na zubní sklovině.....	70
8.3.3. Průběhy napětí σ_1 na dentinu	71
8.3.4. Průběhy napětí σ_3 na dentinu	73
8.3.5. Průběhy napětí σ_1 na zubní výplni	74
8.3.6. Průběhy napětí σ_3 na zubní výplni	75
8.3.7. Zhodnocení vlivu třídy kavity a velikosti kavity	77
8.4. Porovnání typu kontaktu mezi zubní výplní a zubem	77
8.4.1. Zhodnocení vlivu kontaktu mezi zubem a výplní	80
9. ZÁVĚR	81
10. POUŽITÁ LITERATURA	83
11. SEZNAM PŘÍLOH.....	84

1. ÚVOD

Chrup má z hlediska funkce v trávicím traktu důležitou úlohu. Základní a nejdůležitější funkcí chrupu je oddělování a rozměňování potravy, což je pro proces trávení velice důležité. Podstatný vliv má chrup i na artikulaci a celkový výraz obličeje. Každý typ zubu má jisté specifické tvarové znaky, které mají funkční charakter. Navíc má každý zub svůj protilehlý kus, se kterým spolu musí tvarově zapadat, aby byla potrava dobře rozmělněna.

Zdraví zubu ohrožuje především nedostatečná zubní hygiena. Dobrou hygienou bojujeme především proti zubnímu kazu. Ten je nejčastějším zubním onemocněním chrupu. Základní příčinou zubního kazu je činnost bakterií přítomných v dutině ústní a ve slinách, které jsou schopny přeměnit cukry na slabé kyseliny. Neutrální prostředí se mění na kyselé, čímž dochází k uvolňování minerálních látek tzv. demineralizaci a to především vápníku a fosfátů. Působením dlouhodobějšího kyselého prostředí se zubní sklovina začíná pomalu rozpouštět. Na povrchu skloviny vznikají jamky a trhlinky, které se časem zvětšují. Postupem času se postižená tkáň zabarvuje a objevuje se citlivost zubu na sladké a studené. Zde již není jiná možnost než vrtání a vyplnění díry vhodnou výplní. Pokud se kaz dostane až do zubní dřene, která osahuje citlivá nervová zakončení, objevuje se velmi intenzivní bolest. Kromě zubního kazu pak musí být odstraněna i zubní dřeň. Zub poté zůstává bez nervových zakončení, tudíž v neživém stavu.

S bolestmi zubů se potýká lidstvo od nepaměti. Proto se o ošetření zubních kazů pokoušeli již kolem roku 1800 př. n. l. ve starověké Mezopotámii. Zubní kazy byly vypalovány žhavým drátem a díry byly utěšňovány vložkami. Ve středověku si mohli dovolit ošetření zubního kazu jenom bohatí. K dispozici již byla jednoduchá vrtačka, ale výplňové materiály byly měkké, nekvalitní a měly nízkou trvanlivost. Přesto se většinou bolesti zubu řešili jeho odstraněním. Větší rozvoj stomatologie nastal až v období renesance, kdy roku 1699 francouzský král Ludvík XIV. pojmenoval poprvé povolání zubního chirurga. Francouzský chirurg Pierre Fauchard uveřejnil v roce 1728 dílo „Le chirurgien dentiste“, které dalo podnět pro vznik stomatologie jako samostatného oboru. Britský chirurg John Hunter ve svých dvou knihách (1771 a 1778) popsal anatomii čelistí a zubů a tím položil základy vědecké stomatologii.

Zubní kaz je velkým problémem v oblasti stomatologie i dnes. Přestože je tento obor na poměrně vysoké úrovni, nebyl dosud vynalezen způsob, jak zubní kaz léčit jinak než jeho odstraněním. Zubní kazy bývají lokalizovány buď vizuálně, pomocí intraorální kamery nebo v případě vnitřních kazů pomocí rentgenových snímků anebo diagnostického laseru. Zubní kaz pak bývá odstraněn pomocí moderních vrtaček a vzniklá dutina pak vyplněna vhodným materiálem. Na trhu je k dostání velké množství výplňových materiálů s různými specifickými vlastnostmi. Téměř každý den se objeví na trhu nějaký nový postup, metoda nebo materiál. Moderní výplňové materiály se tak postupně mohou stát téměř plnohodnotnou náhradou zdravé tkáně.

2. POPIS PROBLÉMOVÉ SITUACE

Ošetření zubního kazu pomocí sanace představuje významný zásah do geometrie a do materiálu zubu. Důsledkem tohoto zásahu může dojít k podstatnému ovlivnění mechanických vlastností. Stupeň a charakter ovlivnění mechanických vlastností bude závislý na zubu, velikosti kazu, tvaru a velikosti kavity, typu výplňového materiálu a v neposlední řadě i vlastním provedení ošetření. Změna mechanických vlastností je předmětem našeho zájmu především z hlediska možných mezních stavů. Pro biomechaniku je charakteristické, že určení mezních stavů a mezních hodnot činí znatelné problémy. Totéž platí v oblasti stomatologie. Jednou z možností, jak tento problém alespoň částečně vyřešit, je provedení srovnávací analýzy fyziologického stavu a stavu po sanaci. K provedení deformačně napět'ové analýzy je nutné určit deformaci a napětí zatížené soustavy obsahující zub. Vzhledem ke geometrické, materiálové a v neposlední řadě vazbové složitosti určování deformačně napět'ového pole obsahuje řadu dílčích problémů.

3. FORMULACE PROBLÉMU A CÍLE ŘEŠENÍ

Deformačně napět'ové analýzy zdravého a sanovaného druhého premoláru.

Cílem diplomové práce je provedení deformačně napět'ové analýzy zdravého a sanovaného zubu. Řešení sanovaného zubu je provedeno pro různé parametry:

- třídy kavit
- velikost kavit
- materiál výplně kavit.

4. REŠERŠE

Rešeršní studii týkající se daného problému jsem rozdělila do několika podoblastí, ve kterých je provedena samostatná rešeršní studie.

4.1. Problematika zubního kazu, jeho ošetření a anatomie

[12] Ústní dutina

http://www.anamneza.cz/moduly/lidsketelo.php?soubor=kapitola9_2.php

Obsahuje informace o vzniku zubního kazu a postupech jeho léčbě nebo odstranění v jednotlivých stádiích.

[13] Zubní kaz

<http://dentaktiv.cz/cs/poskytovane-vykony/zubni-kaz>

Zabývá se problematikou zubního kazu, jeho projevy a prevencí a způsoby léčby.

[14] Historie zubního lékařství, MUDr. Petr Kulovaný,

<http://www.asklepion.cz/anews-asklepion-news/anews-2007-news/anews-2007-04-3/historie-stomatologie.html>

Pojednává o historii zubního lékařství, jak se ošetřoval zubní kaz dříve.

[15] Dental Biomaterials 2000

<http://wbgleason.googlepages.com/DentalBiomats.pdf>

Ukazuje preparaci kavity a věnuje se i zubním náhradám.

[16] Vzduchová abraze možnosti a limity, MUDr. Marek Průcha, MUDr. Stanislav Starzyk, PhD., Doc.MUDr. Jozef Rosina

<http://www.stomateam.cz/index.php?clanek=24>

Článek je věnovaný ošetření zubního kazu pomocí vzduchové abraze.

[4] Ivo Klepáček, Jiří Mazánek a kolektiv: Klinická anatomie ve stomatologii, 2001

Rozsáhlá anatomie zubu, rozepsání jednotlivých vrstev dopodrobna.

[3] Hellwing, E., Klimek, J., Attin, T.: Záchovná stomatologie a parodontologie, 2003

Popisuje druhy kavit a jejich vytváření, kotvení výplně.

[3] Lubor Novák: Základy záchovné stomatologie a parodontologie, 1981

Jsou zde popsány jednotlivé kavity, tvar a umístění kavit.

4.2 Elastické moduly pružnosti částí zubu a čelisti a analýzy týkající se zubů

Následující odkazy obsahují hodnoty modulu pružnosti některé z potřebných položek. Těmi jsou kortikální kost, spongiosa, zub, dentin, sklovina.

[8] Stress Analysis of Maxillary Central Incisor Restored with Different Posts, Necdet Adanir

http://www.eurjdent.com/images/vol_one_iss_two/67-71.pdf

Obsahuje hodnoty modulů pružnosti kortikální kosti a spongiózy a některých částí zubu. Práce je věnovaná hodnocení rozložení napětí pro různé materiály výplně (nerezová ocel, titan, zlatá slitina, skleněné vlákno, uhlíkové vlákno).

[17] Effects of multilayered TiN/ZrN/ Tooth-ASH composite coatings on the surface characteristic of Ti-(Nb, Zr, Ta, Hf) dental implant alloys with low elastic modulus, Han-Cheol Choe

<http://www.scientific.net/0-87849-463-4/825/>

Obsahuje moduly pružnosti kortikální kosti a některých titanových aloí.

[9] Numerical Investigation of span lengths affecting mechanical responses in anterior resin-bonded fixed partial denture, Chun-Li Lin

<http://bme.ntu.edu.tw/abc/17.3/17-3-2.pdf>

Součástí práce jsou údaje o modulech pružnosti zlaté alie, keramiky, zubní sklovin, zuboviny a kortikální a spongiózní kosti čelisti.

[18] Numerical simulation of the biomechanical behaviour of multi-rooted teeth, A. Ziegler

<http://ejo.oxfordjournals.org/cgi/reprint/27/4/333.pdf>

Práce se věnuje experimentu, který zkoumá chování vícekořenových zubů. Obsahuje hodnoty modulů pružnosti zubu a čelisti jako homogenního tělesa.

[19] A validated finite element method study of orthodontic tooth movement in the human subject, M. L. Jones

<http://jorthod.maneyjournals.org/cgi/content-nw/full/28/1/29/>

Získání 3 – D modelu a jeho využití při simulaci a napěťové analýze. V odkaze tabulka 1 obsahuje hodnoty modulu pružnosti zubní skloviny, zuboviny, kortikální a spongiózní kosti a zubního lůžka.

[20] Mechanical properties of solids

http://www.biofizyka.amp.edu.pl/m_mechanical%20properties%20of%20solids.pdf

Experimentální získání modulu pružnosti. Součástí je tabulka hodnot modulu pružnosti oceli, kosti a zubu jako homogenního tělesa, skloionomerní cementu.

[21] Tooth

<http://www.abdn.ac.uk/physics/px4007/2004/tooth.hti>

Stručná anatomie zubu včetně modulu pružnosti skloviny, zuboviny, hydroxyapatitu (významná součást skloviny a zuboviny), titanu a zlaté alloye.

[22] Effect of variation of root post in different layers of tooth: Linear vs nonlinear finite element stress analysis, Rashmi V. Uddanwadiker

http://www.jstage.jst.go.jp/article/jbb/104/5/363/_pdf

Uvádí hodnoty modulů pružnosti jednotlivých částí zubu a čelisti. Je to napěťová analýza střídání umístění podpěry kořene zubu.

[23] The finite element method: a tool to study ortodontic tooth movement, P.M.Cattaneo

<http://jdr.iadrjournals.org/cgi/reprint/84/5/428>

Obsahuje údaje o výpočtu kontaktu zubu s dásní, včetně použitých modulů pružnosti.

[24] Finite element calculation of bone remodeling in ortodontics by using forces and moments, Martin Geiger

<http://utopia.duth.gr/~pmarhav/12th-ICMMB/PDF12thConference/26-Geiger.pdf>

Práce se věnuje simulaci sil působících na zub a jejich přenosu na kost.

[10] A determination of bite force in northern Japanese children, Tetsuya Kamegai,

<http://ejo.oxfordjournals.org/cgi/reprint/27/1/53?ck=nck>

Experimentální zjištění kousací síly.

5. METODA ŘEŠENÍ

Formulovaný problém lze obecně řešit pomocí experimentálního a výpočtového modelování. Experiment je v tomto případě velice náročný. Pro provedení experimentu je nutné zajistit biologický vzorek, vhodnou měřicí aparaturu atd. Pro provádění experimentů z oblasti biomechaniky, jako součástí diplomových prací, nejsou na ÚMTMB vytvořeny vhodné podmínky. Výsledky experimentu jsou také obtížně zobecnitelné. Další možností, jak problém řešit, je výpočtové modelování a to buď analytickým, nebo numerickým způsobem. Analytická řešení se uplatňují pro jednoduché tvary a elementární tělesa, což zub z hlediska geometrie ani struktury nesplňuje. Jako nejvhodnější varianta se jeví numerický výpočet. Je to dáno především vybaveností ÚMTMB a navíc je numerické výpočtové modelování přímo součástí výuky. Tuto skutečnost jsem brala v úvahu při výběru programu, ve kterém bude numerický výpočet probíhat. Byl vybrán výpočtový systém ANSYS 11.

6. ZÁKLADY STOMATOLOGICKÉ ANATOMIE A PROPEDEUTIKY Z HLEDISKA ŘEŠENÉHO PROBLÉMU

Pro správné řešení problému je vhodné mít základní poznatky o anatomii zubu, rozdělení kavit do tříd a získat určitý přehled o výplňových materiálech.

6.1. Anatomie chrupu

6.1.1. Chrup

Chrup je označení pro soubor zubů v zubní dutině. Rozlišujeme chrup homodontní, kde jsou všechny zuby tvarově stejné, a heterodontní, kde rozlišuje typy zubů. Jsou to řezák, špičák, třenový zub (premolár) a stolička (molár). Podle počtu každého typu zubů zapisujeme zubní vzorec. Lidský zubní vzorec je:

2.1.2.3

2.1.2.3

To znamená, že člověk má v horní čelisti 2 řezáky, 1 špičák, 2 třenové zuby a 3 stoličky, stejně tak i v čelisti dolní.

V anatomii jsou jednotlivé lidské zuby popisovány jako:

- I1: První řezák (Dens incisivus medialis)
- I2: Druhý řezák (Dens incisivus lateralis)
- C: Špičák (Dens caninus)
- P1: první třenový zub (Dens premolaris primus)
- P2: druhý třenový zub (Dens premolaris secundus)
- M1: první stolička (Dens molaris primus)
- M2: druhá stolička (Dens molaris secundus)
- M3: třetí stolička - zub moudrosti (Dens molaris tertius, Dens serotinus, Dens sapientiae)

6.1.2. Zevní morfologie zubu

Daný typ zubu charakterizuje tvar a velikost jednotlivých zubů.

Podle tvaru a polohy zubů rozlišujeme řezáky, špičáky, třenové zuby a stoličky.

- **Frontální zuby-** (špičáky, řezáky)

Korunka frontálního zubu je kuželovitého až dlátovitého tvaru. Její skusová plocha má tvar hrany a je uprostřed vyzvednuta v masivní zubní hrot který, při sevření čelistech překrývá korunku protilehlého zubu. V místě spojení s krčkem ji na patrové ploše ukončuje sklovinný hrbolek. Od něj vycházejí ke kousací hraně dvě sklovinné hrany. Kořeny frontálních zubů jsou asi 12-18 mm dlouhé, mohutné, kuželovitého tvaru a z boku oploštělé. Kořenové kanálky jsou kruhového až elipsového průměru, dobře prostupné.

- **Laterální zuby-** (třenové zuby, stoličky)

Korunky laterálních zubů jsou širší a mohutnější než u zubů frontálních. Jejich žvýkací plocha je rozčleněna rýhami na vypouklé kousací hrbolky. U stoliček jsou rýhy ve tvaru písmene H či Y a oddělují 4-5 hrbolků. Hrbolky jsou po obvodu kousací plocha spojeny různě vysokým sklovinným valem. Zkřížením rýh vznikají různě hluboké zubní jamky, kde může ulpívat potrava. Postraní plochy korunek jsou vyklenuté. Kořeny mají proměnlivou délku 10-16 mm, mohou být nahoře spojené a jejich hroty se buď rozbíhají- divergence, nebo sbíhají- konvergence.

6.1.3. Rozčlenění zubu

- zubní korunka

Na jejím povrchu je žvýkací plocha, kterou rozčleňují rýhy. V místě zkřížení rýhy vznikají jamky. Povrch zubu zesilují zubní valy. Hrbolky jsou vzájemně spojeny zubními hranami nebo lištami. Hluboké jamky mohou zasahovat do těsné blízkosti dřeně, označují se jako slepé otvůrky či jamky. Plocha korunky převrácená k sousednímu zubu v oblouku je boční plocha, plocha převrácená jiným směrem k předsíni je plocha retní. Do vlastní dutiny směřuje plocha patrová.

- krček zubu

Je to oblast, kde se na rozhraní korunky a kořene stýká sklovina, zubovina a cement

- kořen zubu

Je část zubu uložená v zubním lůžku

• dutina zubu

Obsahuje zubní dřeň

6.1.4. Struktura zubu

Sklovina (email-enamelum)

Sklovina je nejtvrdší tkáň lidského těla obsahuje 95-98 % anorganických látek (hlavně hydroxyapatit), 0,5 % tvoří organické složky a zbytek tvoří voda. Pokud zub není v patologickém stavu, pokrývá sklovina celou korunku, ale v rozdílné tloušťce. Nejsilnější je na řezacích hranách a hrbolcích- až 2,5 mm. Nejtenčí je při krčku zubu. Barva skloviny je bělavá, namodralá nebo nažloutlá. Je ovlivněna průsvitností skloviny. Čím je sklovina průsvitnější tím více prosvítá žlutavá zubovina. Průsvitnost skloviny je dána její homogenitou, vysokým stupněm kalcifikace a tloušťkou. Strukturu skloviny tvoří prismata, která jsou seštavena do svazků spirálovitě probíhajících od hrbolků směrem k pulpě a mohou se vzájemně křížit. Na povrchu skloviny je 0,2-1 μm silná, nemineralizovaná a na proteiny bohatá vrstvička, která se nazývá Nasmythova membrána.

Zubovina (dentin-dentinum)

Zubovina je hlavní součástí zubu. Jde o pojivovou strukturu tvrdší než kost, která obsahuje až 75 % anorganických látek (převážně hydroxyapatit) a kolem 28 % látek organických. V dentinu rozlišujeme buňky zuboviny (odontoblasty) a mezibuněčnou hmotu, která je produktem těchto buněk. Hmotu má složku vláknitou a beztvarou. Odontoblasty jsou štíhlé válcovité buňky, které vytvářejí kolagen, glykosaminoglykany a další organické součásti živé hmoty. Jejich úkolem je vytvářet dentin a to i po prořezání zubu, přestavovat vnitřní strukturu centimu v závislosti na tlaku a účastnit se při regeneraci zuboviny. Dentin existuje ve třech formách- jako primární, sekundární a terciární dentin.

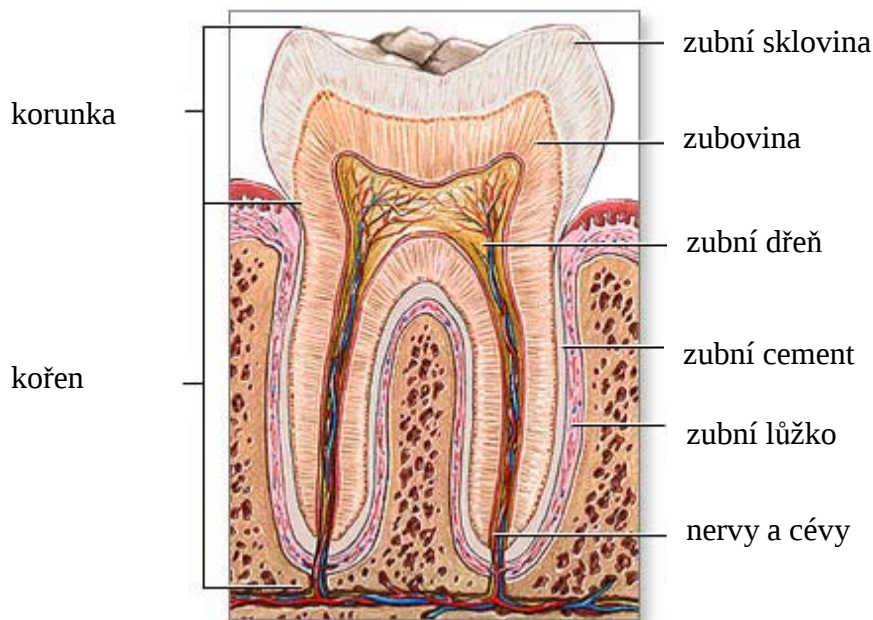
Cement (cementum)

Cement je tkáň podobná hutné kosti. Kryje krček a kořen zubu. Obvykle přesahuje na sklovinu v oblasti, kde k ní připojuje epitel dásně. Rozlišujeme dva typy cementu- bezbuněčný (acelulární, primární) a buněčný (celulární, sekundární) cement. Bezbuněčný cement vzniká nejdříve, obvykle se nalézá v prvních dvou třetinách kořene od krčku směrem ke hrotu, v dolní třetině může zcela chybět. Na tento cement navazuje v poslední třetině kořene ce-

ment celulární, kterého směrem k hrotu kořene přibývá. Bezbuněčný cement je tenká vrstva mineralizované hmoty, která slouží k zakotvení vazivových vláken závěsného aparátu ozubice. Buněčný cement se objevuje na povrchu kořene v důsledku stárnutí, vzniká i v místech vystavených nadměrnému zatížení nebo traumatu. Cement pochází z buněk zubního vaku, je produkován cementoblasty a celý proces se nazývá cementogeneze.

Zubní dřeň (pulpa dentis)

Dřeň vyplňuje dřeňovou dutinu (cavum pulpae) korunky jako korunková pulpa a kořenový kanálek zubu jako kořenová pulpa. Obsahuje řídké vazivo, bohatě vaskularizované a inervované, vzniklé z mezenchymu zubní papily. K buňkám dřeně patří vazivové buňky – bipolární pulpocyty, nediferencované mezenchymové buňky podél krevních cév, retikulární buňky a buňky plazmatické. Mezi buňkami jsou tenká kolagenní vlákna, kterých s věkem přibývá. Vazivové buňky produkují vláknitou a beztvardou základní hmotu. K úbytku dřeně dochází při zmenšování dřeňové dutiny tvorbou sekundárního a terciárního dentinu. Odumření dřeně probíhá obvykle nepravidelně. S věkem ubývá i cév a buněk.



Obrázek 6.1

Paradont (paradontium)

Paradont tvoří soubor tkání pružně upevňující zub v zubním lůžku. Vyplňuje šterbinu mezi zubem a kostí a uzavírá ji proti ústní dutině. Jde o orgán složený ze struktur vzniklých ze zubního vaku. K nim patří zubní cement (cementum), ozubice (periodontium), zubní lůžko (alveolus dentis), a dásěň (gingiva). Paradont zajišťuje pružný vazivový úpon zubu v čelisti-gomphosis, jeho výživu, umožňuje prořezání zubu do ústní dutiny, citlivě reaguje na tlakové a chemické podněty přicházející z ústní dutiny a mění svoji vnitřní stavbu v závislosti nemechanických požadavcích chrupu. Mezi vazy periodontálního prostoru jsou uloženy cévy, které spirálovitě obtáčí kořen a jsou mezi sebou propojeny spojkami, probíhajícími podél kořene. Cévní síť obklopující kořen tvoří vzájemně propojenou soustavu trubic naplněných krví, funkčně popisovanou jako hydrodynamický polštář, který se při tlaku na kořen nestačí ihned vyprázdnit. Tím se tlakový náraz částečně odbrzdí. Při snížení tlaku na zub se naopak postupně zaplňuje krví a napomáhá tak vrátit zub do původní polohy, kdy je cirkulace přes polštář nerušená.

• Zubní cement

Je to hladká vrstva (u krčku 0,02 mm), obalující kořen zubu, do které jsou zakotvena úponová vlákna závěsného aparátu ozubice. Vnitřní stavbou je cement pozměněná kostní tkáň- liší se nepřítomností osteonů a cév. Je vyživován difusí z okolního prostředí, zejména dentinu. Ostrůvky cementu pokrývají těsně po prořezání i apikální úsek skloviny v rozsahu spojovacího epitelu dásně. Cement není během života schopen přestavby a nevstřebává se. Dojde-li k jeho obnažení, pokrývá se zubním kamenem. V pevnosti cementu jsou místní rozdíly. Při přetížení zubu lze objevit odtržené kousky cementu v ozubici.

• Zubní jamka, zubní lůžko (alveola)

Je to funkční jednotka kosti. Během utváření lůžka nejprve vzniká ze zubního vaku vrstvička hutné (kortikální) kostní tkáň, tvořící budoucí výstelku alveolu. S dalším vývinem zubu roste alveolus do délky a postupně se obaluje houbovitou a různě silnou kostí, podle polohy zubu v zubním oblouku. Současně se diferencuje i vnitřní a zevní kompakta alveolu. Na okrajích alveolu se zevní i vnitřní kompakta vzájemně stýkají a vytvářejí tzv. alveolární hřeben. Po prořezání podléhá povrch hřebene zánikovým změnám (atrofii) a stává se houbovitým. Zuby a zubní kořeny jsou od sebe rozděleny přepážkami – septy, které jsou u stoliček zaoblené a nižší, u zubů jednokořenových pak tenká a ostrá. Od úrovně hrotů kořenů až po

alveolární hřeben je celý kostěný výběžek velmi plastický. Při změně zatížení působí příslušný zub jako páka. Tlakem této páky je zasažen celý vnitřní povrch alveolu až do úrovně kořenů zubů. Dlouhodobý působením tlaku nebo tahu, buď přímo na stěnu alveolů, nebo na zuby v nich ukotvené, dochází k přestavbě stěny alveolu a může dojít ke změně polohy zubu.

• **Ozubice (periodontium)**

Ozubnice je výplň prostoru mezi zubním kořenem a stěnou zubního lůžka.

Struktury ozubnice:

- vazivová tkáň závěsného aparátu zubu, uložená ve štěrbině mezi zubím cementem a kortikální vrstvou kosti vystýlající zubní jamku. Sestává se z kolagenních vláken mezi stěnou alveolu a cementem zubu, uspořádaných do vazivových svazků a propletených jemnými nervovými vlákny a cévními kličkami.

- volné buňky vaziva, fibroplasty, nervy a jejich zakončení, cévy, shluky buněk epitelového charakteru, které jsou zbytkem svislé části sklovinného orgánu a volné epitelové buňky.

Periodontální vazy jsou v klidu uvolněny a esovitě prohnuty. Zub je v alveolu pevně, ale zároveň pružně zavěšen. Spolu s ostatními všechny vazy tvoří funkční jednotku. Zubní vazy mají o polovinu menší pevnost v tahu než kortikální kost, proto se po ukončení vývoje téměř neprodłużují. Při celkovém zatížení ozubice 100 kg se vazy protáhnou jen o 0,001 mm. Tlak na zub se v ozubici převádí na tah. Soustava vazů převádí každé zatížení zubu na velkou část plochy lůžka. Mimo to každý tlak působící na zub napíná vazy na různých místech alveolu. Tím se tlakové síly rozkládají na velkou plochu a lůžko je ve hmotě čelisti stabilizováno.

• **Dáseň (gingiva, mucoperiosteum)**

Dáseň je modifikovaná sliznice, jejíž struktura je pozměněna těsným spojením sliznice s okostnicí, periostem prostřednictvím slizniční svalově-vazivové vrstvičky. Dásni chybí podslizniční a svalová vrstva typická pro stěnu trávicí trubice. Dáseň je křehká, tuhá, neposunlivá, bez elastických vláken, ve srovnání se sliznicí ústní dutiny bledě růžová, nemá slinné žlázy a obsahuje jen malé množství pigmentových buněk – melanocytů. Větší množství pigmentu se vyskytuje u brunetů a lidí s tmavší pletí. Intenzita růžové barvy dásně kolísá v závislosti na množství těchto buněk, na množství cév a na tloušťce gingiválního epitelu. Její povrch je pokryt mnohvrstevným dlaždicovitým epitelem a je jemně dolíčkovaný, takže se podobá pomerančové kůře.

6.2. Výplňové materiály

K obnově kazem podmíněných defektů tvrdých zubních tkání je dnes k dispozici celá řada materiálů (rozdělení uvedeno v tabulce 2). Stanovení léčebného postupu pro daný výplňový materiál je buď vztaženo k zubu (např. velikost, poloha defektu) nebo k pacientovi.

6.2.1. Kompozitní materiály

Kompozit obecně značí nějaký složený materiál. Ve stomatologii pod tímto pojmem rozumíme plastický výplňový materiál v barvě zubu, který po nanesení do kavity tuhne chemicky nebo po dávce energie. Kompozity tuhnoucí po dávce energie tj. světlem tuhnoucích kompozity rozlišujeme na kompozity tuhnoucí UV nebo halogenovým světlem. Dnes se používají jen kompozity tuhnoucí halogenovým světlem kvůli poškozování sítnice UV světlem. Polymerizaci ovlivňuje druh světelného zdroje (intenzita, vlnová délka), vzdálenost světelného zdroje, složení kompozitu a jeho barva. Moderní stomatologické kompozitní materiály se skládají z velkého množství složek, které ovlivňují vlastnosti materiálu.

Složení kompozitních materiálů

Hlavní složky kompozitních materiálů jsou:

- organická matrix
- disperzní fáze (plnivo)
- spojovací fáze (silany, kopolymery)

Kompozitní matrix se v plastickém stavu skládá z:

- monomerů
- iniciátorů
- stabilizátorů
- barviv
- pigmentů
- dalších aditiv (změkčovadla, látky chránící před světlem, a látky opticky zesvětlující)

U použitých **monomerů** se téměř výhradně jedná o polyfunkční materiály, které lze charakterizovat zjednodušeným základním vzorcem: MA-R-MA. MA představuje esterové zbytky kyseliny metakrylové. Tyto molekuly kompozitní matrix vykazují relativně vysokou reaktivitu i při nízkých teplotách, dobré fyzikální vlastnosti, relativně dobrou barevnou stálost a minimální toxické účinky. Jsou pachově a chutově neutrální. Centrální molekula R je zod-

povědná za mechanické vlastnosti, nasákavost vodou, kontrakci, stupeň polymerizace, viskozitu atd. Pod pojmem **iniciátory** rozumíme složky matrix, které se aktivací rozpadnou na energii nabitě radikály. Reaktivita iniciátorů je důležitá pro dokonalé vytvrzení materiálu. **Iniciátory** zlepšují barevnou stálost kompozitního materiálu. Mohou mít vlastní barvu, která se během polymerizace spotřebuje, nebo vytvářet vedlejší produkty, které výsledný materiál zbarví. **Stabilizátory** (inhibitory) jsou většinou sférické fenoly. Zabraňují předčasné polymerizaci a tím prodlužují trvanlivost kompozitních materiálů. Organické a anorganické **pigmenty** umožňují výrobu kompozitů v různých barvách. Jako barevný pigment se dnes hojně používají oxidy železa. Jako **další aditiva** chápeme změkčovadla, látky chránící před světlem a látky opticky zesvětlující. Pro zlepšení fyzikálních a mechanických vlastností se do kompozitní matrix přidávají plniva. Zlepšujeme tím pevnost materiálu v tahu a v tlaku, modul elasticity a odolnost proti otěru, současně se snižuje polymerizační kontrakce, lineární koeficient tepelné roztažnosti a nasákavost vodou. Jako anorganické plnivo se používá keramika a oxid křemičitý.

Rozdělení kompozitů podle druhu plniva:

- a) Konvekční kompozity s makročásticemi plniva křemene, skla nebo keramiky. Průměrná velikost částecek činí podle druhu kompozitu více než 10 μm a méně než 5 μm .
- b) Hybridní kompozity s makro- a mikročásticemi z SiO_2 . průměrná velikost částic činí podle druhu kompozitu více než 10 μm , mezi 2 a 10 μm nebo méně než 2 μm . U moderních submikronových hybridních kompozitů se průměrná velikost částic pohybuje pod 1 μm .
- c) Homogenní mikrofilní kompozity s velikostí částic 0,01-0,04 μm .
- d) Nehomogenní mikrofilní kompozity se střepovitými a kulovitými prepolymerizáty (100-200 μm) nebo mikrofilními aglomeráty.

6.2.2. Novější kompozitní materiály

Kompomery jsou světlem tuhnoucí kompozity, které jsou modifikovány složkami skloionomerního cementu. Skloionomerní cementy jsou zpravidla jednosložkový materiál, který tuhne po přívodu světla. Reakce může probíhat na hraničních plochách, které se dostávají do styku s vlhkým prostředím, a to jen ve velmi tenké vrstvě. Matrix kompomerních materiálů se skládá z polymerizovatelných plastů a karboxylových kyselin. Kompomery mají vysoký podíl plniva (až 80 % hmotnosti). Vazbu kompomerů na tvrdé zubní tkáň zajišťují adheziva stejně jako u kompozitů. Kompomery jsou používány především jako výplňový

materiál kavit V. třídy, kde jsou kladeny vysoké nároky na pevnost v ohybu. **Ormocery** jsou organicky modifikovatelné keramické materiály. Organická matrix ormoceru se skládá z části anorganické prepolymeryzované sítě s metakrylátovými skupinami, které při polymerizaci způsobí silné zesíťování. Tato reakce je zahájena stejně jako u ostatních kompozit světlem. Další nový kompozitní materiál je založen na takzvaných poly(mer)sklech - **poly(mer)glass**. Matrix tohoto materiálu se skládá z tetra- až hexafunkčních molekul, které vykazují vyšší hustotu zesíťování než matrix v běžných bifunkčních monomerech. Je označována jako organická skelná matrix nebo matrix z polyfunkčních vitroidních polyskel.

Světlem tuhnoucí kompozity mají tyto výhody:

- odpadá proces míchání
- relativně dlouhá doba zpracovatelnosti
- lze využít vrstvení kompozitů
- při správném použití dojde k rychlému a dobrému vytvrzení ve všech vrstvách

Nevýhodou je, že může dojít k nekontrolovatelnému zahájení polymerizace denním světlem nebo osvětlovacím tělesem.

6.2.3. Výplně ze skloionomerních cementů

Skloionomerní cement se skládá z prášku a tekutiny, které tuhnou na základě acidobazické reakce.

Rozlišujeme tyto skupiny skloionomerních cementů:

- konvekční skloionomení cementy
- cermentové cementy
- kondenzovatelné skloionomerní cementy
- světlem tuhnoucí skloionomerní cementy

Základem **konvenčních skloionomerních cementů** jsou polyarboxylové kyseliny (polymery alkenových kyselin). Tekutá složka těchto tzv. skloionomerních cementů mísitelných s vodou je destilovaná voda, příp. kyselina vinná. Prášek se skládá z vápenato- hlinito-křemičitého skla a z přidávaných krystalů fluoridu vápenatého, které při tavení výchozích složek napomáhají zkapalnění. **Cermentové cementy** jsou takové cementy, kde jsou použity částice skla slinované s kovy. Světlem tuhnoucí skloionomerní cementy mají v tekutině kromě kyseliny obsažené ještě další složky např. hydrofilní monomery a fotoiniciátory.

Mechanismus vazby

Skloinomerní cementy se mohou chemicky pojit s tvrdými zubními tkáněmi. Mezi karboxylovými skupinami kyseliny polyakrylové a anorganickými součástmi skloviny nebo dentinu vznikají jak iontové tak kovalentní vazby. Síla vazby na sklovinu je dvakrát vyšší než na dentin. Síla vazby mezi kompozitem a sklovinou při adhezivní technice je však šestkrát vyšší než vazby skloviny na skloinomerní cement. Pro vytvoření dobré vazby mezi cementem s tvrdou zubní tkání musí být povrch čistý, hladký, dobře smáčitelný a dostatečně nízká viskozita cementu. Kavity pro tyto materiály by neměly mít žádné tence vyčníhající okraje z důvodu nízké odolnosti skloinomerních cementů proti frakturám hran.

6.2.4. Tepané zlaté výplně

Pojmem tepané zlaté výplně rozumíme výplně ze zlata, které kondenzujeme přímo v kavitě. Používáme čisté zlato (24 karátů), a to buď ve formě **folie** anebo zlato **hubkové**. Hubkové (Matfoil, Matgold) zlato je elektrolyticky získané zlato ve formě prášku, které je poté slinováno. Lze ho použít pouze ke zhotovení jádra výplně. Povrch výplně je vždy tvořen zlatem foliovým (Goldfoil). Síla folie je 1,5 μm . V kavitě nejsou zapotřebí žádné retence. Zlato by mělo být zpracováváno co největším tlakem, tak aby došlo k tváření za studena. Zlatá výplň se vyznačuje trvalou, optimální stálostí stěn, dobrým okrajovým uzávěrem a leštitelem povrchem. Chová se chemicky neutrálně, nevykazuje korozi a lze ji znovu leštit a konturovat.

6.2.5. Amalgamové výplně

Stříbrný amalgám vzniká smísením prášku (alloy) se rtutí. Alloy se skládá ze slitiny stříbry, cínu a mědi s přísadou zinku a rtuti. Existují různé druhy amalgamu (tabulka 1), který se vyrábí různými způsoby. Jednotlivé složky se dohromady roztaví, dají se do formy a po ztuhnutí se jednotlivé pruty zpracovávají na piliny. Vznikají jehlovité částičky různé velikosti (pilinovitý amalgám). Nebo ho lze rozptýlit do atmosféry z ochranných plynů- při náhlém ochlazení pak vznikají kulovité (sférický amalgám) nebo kapkovité částičky (sféroidní amalgám). Existují rovněž alloye, které obsahují piliny i sférické částičky různého složení (blend). Dnes se díky změněným metalurgickým postupům vyrábějí tzv. non-gama-2 amalgamy, které mají výrazně lepší vlastnosti. U konvenčních alloyí se po přidání rtuti z částic

uvolňuje stříbro a cín a vznikají fáze gama-1 (Ag_3Sn) a fáze gama-2 (Sn_8Hg). Poměr hmotnosti prášku a rtuti je 1:1. K tomu aby došlo ke kompletní přeměně fází je zapotřebí zhruba dvojnásobné množství rtuti. Ve ztuhlém amalgamu tedy zůstávají nezreagované piliny prášku obklopené matrix faze gama-1.

Rtuť se během korozivních dějů uvolňuje a difunduje do hloubky výplně, kde se pojí se stříbrem a vytváří opět fázi gama-1. Přitom dochází k expanzi výplně (**merkuroskopická expanze**), okraje se vyklenují a lámou se při zatížení žvýkacím tlakem. Non-gama-2 amalgamy mají zvýšenou odolnost vůči korozi, lze je lépe leštit a nemají téměř žádnou merkuroskopickou expanzi a tudíž mají lepší okrajový uzávěr.

	Konvenční amalgam	Non-gama-2 amalgam
Pilinový amalgam (lathe cut)	Nízký podíl mědi	Podíl mědi až 25 %
Smíšený amalgam (blend)	Konvenční piliny a nízký podíl stříbra/mědi	Konvenční piliny a třetina stříbro/měděných sférických částic a sférické částice se zvýšeným obsahem mědi
Sférický amalgam	Nízký obsah mědi	Obsah mědi až 25 %
Sféroidní amalgam		Obsah mědi až 25 %

Tabulka 1 Rozdělení běžných amalgamů

V průběhu tuhnutí se mění objem většiny amalgamů. Existují amalgamy, které pouze kontrahují, jiné kontrahují v prvních dvou až třech hodinách a další expandují již do začátku tvrdnutí. Expanze se snižuje s menší velikostí částic, vyšším kondenzačním tlakem, s menším obsahem rtuti a s prodlouženou dobou míchání. Snahou je dosáhnout velikosti expanze 20 μm na 1 cm. Vlastnosti se zkouší na standardizovaných válcích o průměru 4 mm a výšce 8 mm. Kontroluje se hodnota flow tj. hodnota zkrácení zkušebního válce, která se získá zatížením 10 MPa po dobu 21 hodin a při teplotě 37°C. Hodnota flow nesmí překročit 3 %. Další sledovanou vlastností je creep, kdy zkušební válec starý 7 dní zatěžíme po dobu 4 hodin tlakem 36 MPa při teplotě 37 °C. Hodnota creep rovněž nesmí překročit 3 %. Existuje korelace mezi hodnotou creep a počtem velikostí fraktur okrajů výplně. Další důležitou hodnotou je odolnost v tlaku. Zkušební válec se po 24 hodinách zatěží zvyšujícím se tlakovým

zatížením, dokud nedojde k porušení. Minimální tlak, při kterém válec praská, musí být minimálně 300 MPa.

Materiál	Tuhnutí	Složky	Vazba (reference)	Zpracování	Fyzikální vlastnosti
KOMPOZITY					
– hybridní kompozity – makrofilní kompozity – nízkoviskózní „flowable“ kompozity – poly(mer)glass – ormocery – „flowable“ kompozity	Světlem tuhnutí materiálů (zřídka chemicky nebo duálně tuhnutí)	Jednosložkové materiály (výjimka: chemicky nebo duálně tuhnutí materiály – 2 složky ke smíchání)	Mikromechanická, dentinové adhezivum nezbývá	Závisí na technice (kofferdám): – technika vrstvení kompozitních materiálů – citlivost na vlhkost	Velká teplotní roztažnost Polymerizační kontrakce
SKLOIONOMERNÍ CEMENTY (GIC)					
V barvě zubu					
Konvenční GIC GIC s vysokou viskozitou	Chemické tuhnutí Acidobazická reakce	2 složky ke smíchání	Chemická (= adhezivní) a mikromechanická	Iniciální citlivost na vlhkost	Teplotní roztažnost /kontrakce jako u tvrdých zubních tkání
Hybridní ionomery (= pryskyřici modifikované GIC)	Tuhnutí světlem a chemicky	2 složky ke smíchání	Chemická (= adhezivní) a mikromechanická	Snižená citlivost na vlhkost	Velká teplotní roztažnost/kontrakce, polymerizační kontrakce
V barvě kovu					
Amalgam	Chemicky	2 složky ke smíchání	Makromechanická	Malá citlivost na vlhkost	
Tepané zlaté výplně	–	1 složka	Makromechanická	Vysoká citlivost na vlhkost	
GIC obohacené o kovy (cermet-cementy)	Viz GIC	Viz GIC	Viz GIC	Viz GIC	Viz GIC

Tabulka 2 Rozdělení výplňových materiálů

6.3. Dělení kavit

6.3.1. Rozdělení kavit do tříd (Blackovo rozdělení)

•Třída I (kazy vzniklé v místech se zbrázděnou sklovinou)

Kavity v oblasti jamek a fizur především molárů a premolárů.

•Třída II (kazy na aproximálních plochách molárů a premolárů)

Kavity v oblasti aproximálních plošek v postranním úseku chrupu. Kaz zpravidla začíná v blízkosti bodu (plochu) kontaktu. Lokalizace kazu je závislá na věku, s přibývajícím věkem se počátek kazu posunuje gingiválně.

•Třída III (kazy na aproximálních plochách řezáků a špičáků nezeslabující incizní hranu)

Kavity v oblasti aproximálních plošek řezáků a špičáků, které ponechávají incizní (řeznou) hranu neporušenou. Kazy vznikají v blízkosti styčného bodu. Jsou umístěny na aproximální ploše a šíří se gingiválně, incizně, ale i směrem labioorálním.

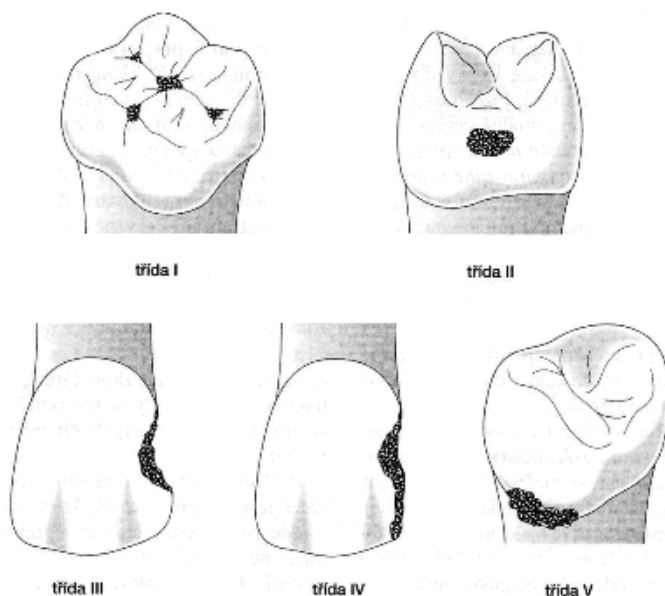
•Třída IV (kazy na aproximálních plochách řezáků a špičáků zeslabující incizní hranu)

Kavity v oblasti aproximálních plošek řezáků a špičáků, které zasahují i na incizní hranu. Velmi často dochází ke ztrátě růžku ojediněle i celé hrany.

•Třída V (kazy v gingivální třetině korunky)

Kavity bukalních a linguálních hladkých plošek, které většinou leží v gingivální třetině korunky zubu.

Blackovo rozdělení kazivých dutin není ideální, jelikož neříká nic o charakteru kazu a opomíjí kazy vyskytující se na jiných plochách zubu. Toto rozdělení používáme i přes jeho nedostatky, protože není lepší.



Obrázek 6.2 Třídy kavit

6.3.2. Další dělení kavit

Vypreparované kavity dělíme:

1. podle počtu ploch, které zaujímají
2. podle počtu ploch, které jsou zaujaty do preparace.

Ad1. Dělení podle počtu ploch, které kavita zaujímá

- a) Kavity centrální - jednoduché
 - uzavřené
- b) Kavity obrysové - složené
 - otevřené

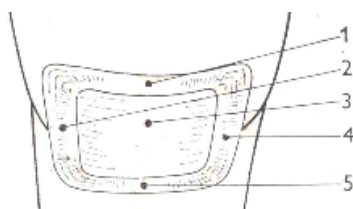
Kavity centrální jsou uloženy pouze na jedné ploše zubu a jsou ze všech stran obklopeny bočními stěnami z tvrdých zubních tkání. Patří sem všechny kavity V. třídy, většina kavit I. třídy a některé preparace II. a III. třídy.

Kavity obrysové se rozprostírají na dvou a více plochách zubu. Chybí jim nejméně jedna boční stěna. Patří sem všechny kavity IV. třídy, většina preparací II. a III. třídy a některé preparace I. třídy. Někdy se obrysové kavity dělí dále na kavity složené a kavity složité, nazývané také komplexní. Kavity složené zaujímají pouze dvě plochy zubu, kavity složité tři a více zubních ploch.

Ad2. Dělení podle počtu ploch, které jsou zaujaty do preparace

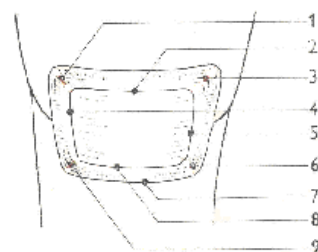
Označujeme je velkými počátečními písmeny preparovaných ploch, popř. jejich skládáním. Rozeznáváme např. kavity okluzní (O), meziokluzní (MO), distookluzní (DO), meziokluzodistální (MOD), mezipalatinální (MP), distopalatinální (DP), meziopalatodistální (MPD) apod.

Kavity tvoří hrany, stěny a rohy. Stěny nazýváme podle povrchové plochy zubu, ke které jsou přivráceny. Vnitřní stěna kavity, rovnoběžná s axiální rovinou, je stěna axiální. Horizontálně stěna přivrácená k pulpě se nazývá stěnou pulpální. Stěnu přivrácenou ke gingivě (krčku zubu) nazýváme gingivální. Hrany a rohy (obr 6.3-6.8) se nazývají jmény útvarů, které je vytvořili. Obrysové hrany kavity vytvořené protětím stěny kavity s některou plochou zubu se nazývají pouze jmény plochy, na kterou vyúsťují.



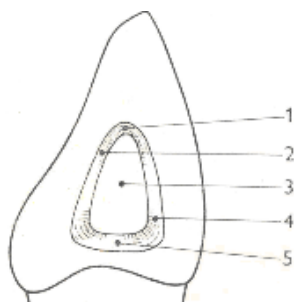
Obrázek 6.3 Kavita V. třídy

1- okluzní stěna, 2-meziální stěna,
3-axiální stěna, 4-distální stěna,
5-gingivální stěna



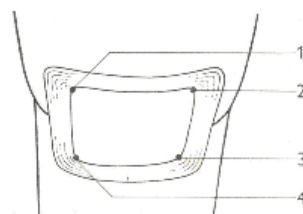
Obrázek 6.4 Kavita V. třídy

1-meziokluzní hrana, 2-okluzoaxiální hrana,
3-disto- okluzní hrana, 4-mezioaxiální hrana,
5-distoaxiální hrana, 6-disotogingivální hrana,
7- gingivální hrana, 8- gingivoaxiální hrana,
9- meziogingivální hrana



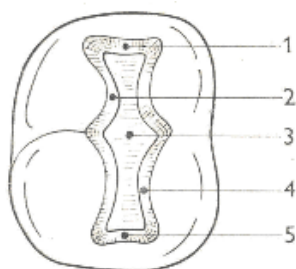
Obrázek 6.5 Kavita III. třídy

1- incizní stěna, 2 - lingvální stěna, 3- axiální
stěna, 4- labiální stěna, 5- gingivální stěna



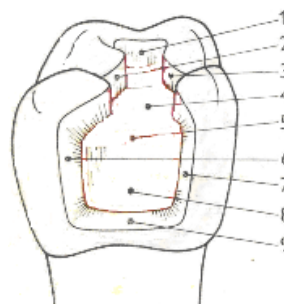
Obrázek 6.6 Kavita V. třídy.

1- meziokluzní roh, 2- distoaxiokluzní roh,
3- dostiaxio- gingivální roh, 4- meziogingivální roh



Obrázek 6.7 Kavita I. třídy

1- diastální stěna, 2- bukalní stěna,
3- pulpální stěna, 4- linguální stěna,
5- meziální stěna



Obrázek 6.8 Kavita II. třídy.

1- distální stěna, 2- bukalní stěna, 3- linguální
stěna, 4- pulpální stěna, 5- pulpoaxiální stěna,
6- bukoproximální stěna, 7- linguoproximální
stěna, 8- axiální stěna, 9- gingivální stěna

6.3.3. Vytvoření obrysu kavity

Obrysem kavity rozumíme vymezení okrajů kavity proti zdravé sklovině (popř. cementu) podložené zdravým dentinem. Pro obrys kavity je jedním hlediskem rozsah kazu. Obrys kavity má být takový, aby zamezil vzniku sekundárního kazu. Proto při vytváření obrysu kavity zohledňujeme také prevenční hledisko. Vedeme proto obrysy kavity v místech, která jsou přístupná samoočišťování. Okraje kavity vedeme na hladkých plochách zubů. Sklovinné okraje musí probíhat v rovných obloukovitě zahnutých liniích a vzájemně se stýkají v zaoblených úhlech. Obrys kavity nesmí nikdy vytvářet ostré úhly. Obrys kavity je určen hledisky zajišťujícími retenci výplně i tvrdých zubních tkání a také je závislý na druhu výplňového materiálu.

Zohledňující faktory při vytváření obrysu kavity:

1. rozsah kazivého ložiska
2. prevenční extenze
3. zajištění retence výplně i tvrdých zubních tkání
4. druh výplňového materiálu.

6.3.4. Retence (zakotvení) výplně

Retencí (zakotvením) výplně rozumíme takovou preparaci, která zajišťuje, aby výplň nevypadla, nevykousla se a nedala se z vypreparované dutiny vytáhnout. Doposud nemáme (až na malé výjimky) výplňový materiál, který by zajišťoval retenci výplně chemickou vazbou s tvrdými zubními tkáněmi. Jsme proto nuceni zajistit retenci mechanickou. Tento způsob je dán nejen fyzikálně chemickými vlastnostmi materiálu, ale také vzájemným vztahem čelistí, postavením a tvarem zubů, rozsahem a stavem zubní dřeně a zařazením kazu v Blackově klasifikaci. Preparace je taková, která brání vysunutí výplně ve třech směrech na sebe kolmých.

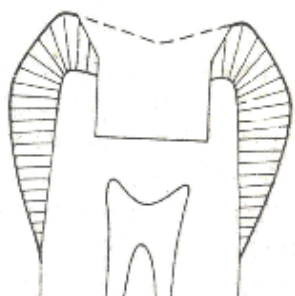
Retenci zajišťujeme:

1. skříňkovitou preparací stěn kavity
2. divergentní preparací stěn kavity
3. preparací podsekřivin ve stěně u spodiny kavity
4. preparací rýh a zářezů
5. preparací pomocné kavity na další ploše zubu
6. preparací incizního schůdku
7. kotvením pomocí parapulpálních čípků
8. kotvením čepem do křenového kanálku
9. vytvořením nerovností vznoklých poleptáním skloviny kyselinami v těsné blízkosti vypreparované kavity.

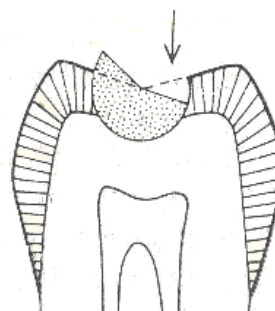
Základem retence je preparace skříňkovité kavity. Ostatní retenční zařízení zvyšují pouze retenci výplně a bez skříňkovité preparace kavity jsou neúčinná. Výjimkou jsou pouze nerovnosti vzniklé poleptáním sklovinných prizmat kyselinami.

Skříňkovitá kavita (obr 6.9) má stěny kolmé ke spodině kavity. Stěny jsou paralelní a se spodinou svírají pravý úhel, který je lehce zaoblený. Stěny a dno kavity jsou rovné. Nevhodná je **miskovitá preparace kavity** (obr 6.10) a to i při **kotvení výplně zářezy na dně kavity** (obr 6.11). Jednoduchou modifikací skříňkovité kavity je **divergentní preparace stěn kavity** (obr 6.12). Při této preparaci se stěny kavity směrem k povrchu lehce sbíhají. Stěny kavity spolu svírají mírně ostrý, ale zaoblený úhel. Vchod do kavity je menší než její dno. **Preparace podsekřivin** (obr 6.14) ve stěně a u dna kavity je možná pouze pro plastické výplně. Ve stěnách, u jejich přechodu ve dno kavity, vypreparujeme v dentinu obráceně ku-

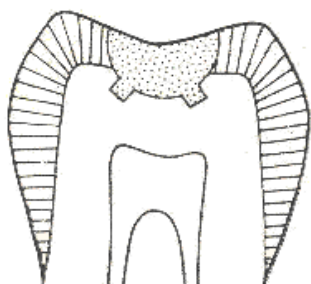
želovým vrtáčkem nebo větším kulovým vrtáčkem podsekřiviny. **Preparace rýh a zářezů** (obr 6.17) je vhodná eventuálně k zajištění zvýšení retence u plastických a litých výplní zejména u kavit II. třídy. U kavit II. třídy preparujeme v bočních stěnách vlastní kavity vždy po jednom zářezu. **Preparace pomocné kavity** (obr 6.13) na další ploše zubu se používá u kavit II. a IV. třídy a u rozsáhlejších kavit III. třídy. Brání vypáčení výplně směrem apromálním. Kotvení u těchto kavit se přenáší na okluzní (orální) plochu, na které preparujeme tzv. rybínu - **kotvení na rybínu**. Retenci výplně zajišťuje rozšíření rybiny směrem bukálním (incizním) a orálním (gingiválním). Bez této extenze není výplň dostatečně zajištěna proti vypáčení apromálním směrem. Hloubka preparace rybiny je asi 1,5-2 mm, šířka 2-2,5 mm. Rybína musí být uložena v dentinu. Její hloubka se řídí anatomickými poměry zubu, artikulárními vztahy a materiálem výplně. **Preparace incizního schůdku** je vhodná u některých defektů IV. třídy. Použijeme jí u zubů s dostatečně širokou incizní hranou. Ztráta růžku nesmí být příliš velká a incizní hrana musí být zachována nejméně ze dvou třetin. Zajišťuje velmi účinnou retenci lité výplně, není však esteticky výhodná. **Kotvení pomocí parapulpálních čípků** (obr 6.16) je možno použít u větších defektů IV. třídy často i ve spojení s jiným retenčním zařízením. Parapulpální čípek preparujeme na gingivální stěně buď v blízkosti axiální stěny nebo uprostřed gingivální stěny. Preparace pro parapulpální čepy (obr 6.15) je 2-2,5 mm hluboká o průměru 0,6 mm. Všechny čepy musí být navzájem rovnoběžné s labiální plochou zubu. Kovové parapulpální čípky se upevňují pomocí zinkofosfátového cementu nebo kyanoakrylátových lepidel. **Kotvení čepem do kořenového kanálku** používáme u zubů bez dřeně s defektem IV. třídy a s dokonale zaplněným kořenovým kanálkem. Kořenový kanálek preparujeme tak, aby na stěnách kanálku nebyly žádné podsekřiviny a jeho průměr labioorální byl širší než průměr meziodistální. Vytvoření nerovnosti poleptáním skloviny kyselinami nebo v těsné blízkosti vypreparované kavity se používá u kompozitních výplňových materiálů. Užívá se anorganických i organických kyselin v různých koncentracích aplikovaných různě dlouho na sklovinu. Vzniklé mikroprostory ve sklovině u větších defektů nepostačují k retenci, proto se musí preparovat retenční kavita.



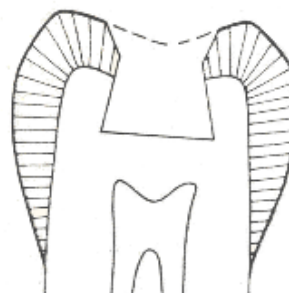
Obrázek 6.9 Skříňkovitá kavita



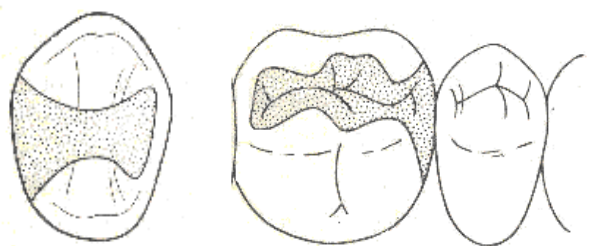
Obrázek 6.10 Miskovitá preparace kavity



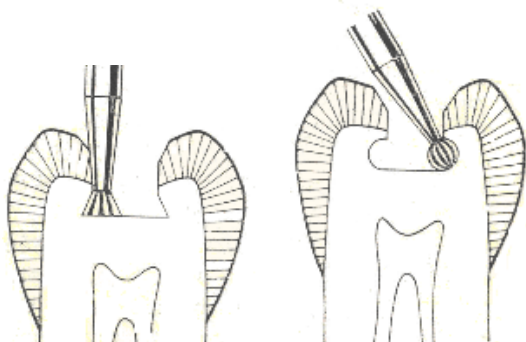
Obrázek 6.11 Kotvení výplně se zářezy na dně kavity



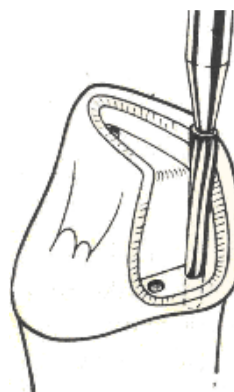
Obrázek 6.12 Skříňkovitá kavita s divergentními stěnami



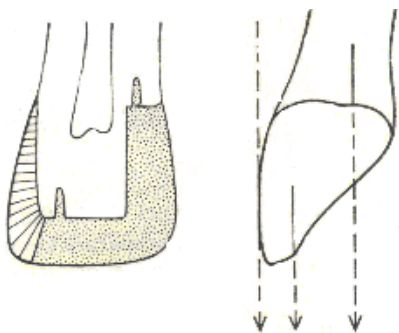
Obrázek 6.13 Preparace rybiny



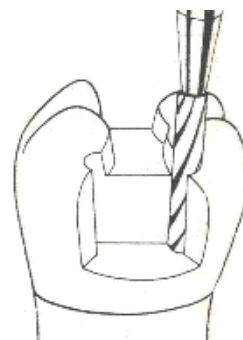
Obrázek 6.14 Preparace podsekřivin



Obrázek 6.15 Schéma umístění parapulpálních čípků



Obrázek 6.16 Kotvení parapulpálními čípky



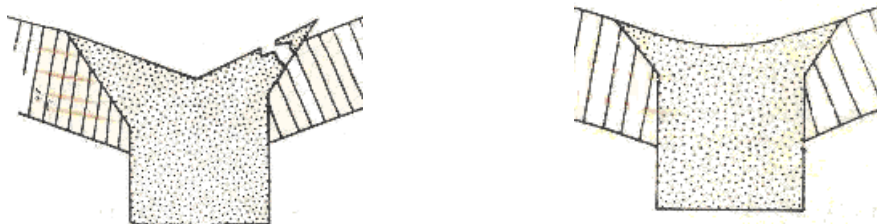
Obrázek 6.17 Preparace zářezů

6.3.5. Zajištění odolnosti výplně a zbylých tvrdých zubních tkání

Výplň a zbývající tvrdé zubní tkáně jsou při žvýkání značně namáhány. Proto při preparaci kavity vytváříme takové podmínky, které zajistí, aby tvrdé zubní tkáně a výplň odolávali žvýkacímu tlaku a nebyly jím poškozeny. Obrysová linie kavity nesmí probíhat středem namáhaných ploch, proto ji nevedeme např. středem hrbolků. Obrys kavity musí tvořit taková sklovina, která je podložena dentinem. Alespoň část stěn kavity a celé dno by mělo být tvořeno dentinem. Při zajišťování rezistence upravujeme preparaci výplně podle fyzikálně chemických vlastností. Obecně lze stanovit, že pro méně odolné materiály bude preparace vedena do větší hloubky než pro materiály lité.

Úprava sklovinných stěn a hran

Pro plastické výplně zešikmíme sklovinné okraje v rozsahu 4/5 šířky sklovinné vrstvy (obr 6.18). Pro lité výplně sneseme sklovinu v rozsahu 1/3 šířky sklovinné vrstvy v úhlu 45.



Obrázek 6.18 Úprava sklovinných okrajů pro plastickou výplň (vlevo) a pro litou výplň (vpravo)

7. TVORBA VÝPOČTOVÉHO MODELU

Kapitola je zaměřena na postup a vytvoření celkového výpočtového modelu tzn. vytvoření modelu geometrie, výběru materiálových charakteristik, modelu kontaktů, vytvoření konečnoprvkové sítě, vytvoření okrajových podmínek a zatížení.

7.1. Tvorba modelu geometrie

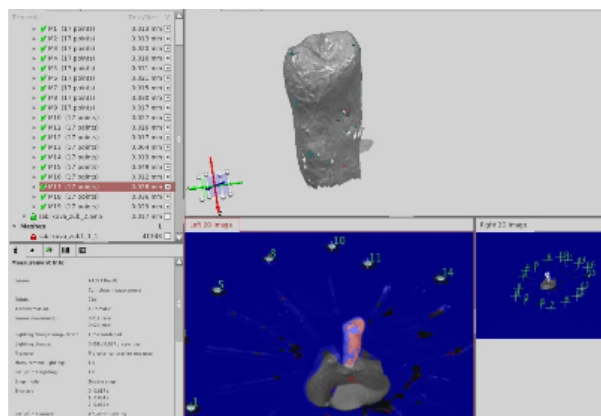
Kapitola se zabývá vytvořením základního modelu geometrie zubu a jeho zpracováním, jehož součástí je tvorba modelu geometrie jednotlivých variant. Konečnou fází tvorby modelu jsou modely, na kterých bude probíhat výpočet, a budou následně analyzovány.

7.1.1. Vytvoření základního modelu geometrie zubu

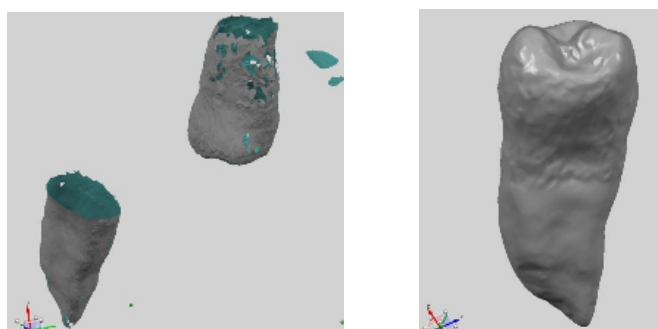
Prvotní data pro vytvoření modelu zubu jsem získala pomocí skenování na 3-D scanneru (Obrázek 7.1). Kalibrační odchylka při snímání byla 0,015px a bylo nafoceno 154 snímků. Byla tak nasnímaná hustá síť bodů, které byly určeny pomocí souřadnic vzhledem k počátku souřadného systému. Z těchto bodů postupně vznikaly přímo v programu ATOS povrchové plošky (Obrázek 7.2). Zub byl skenován na dvě části, z nichž jedna byla uchycena a druhá skenována. Obě části jsme po dokončení skenování spojily v jednolitý povrch (Obrázek 7.3). Následně byla geometrie vyčištěna v programu Magic 9.03 a uložena do souboru STL (Standard Template Library). Z takto vytvořeného celistvého povrchu (obálky) jsme vytvořily objem v programu Catia. Tento model jsem použila jako konečný (základní) objem zubu.



Obrázek 7.1 3-D scanner



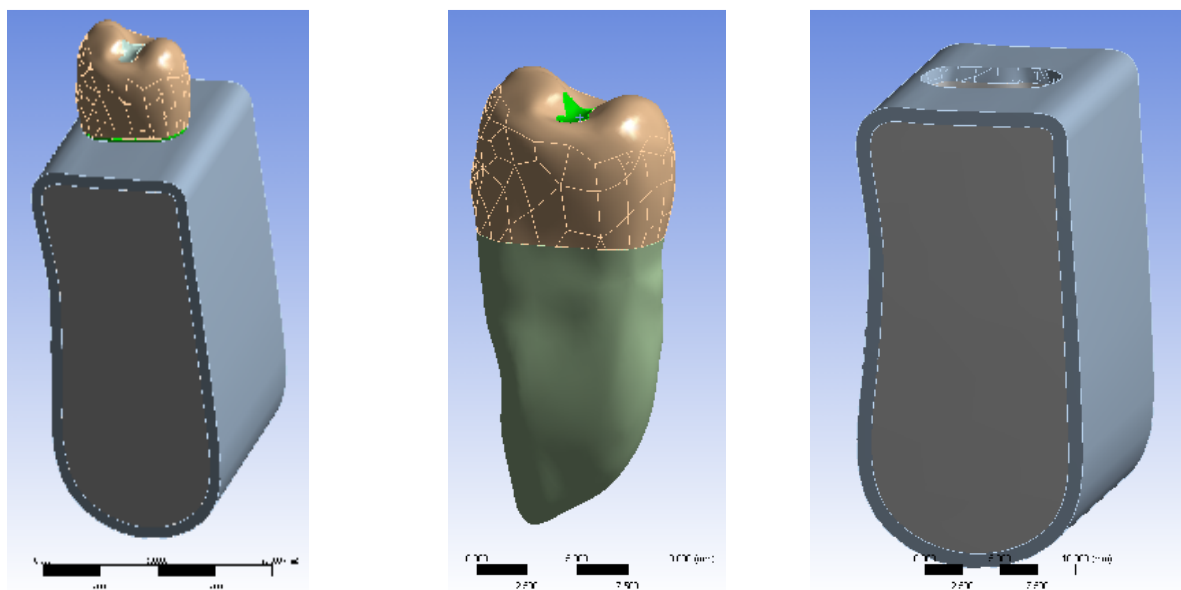
Obrázek 7.2 Skenování zubu



Obrázek 7.3 Části povrchu zubu, které byly spojeny v jeden povrch

7.1.2. Vytvoření struktury zubu a části čelisti

Řešená soustava byla modelována složená (obr 7.4) ze zubu (obr 7.4) a čelisti (obr 7.4). Obě podsoustavy bylo modelováno v programu SolidWorks 2005.



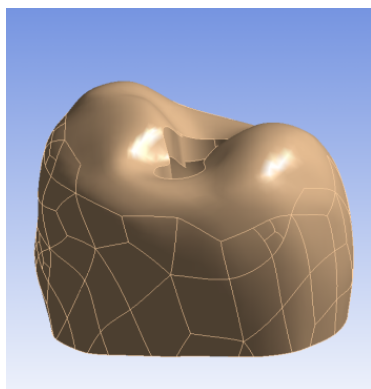
Kompletní soustava

Soustava zub

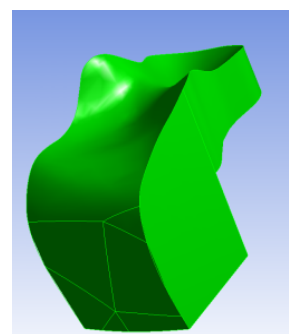
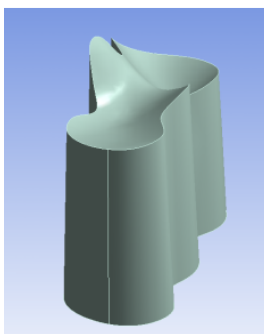
Soustava čelist

Obrázek 7.4

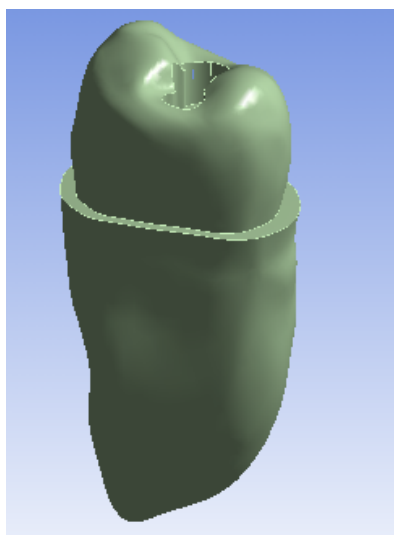
Podsoustava zubu je tvořena vrstvou zubní skloviny (obr 7. 7), zubovinou, dentinem (obr 7.9) a pro případ sanovaného zubu zubní výplně (obr 7.8). Struktura zuboviny byla vytvořena pomocí funkce měřítko (scale) na základním modelu zubu v programu ANSYS 11. Poté byl objem rozdělen v místě ukončení uložení zubu v čelisti. Objemy byly odečteny nástrojem kombinovat těla tak, aby v části vyčnívající z čelisti vznikla vrstvená struktura. Takto jsem získala model tvořený dvěma vrstvami. Tyto vrstvy představují svými vlastnostmi sklovinu a zubovinu. Tvorba další vrstvy, zubní dřeně, by byla náročná. Navíc je v práci řešena především analýza zubu a zajímá nás především ta část korunky, kde je provedena sanace. Pokud se nejedná o onemocnění nervu tak sanace do zubní dřeně nezasahuje. Proto jsem se rozhodla vrstvu zubní dřeně z řešení vypustit. Skica pro vytvoření kavity byla vytvořena splajnem ve dvou rovinách, z nichž jedna představovala počáteční rovinu kavity a druhá konečnou rovinu kavity. Jeho odsazením v rovině, kde kavita končí a následným spojením obou profilů nám vznikl model kavity s divergentními stěnami. Pro kavitu 2. třídy jsem místo divergentních stěn použila kotvení přes rybinu (ob 7.8). Kavity obou tříd byly modelovány ve třech velikostech s označením velká, střední a malá kavita (obr 7.10 obr 7.11).



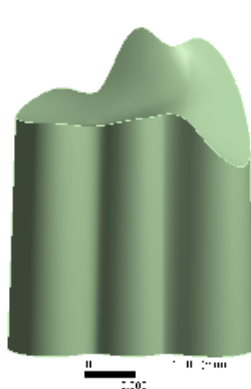
Obrázek 7.5 Zubní sklovina



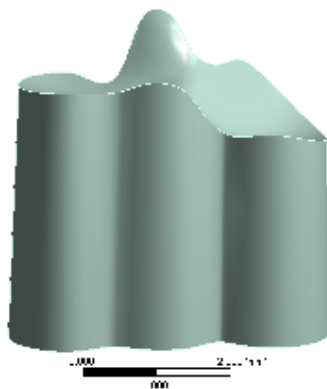
Obrázek 7.6 Zubní výplň pro kavitu 1. třídy (vlevo) a 2. třídy (vpravo)



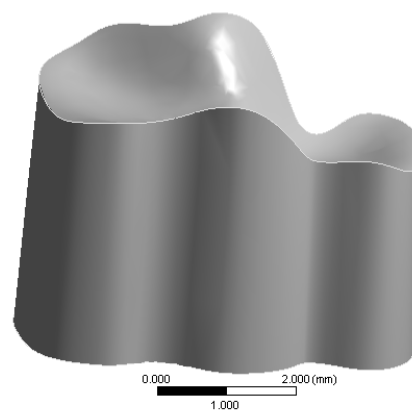
Obrázek 7.7 Dentin



Malá

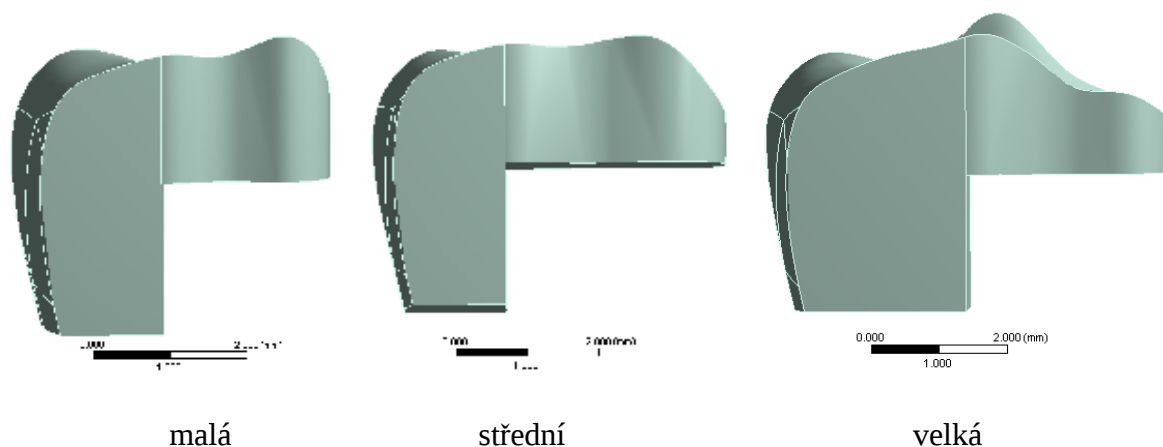


střední



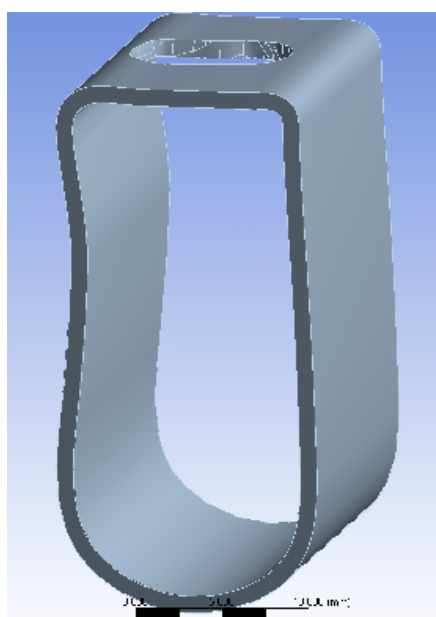
velká

Obrázek 7.8 Velikost kavit 1. třídy

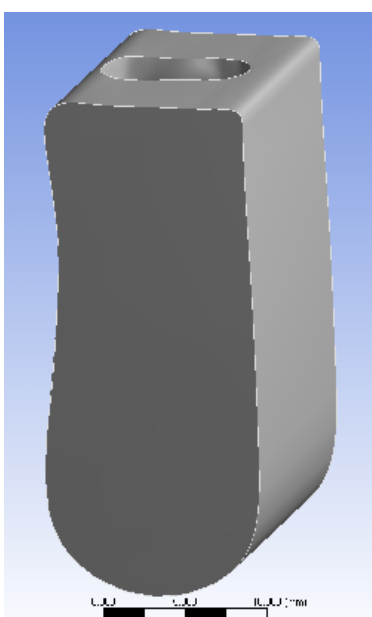


Obrázek 7.9 Velikost kavit 2 třídy

Podsoustava čelisti (obr 7.4) je tvořena vrstvou kompaktní (corticální) kosti po obvodu (obr. 7.12) a spongiózní kosti uvnitř (obr 7.13). Obě vrstvy byly vytvořeny pomocí funkce spojení profilů. Otisk zubu v čelisti jsem získala odečtením objemů. Tímto jsem získala čelist, do níž jsem zub usadila.



Obrázek 7.10 Corticální kost



Obrázek 7.11 Spongiózní kost

7.2. Modely materiálů

Obecně jsou všechny struktury v soustavě zubu a čelisti nehomogenní anizotropní a viskoelastický materiál. V této diplomové práci vzhledem k úrovni řešení problému byl používán homogenní, izotropní a lineárně elastický model materiálu. Každý materiál má pak svoje materiálové charakteristiky- modul pružnosti v tahu E (Youngův modul) a Poissonovo číslo μ . Zde se setkáváme s problémem, jako hodnotu materiálových charakteristik vybrat. Hodnoty materiálových charakteristik jsem získala vyhledáváním z pomoci internetového vyhledávače, jejich hodnoty jsou však rozdílné, nebo doposud ještě nebyly publikovány. Jednotlivé materiálové charakteristiky použitých pro výpočet jsem uvedla v tabulce 3.

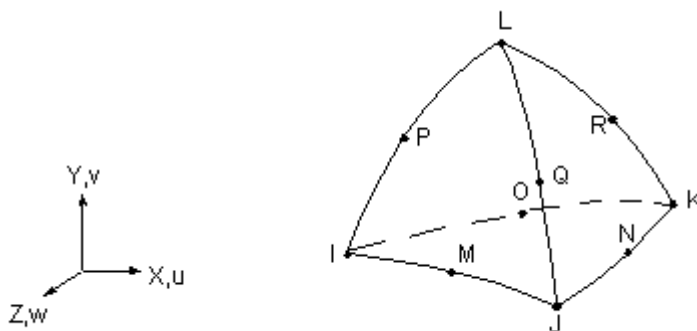
Struktura	Elastický modul pružnosti E [MPa]	Poissonovo číslo μ [-]
Kortikální kost	13700	0.3
Spongióza	1370	0.3
Zubní sklovina	84100	0.3
Zubovina (dentin)	18000	0.31
Safragam plus (amalgamová výplň)	15870	0.3
Arabesk (kompozitní výplň)	4340	0.3
Evicrol (kompozitní výplň)	6260	0.3
Opticor Flow (kompozitní mikrohybridní světlem tuhnoucí výplň)	5000	0.3

Tabulka 3 Použité hodnoty materiálových charakteristik zubu a materiálů výplně

Materiálové charakteristiky corticální a spongiózní kosti čelisti jsem převzala z literatury [8], stejně tak i materiálové charakteristiky dentinu jsou převzaty z literatury [8]. Materiálové charakteristiky zubní skloviny jsem použila z literatury [9]. Hodnoty materiálových charakteristik materiálů Safragam plus, Arabesk, a Evicrol jsem použila z práce [6] a hodnotu materiálových charakteristik výplně Opticor Flow jsem převzala z literatury [11].

7.3. Tvorba konečnoprvkové sítě

Tvorbu konečnoprvkové sítě jsem provedla v programu ANSYS 11. Jako základní prvek jsem vzhledem ke složitosti geometrie vybrala prvek SOLID 187 (Obrázek 7.12). Tento typ prvků, který slouží pro 3-D geometrie, tedy vytvoření sítě na prostorovém tělese. Prvek SOLID 187 je vhodný pro generování automatické sítě (freemesh). Tento typ prvku je použit jak pro modelované struktury zubu tj. zubní sklovinu a zubovinu tak i pro struktury čelisti, tedy kortikální a spongiózní kost.

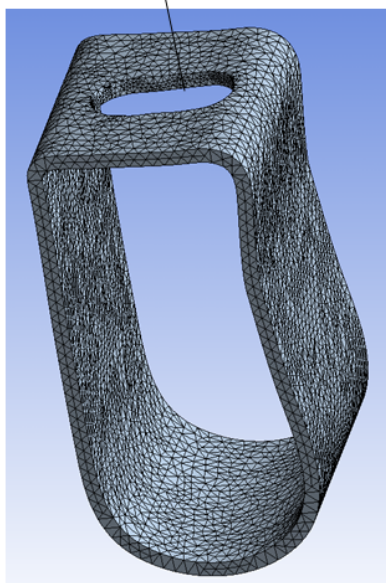


Obrázek 7.12 Geometrie prvku SOLID 187

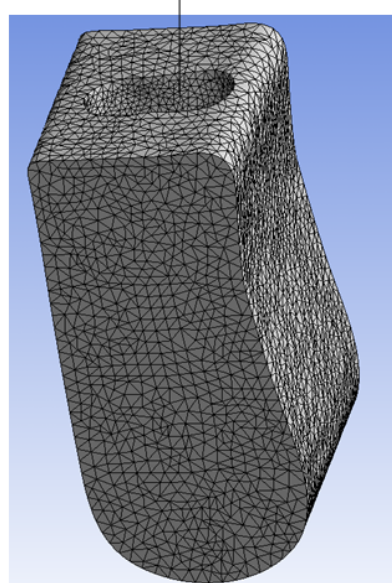
U každého tělesa byla použita jiná velikost prvku, což je uvedeno níže. Na kontaktních plochách jsem navíc vytvořila konečnoprvkovou síť a menší velikostí prvků než je velikost prvků na tělese. Corticální kost má velikost prvku na tělese 0,8 mm a na ploše, kde dochází ke kontaktu s dentinem je velikost prvku 0,3 mm (obr 7.15). Spongiózní kost je tvořena prvky velikosti 1 mm na tělese, pouze plocha, kde je spongiózní kost v kontaktu s dentinem je tvořena prvky velikosti 0,4 mm (obr 7.16). Zubní výplň má jednotnou velikost prvků v celém objemu 0,25 mm a to pro obě třídy kavit (obr 7.19). Dentin má velikost prvků v celém tělese 0,6 mm. Plochy, kde je dentin v kontaktu se zubní sklovinou mají konečnoprvkovou síť tvořenou prvky 0,3 mm. Kontaktní plochy mezi dentinem a spongiózní kostí a dentinem a corticální kostí mají velikost prvků 0,4 mm (obr 7.17). Sklovina má objemové

prvky velikosti 0,4 mm a plochy, které jsou v kontaktu s dentinem anebo výplní mají prvky velikosti 0,3 mm (obr 7.18).

velikost prvků na ploše 0,3 mm



velikost prvků na ploše 0,4 mm

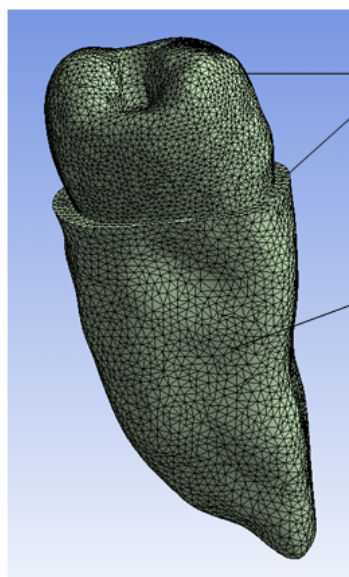


velikost prvků na tělese 0,8 mm

velikost prvků na tělese 1 mm

Obrázek 7.13 Velikosti prvků na corticální kosti

Obrázek 7.14 Velikosti prvků na spongiózní kosti

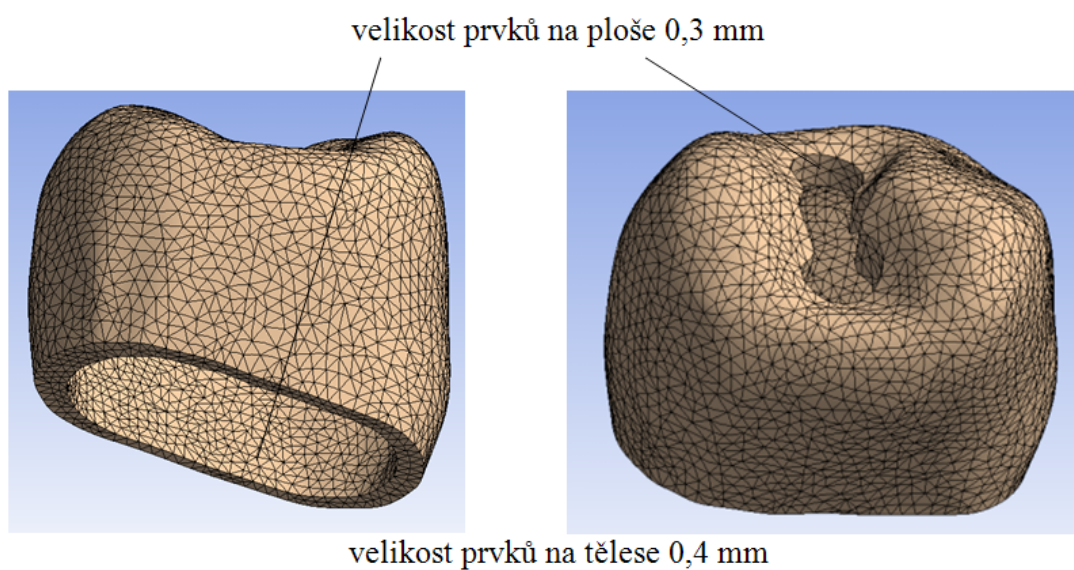


velikost prvků na plochách 0,3 mm

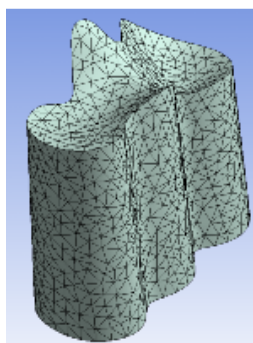
velikost prvků na ploše 0,4 mm

velikost prvků na tělese 0,6 mm

Obrázek 7.15 Konečnoprvková síť na dentinu



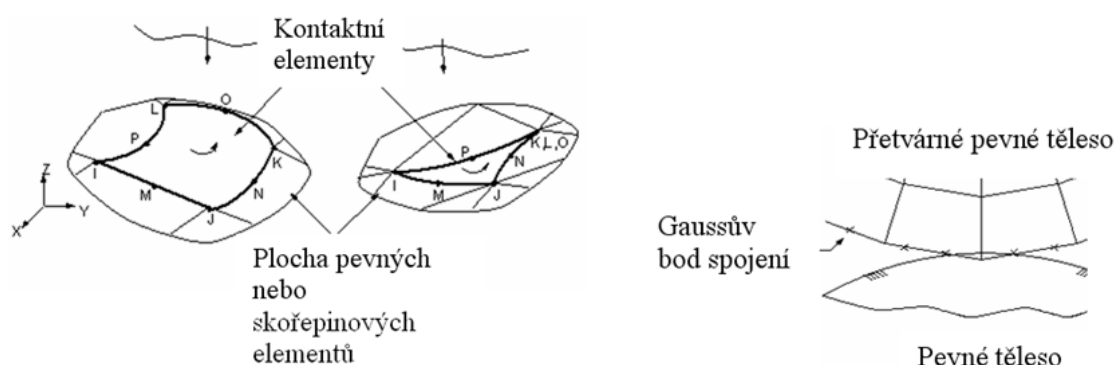
Obrázek 7.16 Konečnoprvková síť na zubní sklovině



Obrázek 7.17 Konečnoprvková síť na zubní výplni

7.4. Vytvoření kontaktu

Zub a čelist spolu tvoří kontaktní dvojici. Prostřednictvím kontaktu tak má dojít k přenosu sil mezi čelistí a zubem. Jelikož jsou zub i čelist tvořeny více vrstvami, musí být vytvořen kontakt i mezi těmito vrstvami. Kontakty byly vytvořeny pomocí funkce Contact. Tím vzniklo několik kontaktních párů mezi jednotlivými tělesy, viz tabulka 4. Používala jsem především typ spojení Bonded. Tento typ spojení jsem používala i na rozhraní těles výplň/dentin a výplň/sklovina. Bude tak simulováno pevné spojení (slepení) obou částí kontaktu a nedojde tím k odtažení ploch kontaktu zub/čelist nebo výplň/zub. Navíc tento typ spojení zajišťuje, že se sklovina a výplň se budou deformovat a posouvat společně, což představuje ideální případ sanace. Pro srovnání jsem provedla výpočet pro jednu kavitu, kde je výplň se zubem v kontaktu typu Standart (Frictionless). U kontaktu Standard se každá část deformuje zvlášť, může dojít ke klouzání a propadení výplně. Používala jsem kontaktní prvky TARGE 170 a CONTA 174.



Obrázek 7.18 Kontaktní prvky

CONTA 174

Prvek CONTA 174 je vhodný pro 3-D geometrie a může být užitý mezi pevnými fázemi nebo skořepinami. Kontaktní identifikační body jsou body integrace a jsou umístěné buď v uzlových bodech, nebo Gaussových bodech. Kontakt je omezený proti přesahu (penetraci) do cílového povrchu v jeho bodech integrace. Cílový povrch může v zásadě proniknout místem do plochy dotyku, viz obrázek 7.20.

TARGE 170

TARGE 170 se používá pro různé 3-D geometrie. Kontakty sami potáhnou pevné elementy, prvky řádku nebo skořepinový prvek hranice přetvárného těla, které je potenciaálně v kontaktu s přísným cílovým povrchem definovaným TARGE 170. Reakční síly na celý cílový povrch jsou získané sčítanými uzlovými silami přidružených kontaktů. Reakční síly jsou nahromaděné na pilotní uzel. Jestli pilotní uzel nebyl explicitně definovaný uživatelem, bude jeden z cílových uzlů (obecně jeden s nejmenším číslem) užívaný pro hromadění reakční síly.

Kontaktní dvojice		Typ kontaktu
Kontaktní prvek		
Zubní sklovina	Výplň	Bonded
TARGE 170	CONTA174	
Zubní sklovina	Dentin	Bonded
TARGE 170	CONTA174	
Dentin	Výplň	Bonded
TARGE 170	CONTA174	
Dentin	Spongiózní kost	Bonded
TARGE 170	CONTA174	
Corticální kost	Spongiózní kost	Bonded
TARGE 170	CONTA174	
Zubní sklovina	Výplň	Standart
TARGE 170	CONTA174	
Zubní sklovina	Dentin	Standart
TARGE 170	CONTA174	

Tabulka 4 Kontaktní dvojice a prvky

7.5. Model okrajových podmínek a zatížení zubu

7.5.1. Model vazeb

Realizaci okrajových podmínek byla provedena v programu ANSYS. Cílem je především uchycení modelu v prostoru. To zajistíme předepsáním vhodných okrajových podmínek. Jedna strana čelisti je teda omezena všemi posuvy a druhá je omezena pouze ve dvou směrech aby mohlo dojít k případné dilataci.

7.5.2. Model zatížení

Premolár jako třenový zub slouží k rozmělnění tuhé potravy. Jako vhodná simulace pro realizaci zatížení se jeví zatížení tlakem. Jelikož je korunka zubu geometricky složitá a obsahuje tvarové prvky např. hrbolky a zářezy je nevhodnější zatěžovat tlakem ve směru normály k ploše. Kamegai ve své práci viz použitá literatura [10] uvádí různé hodnoty síly mezi zuby. Pro ženy se pohybovali v rozmezí 203 a 448 N. Z tohoto rozmezí byla vybrána hodnota 300 N. Tuto velikost síly jsem použila pro výpočet tlaku, kterým jsem zub zatěžovala.

$$p = \frac{F}{S} = \frac{300}{11 \cdot 5} = 5,5 \text{ MPa}$$

Static Structural
Time: 1, s
12.5.2008 2:34

A Pressure: 5,5 MPa
B Fixed Support 2
C Displacement

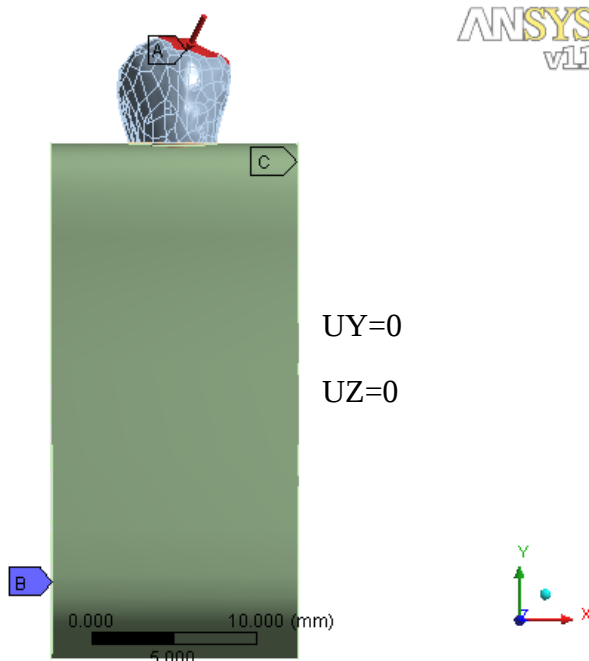
UX=0

UY=0

UZ=0

UY=0

UZ=0



Obrázek 7.19 Použité okrajové podmínky a zatížení

7.6. Řešené varianty:

1) zdravý zub

2) sanovaný zub (všechny varianty provedeny pro 4 výplňové materiály – safragam, arabesk, evicrol, optisor flow), kontakt Bonded:

- sanace provedená pro kavitu I. třídy:

- velká kavita
- střední kavita
- malá kavita

- sanace provedená pro kavitu II. třídy:

- velká kavita
- střední kavita
- malá kavita

3) sanovaný zub, výplňový materiály – arabesk, na rozhraní výplň zub kontakt Standard, koeficient tření $f=0,3$.

7.7. Volba hardwarového vybavení

Výpočet byl realizován na počítači s těmito parametry:

AMD Athlon(tm) 64 Processor 3500+

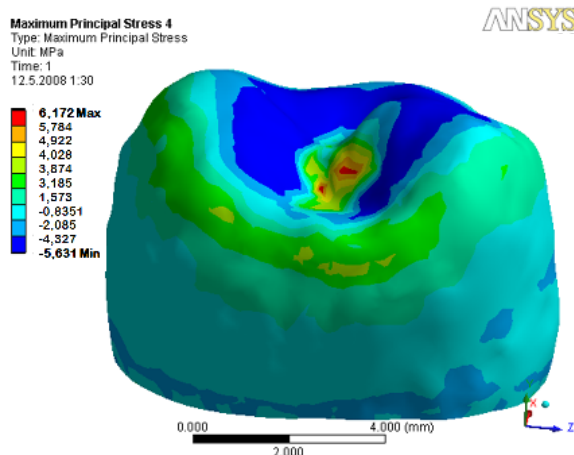
2.21GHz, 1,5GB RAM

8. PREZENTACE A ANALÝZA VÝSLEDKŮ

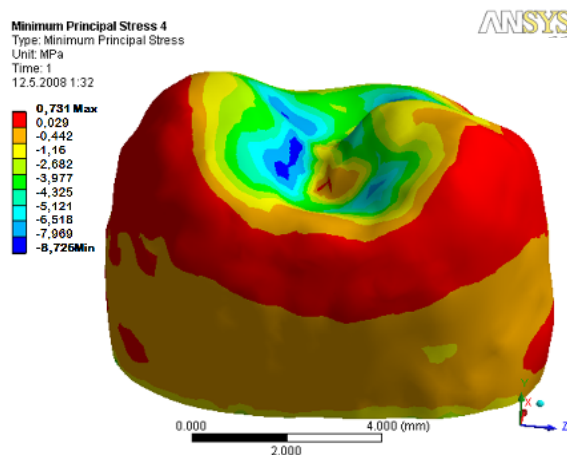
V této kapitole je analýza výsledků pro 25 variant řešení. Z těchto variant je 24 provedeno pro typ kontaktu Bonded a jedna pro typ kontaktu mezi výplní a zubem Standard.

Z hlediska možného provedení deformačně napěťové analýzy jsou vykresleny průběhy hlavních napětí σ_1 a σ_3 . Hodnoty napětí jsou na obrázcích uvedeny v MPa.

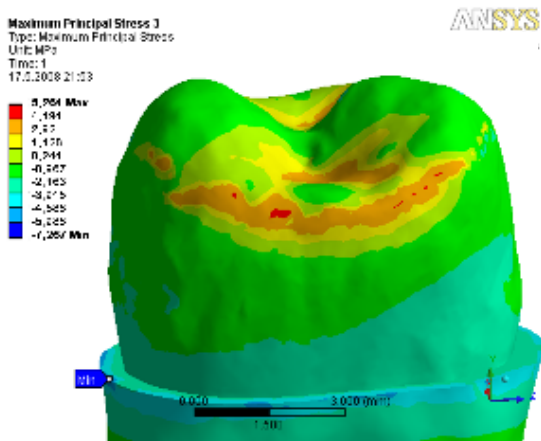
8.1. Prezence výsledků zdravého zubu



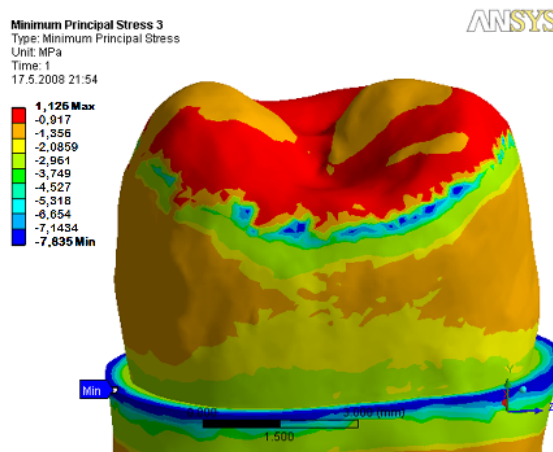
Obrázek 8.1 Napětí σ_1 na zubní sklovině



Obrázek 8.2 Napětí σ_3 na zubní sklovině



Obrázek 8.3 Napětí σ_1 na dentinu



Obrázek 8.4 Napětí σ_3 na dentinu

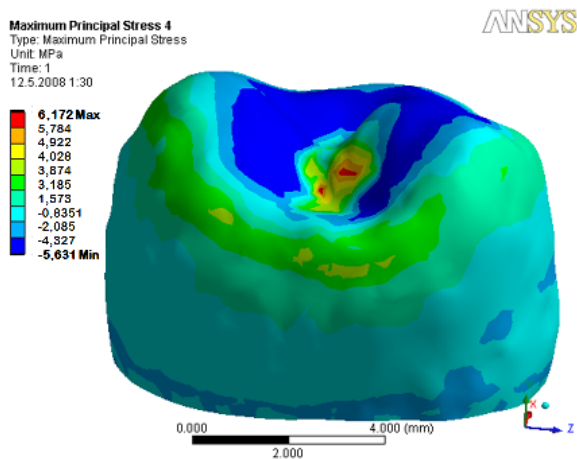
Zvýšené napětí se objevuje po stranách hrbolků směrem ke středu zubu. Naznačuje to, že zářezy působí jako koncentrátoři napětí. V zářezech je dominantní především tahové napětí σ_1 , kde je maximální hodnota napětí na stranách hrbolků v těsné blízkosti zářezu 6 MPa. a zvýšenou hodnotou po obvodu vrchní části korunky. V Rozložení napětí σ_3 se naopak pro-

jevuje především tlakové napětí, jehož maximální hodnota je po stranách hrbolků směrem k zářezům a to 8,7 MPa. Na dentinu se objevuje vysoké tlakové napětí i po obvodu vrchní části korunky.

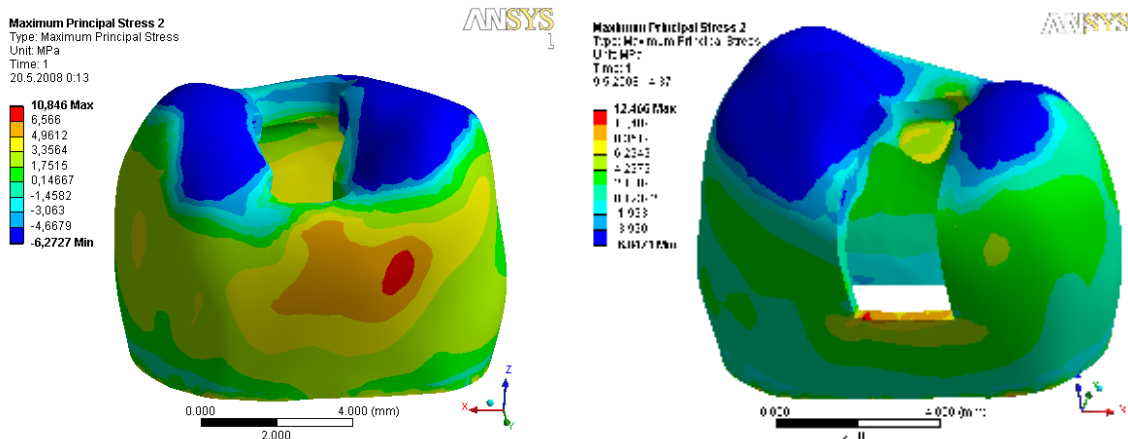
8.2. Porovnání zdravého zubu a zubu sanovaného - kavita I. a II. třídy (velká)

Kavita I. třídy je umístěna vlevo a kavita II. třídy vpravo

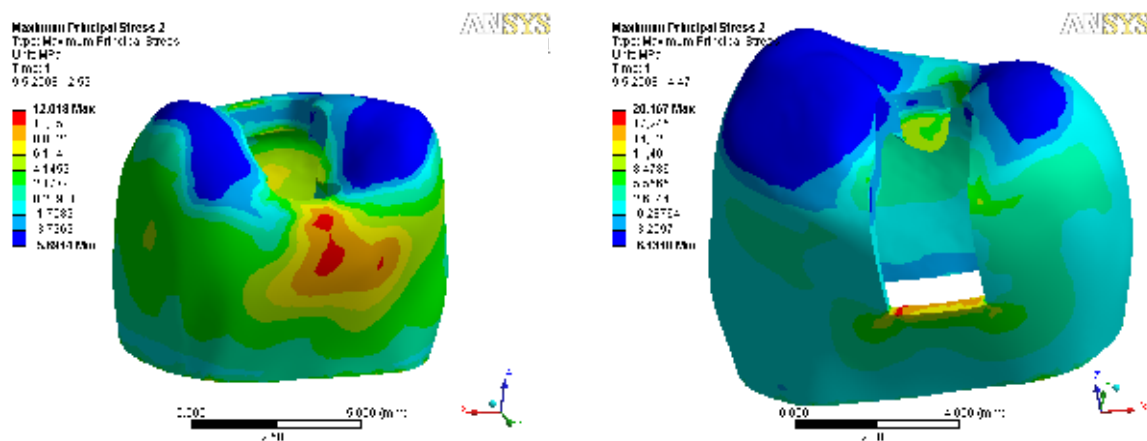
8.2.1. Průběhy napětí σ_1 na zubní sklovině



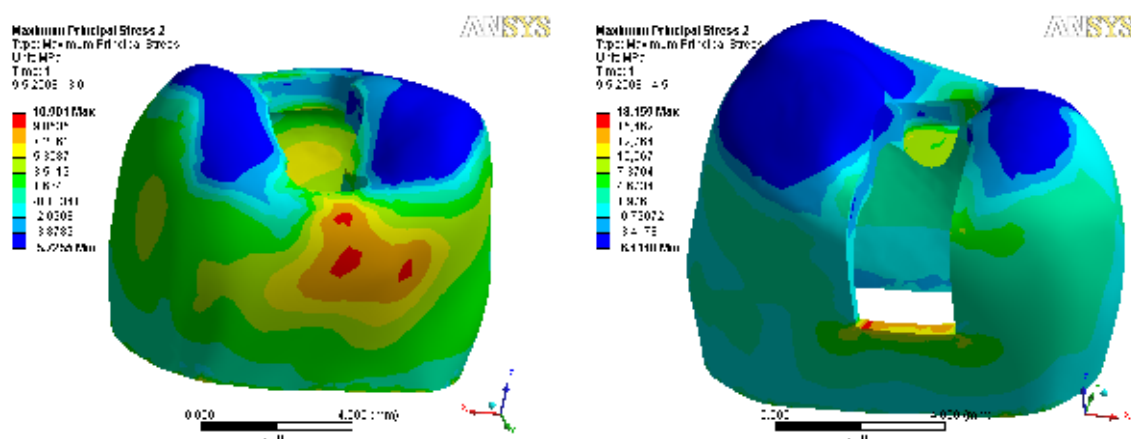
Obrázek 8.5 Zdravý zub



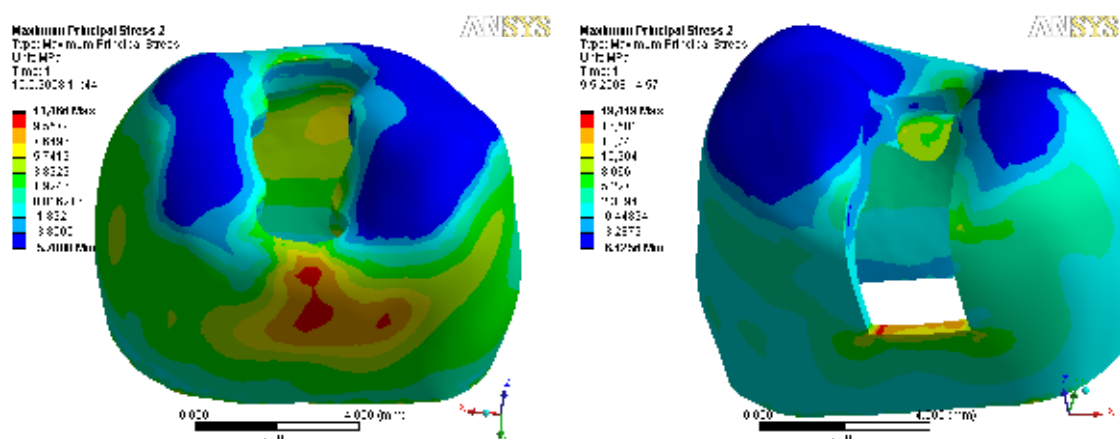
Obrázek 8.6 Safragam



Obrázek 8.7 Arabesk



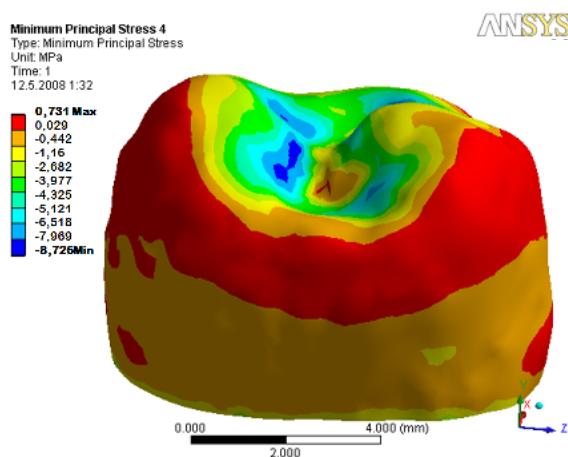
Obrázek 8.8 Evicrol



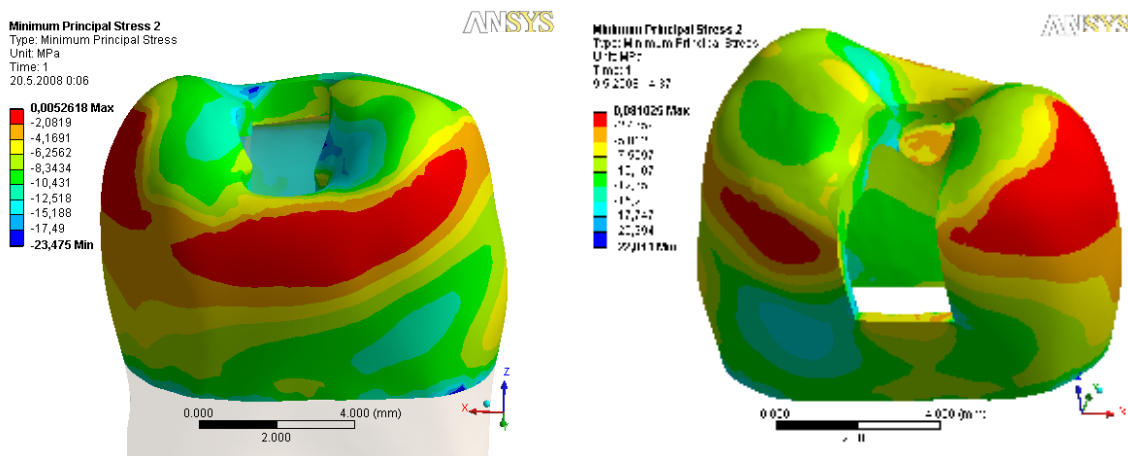
Obrázek 8.9 Opticor flow

Napětí σ_1 je u kavit třídy 1 a 2 rozloženo podobně jako u zdravého zubu. Na vrcholu zubu se objevuje oblast tlakových napětí. U kavit třídy 1 je oblast tahových napětí na obvodu zubu s maximální hodnotou na boční ploše zubu. U kavit třídy 2 se po obvodu vyskytují oblasti tahových a tlakových napětí. Tlaková napětí v přední a zadní části zubu a tahová v boční části zubu. Maximální tahové napětí se objevuje na ploše, kde se stýká spodní část zubní výplně a sklovina. Největší tahové napětí je v případě materiálu výplně Arabesk, kavity třídy 2 a to 20MPa. Největší tlakové napětí je pro materiál výplně Safragam, kavitu třídy 1 a to 6,3 MPa.

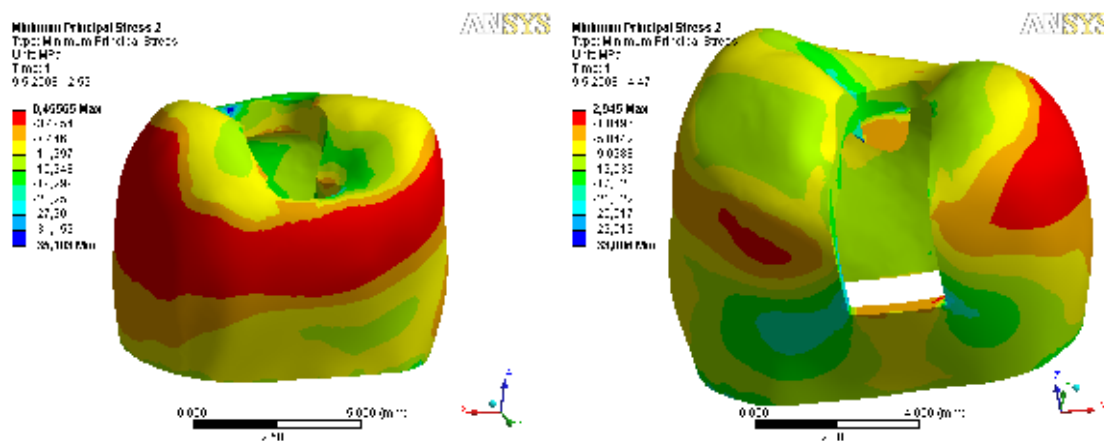
8.2.2. Průběh napětí σ_3 na zubní sklovině



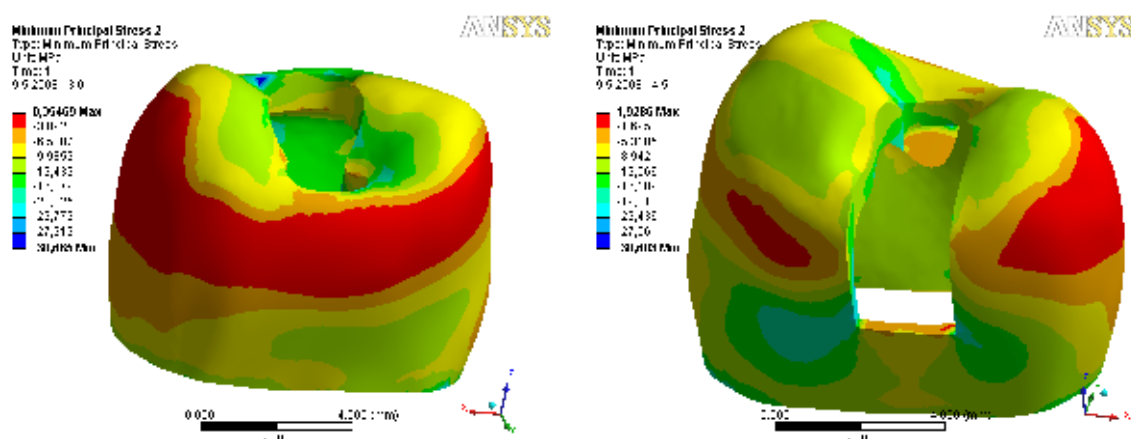
Obrázek 8.10 Zdravý zub



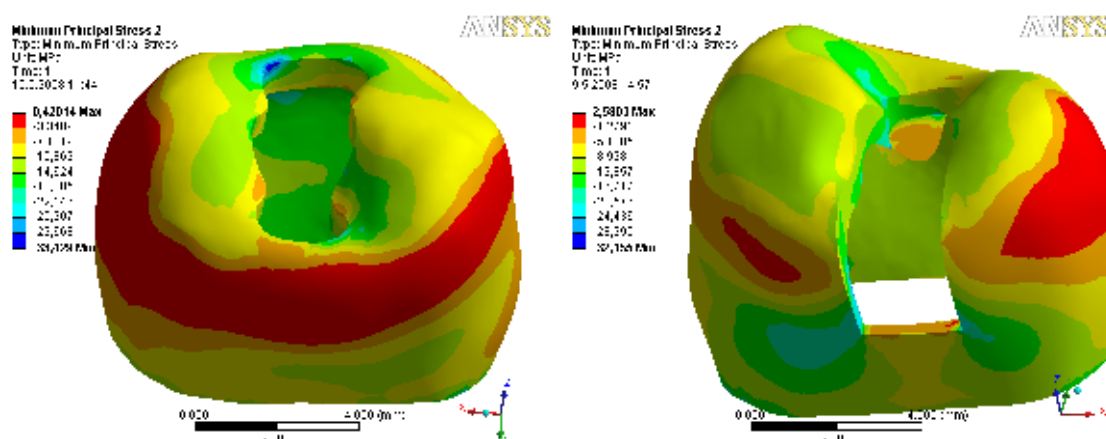
Obrázek 8.11 Safragam



Obrázek 8.12 Arabesk



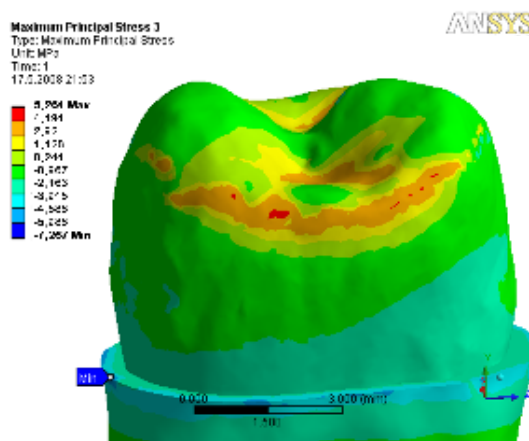
Obrázek 8.13 Evicrol



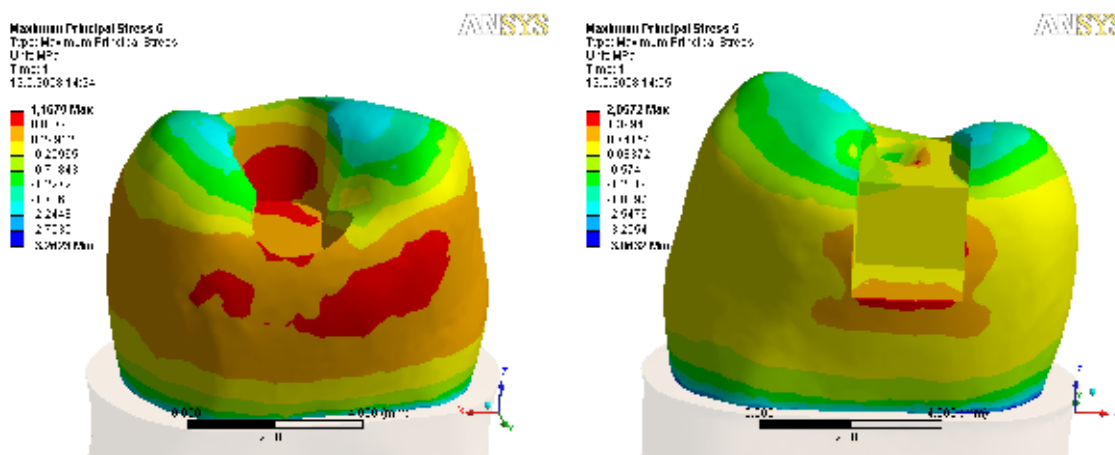
Obrázek 8.14 Opticor Flow

U kavit třídy 1 a 2 je dominantní především tlakové napětí σ_3 . Tahové napětí se objevuje po obvodu zubu v jeho vrchní třetině. Tlakové napětí se u kavit třídy 1 objevuje taktéž po obvodu zubu v jeho spodní části a na vrcholu korunky. Vysoké tlakové napětí se objevuje na hraně kavity v jeho boční části. U kavit třídy 2 není tahové napětí po celém obvodu, ale především v přední části zubu. Tlakové napětí má svoje maximum na hraně kavity, ve stejném místě jako u kavit třídy 1. Maximální hodnota tlakového napětí je pro případ materiálu výplně Arabesk, kavitu třídy 1 a to 35MPa.

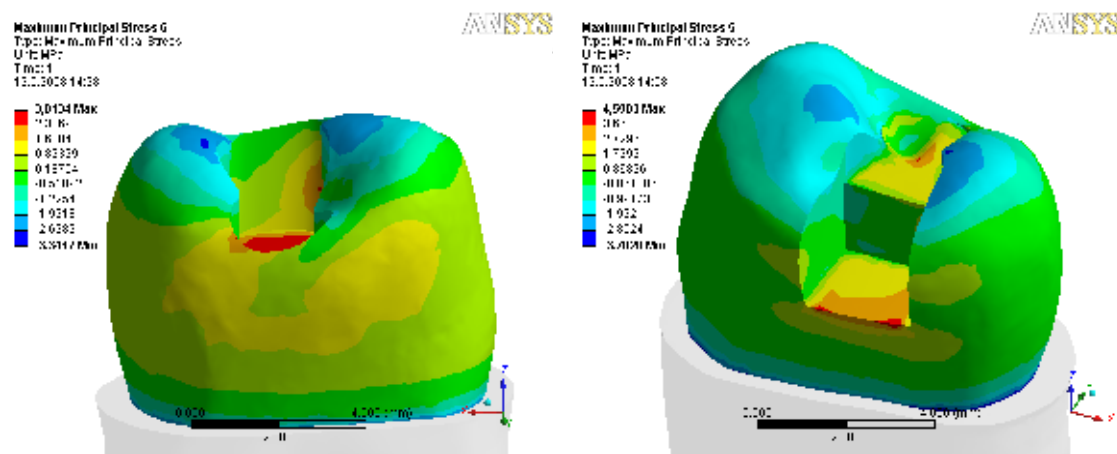
8.2.3. Průběh napětí σ_1 na dentinu



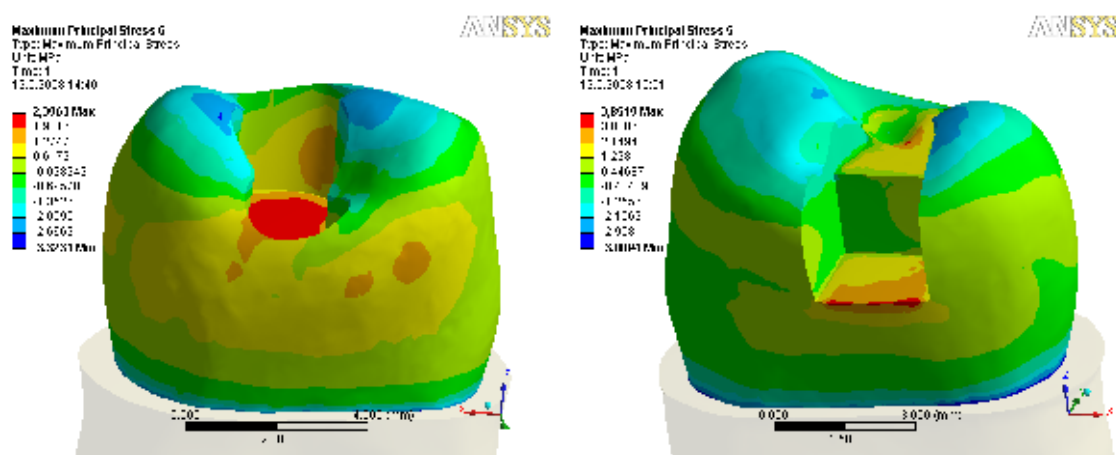
Obrázek 8.15 Zdravý zub



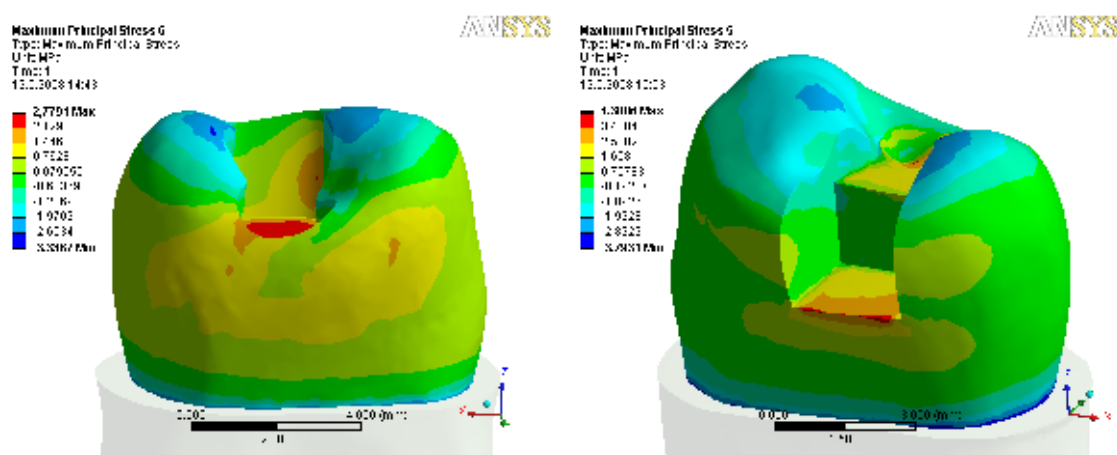
Obrázek 8.16 Safragam



Obrázek 8.17 Arabesk



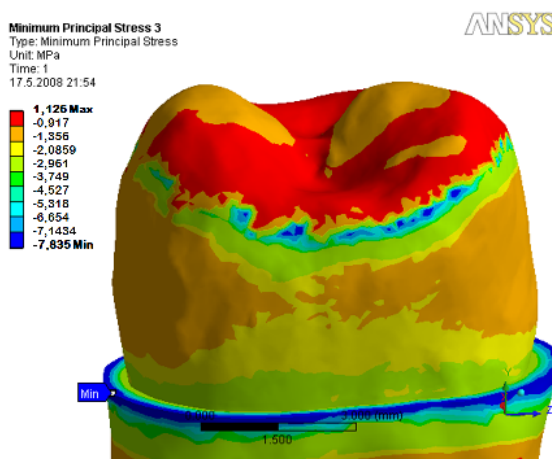
Obrázek 8.18 Evicrol



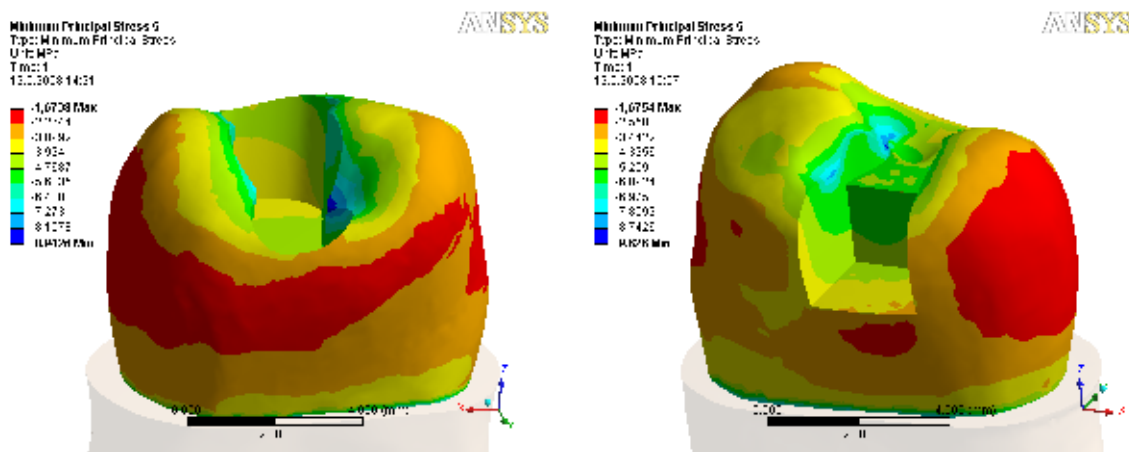
Obrázek 8.19 Opticor flow

Na dentinu jsou tahová a tlaková napětí σ_1 podobných hodnot. U kavit třídy 1 se objevuje tahové napětí na dně kavity a ve spodní části i po stěnách kavity, maximální je na dně kavity. Tlakové napětí se vyskytuje na vrchní části dentinu s maximální hodnotou napětí na vrších hrbolků. U kavit třídy 2 se tahové napětí objevuje stejně jako u třídy 1 na dně a ve spodní části po stěnách kavity. Tlakové napětí se opět vyskytuje na vrchní části korunky s maximální hodnotou na hrbolcích. Maximální hodnota tahového napětí je pro případ materiálu výplně Arabesk, kavitu třídy 2a to 4,5 MPa.

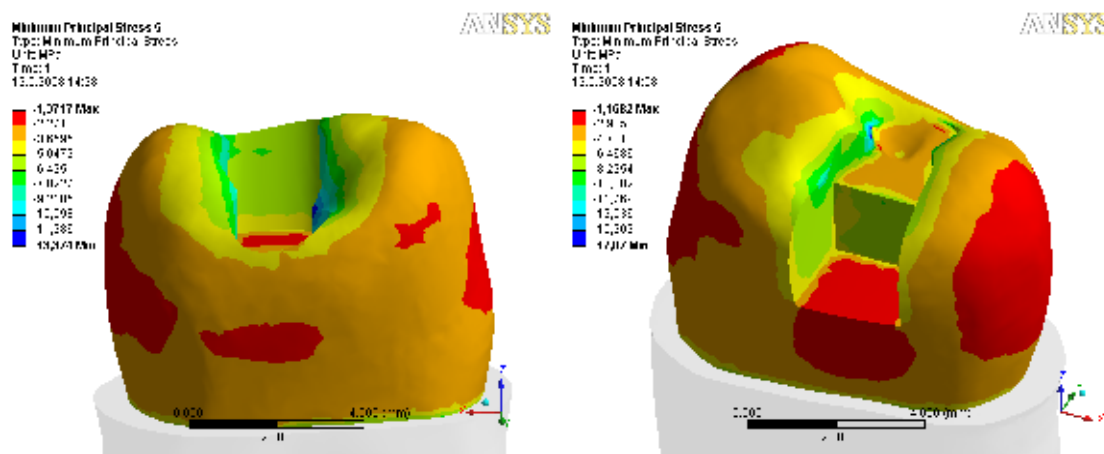
8.2.4. Průběh napětí σ_3 na dentinu



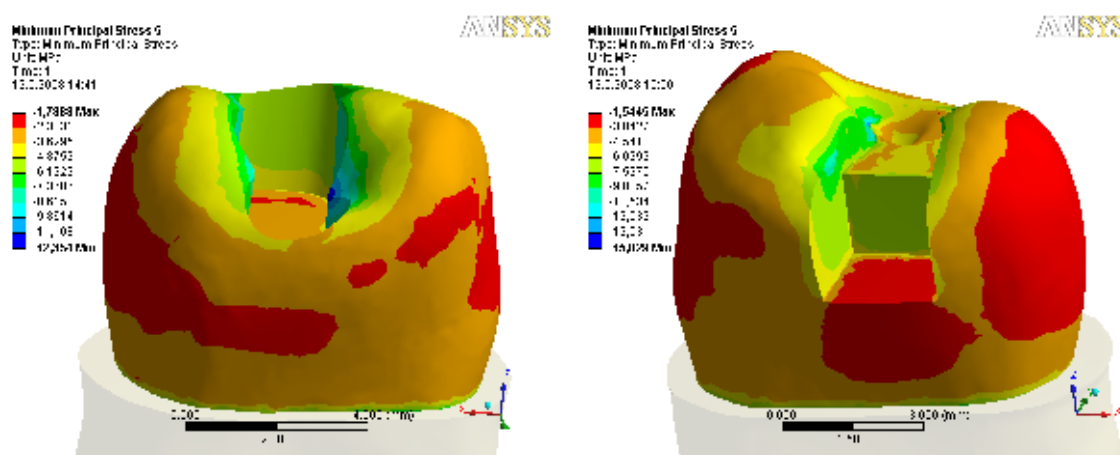
Obrázek 8.20 Zdravý zub



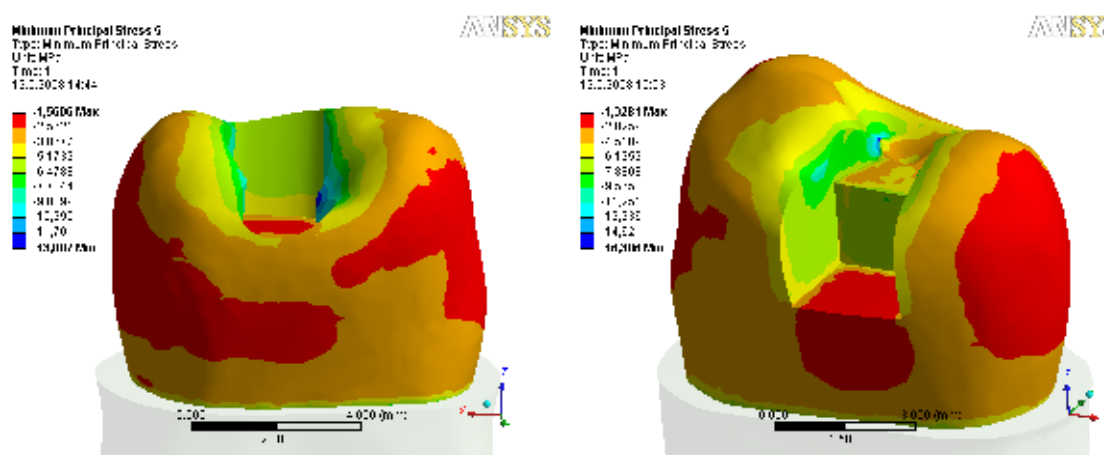
Obrázek 8.21 Safragam



Obrázek 8.22 Arabesk



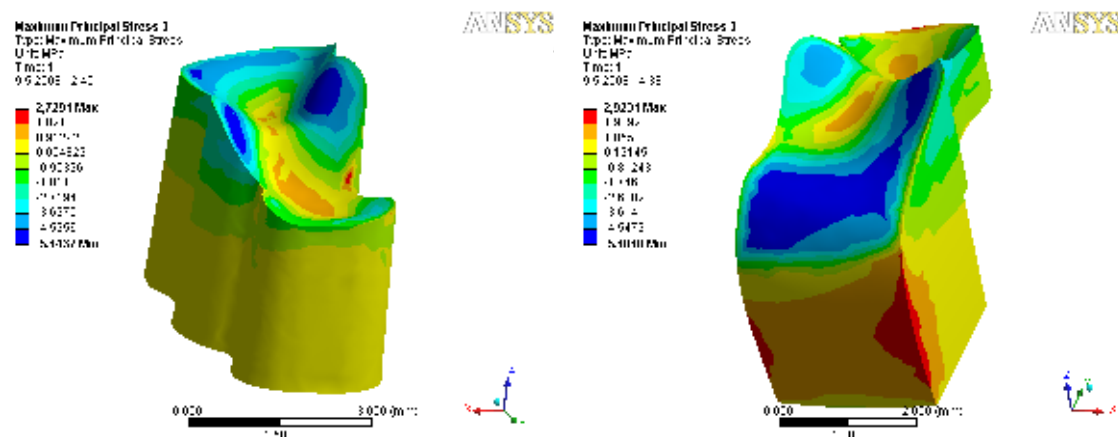
Obrázek 8.23 Evicrol



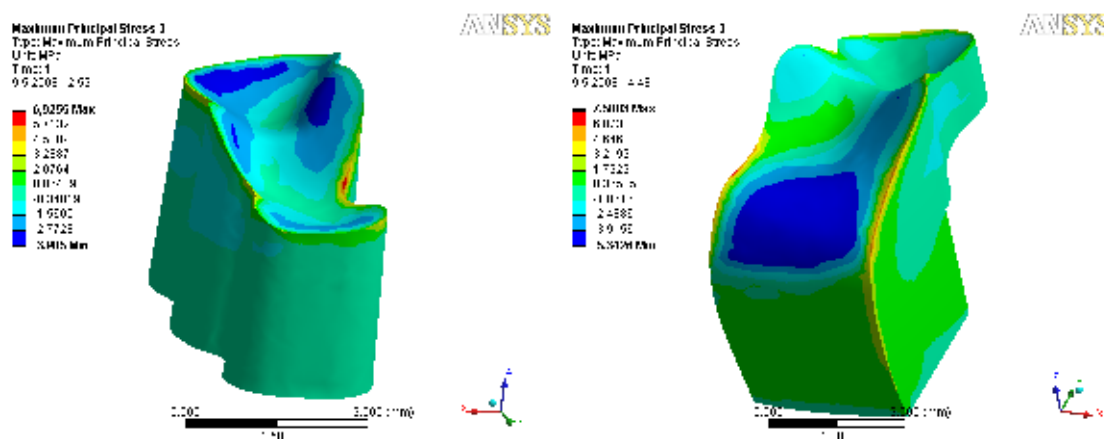
Obrázek 8.24 Opticor flow

U napětí σ_3 působí pouze tlakové napětí. U kavit třídy 1 je maximum tlakového napětí na hraně kavity v místě přechodu zaoblení obrysu kavity. U kavit třídy 2 je maximální hodnota tlakového napětí v zadní části kavity, kde je výplň kotvena pomocí rybiny. Maximální hodnota tlakového napětí je pro materiál výplně Arabesk, kavitu třídy 2 a to 17 MPa.

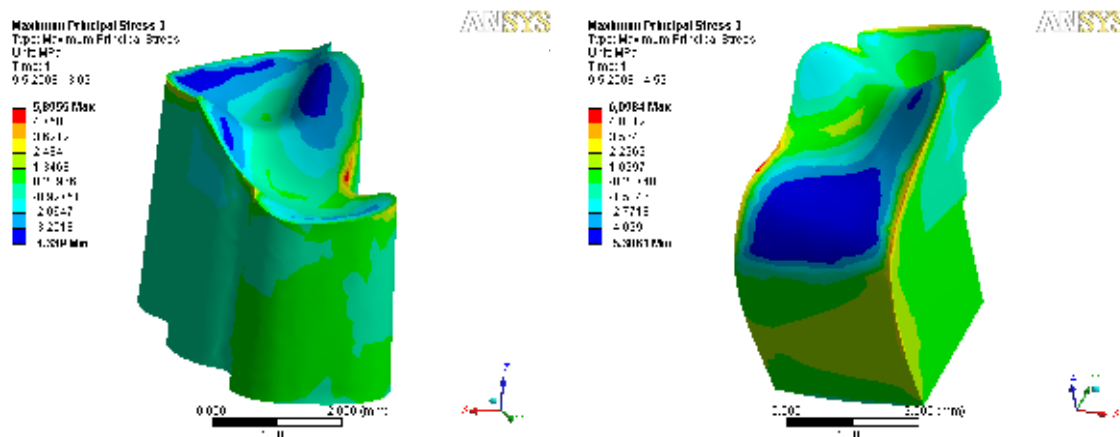
8.2.5. Průběh napětí σ_1 na zubní výplni



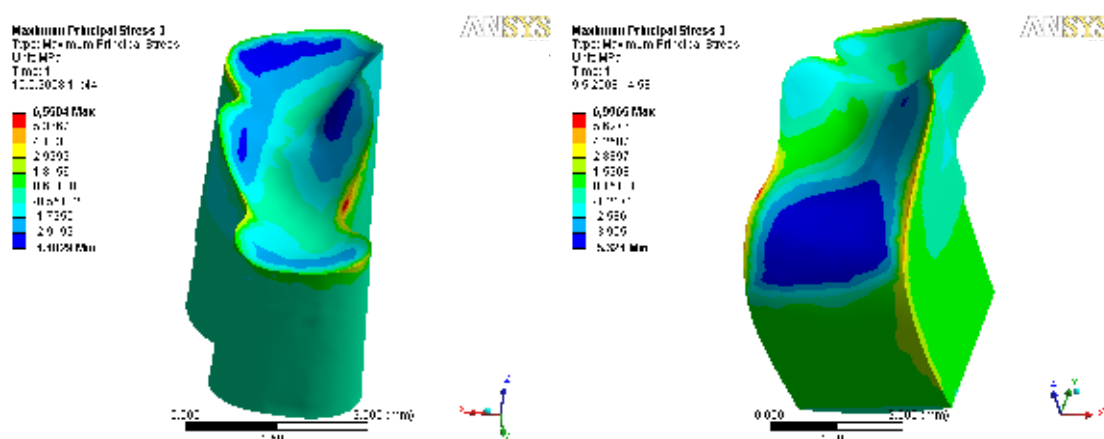
Obrázek 8.25 Safragam



Obrázek 8.26 Arabesk

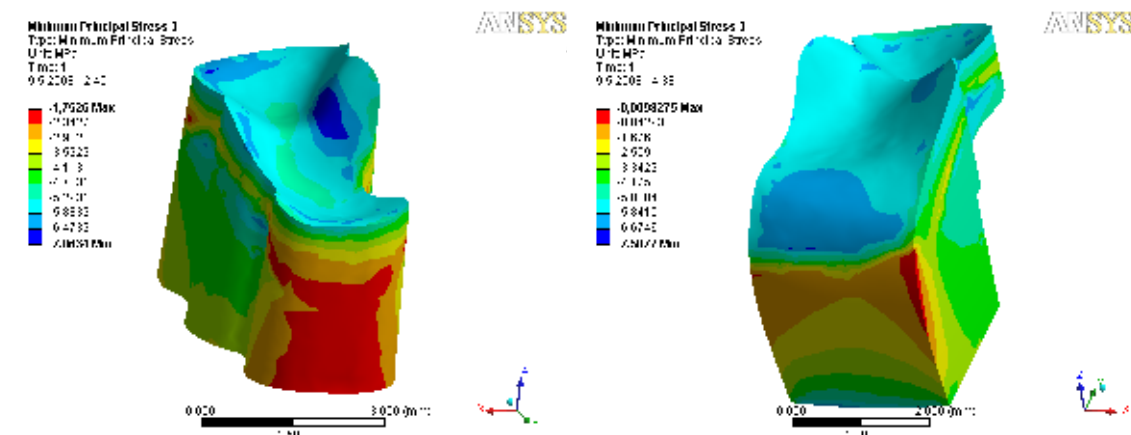


Obrázek 8.27 Evicrol

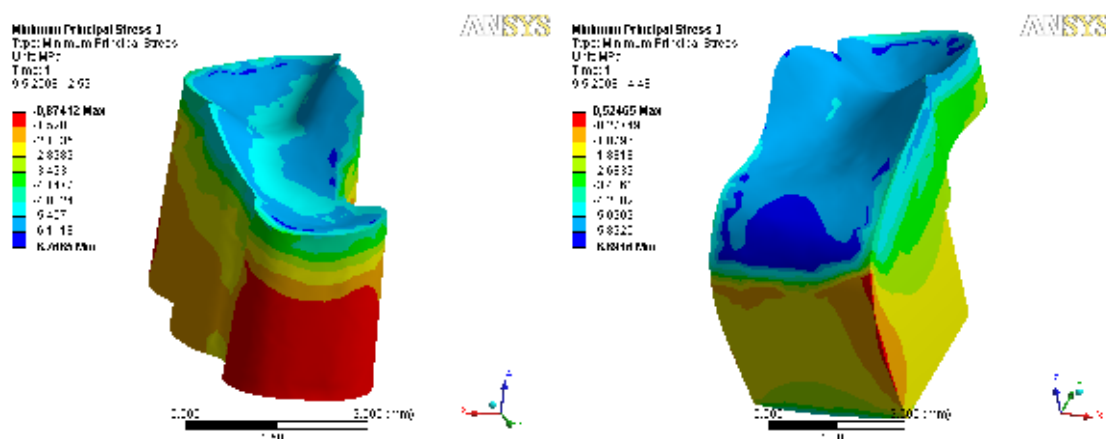


Obrázek 8.28 Opticor flow

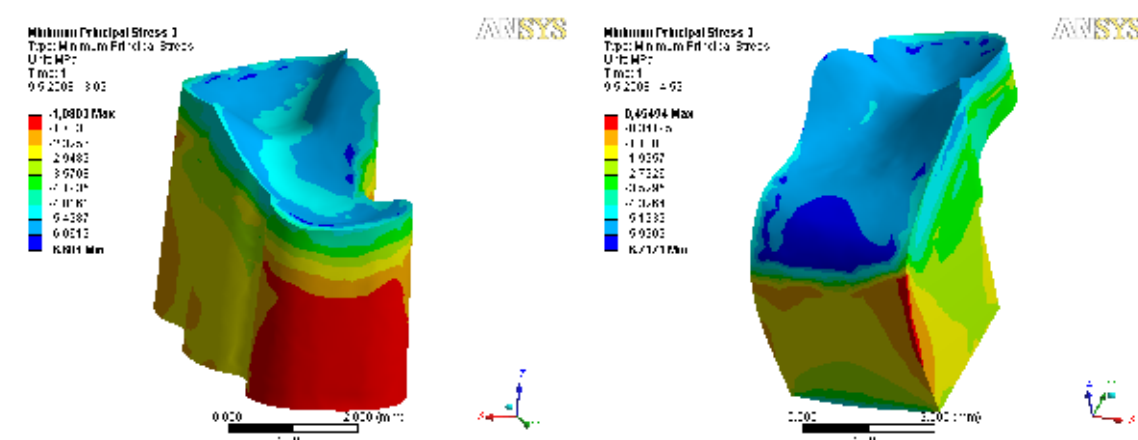
U napětí σ_1 se maximální hodnoty tahových a tlakových napětí mění podle materiálu výplně. Rozptyl hodnot vykazuje, že materiál výplně má vliv na maxima a minima napětí. Rozložení napětí σ_1 je u všech materiálů stejné. U kavit třídy 1 je maximální tahové napětí především po obvodu vrchní plochy výplně. Maximální tlakové napětí je umístěno na boční části hrbolků. U kavit třídy 2 je opět tahové napětí po obvodu kavity na vrchní ploše výplně. Tlakové napětí u kavit třídy 2 také vysokou hodnotou na bočních plochách hrbolků, maximální hodnota je v místě výplně, která nemá kotvící funkci. Maximální hodnota tahového napětí je pro Arabesk 7,5 MPa, pro tento materiál je maximální i tlakové napětí a hodnotě 5,3 MPa.

8.2.6. Průběh napětí σ_3 na zubní výplni

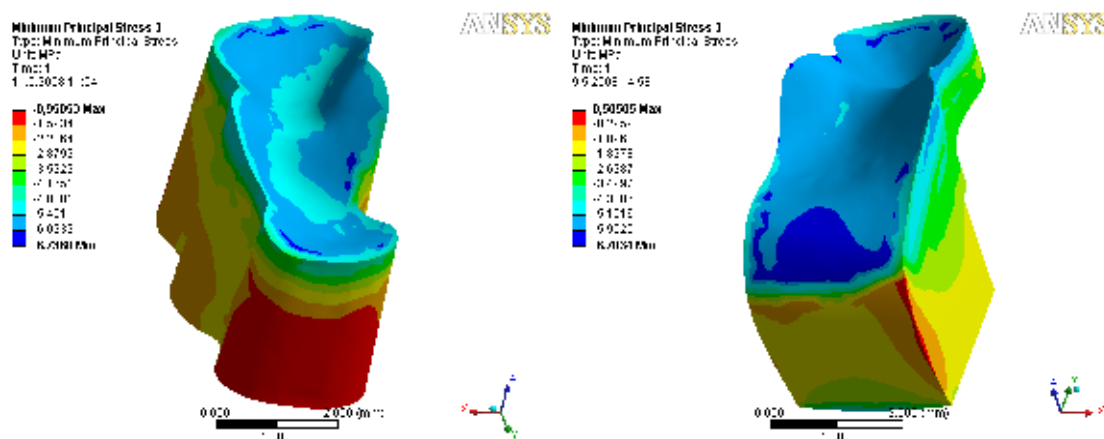
Obrázek 8.29 Safragam



Obrázek 8.30 Arabesk



Obrázek 8.31 Evicrol



Obrázek 8.32 Opticor flow

U napětí σ_3 je dominantní tlakové napětí. Pro obě třídy dosahuje jeho maximum přibližně stejných hodnot. Rozložení tlakového napětí je pro všechny materiály stejné. Maximální hodnoty se u obou tříd objevují na vrchní ploše výplně. U kavit třídy 1 jsou zvýšené hodnoty umístěny na bočních plochách hrbolků. U kavit třídy 2 je vysoká hodnota tlakového napětí po celé vrchní ploše výplně. Maximální hodnota tlakového napětí je na vrchní ploše výplně v části, která nemá kotvící účel. Maximální hodnota tlakového napětí je 7,5 MPa pro Safragam.

Průběhy napětí σ_1 a σ_3 na výplni nejsou výrazně rozdílné mezi jednotlivými materiály. Proto je pro další porovnávání vybrán jako reprezentant všech materiálů. Nejvhodnější se jeví Arabesk, má nejnižší modul pružnosti a tím i rozdíl maxima a minima napětí je největší.

8.2.7. Zhodnocení vlivu třídy kavity a materiálu výplně

Třída kavity má největší vliv na maximální hodnotu tahového napětí σ_1 na zubní sklovině, zde je maximální rozdíl mezi oběma třídami 67%. Největší rozdíl v tlakovém napětí je u napětí σ_1 na výplni, kde je rozdíl mezi třídami až 34%.

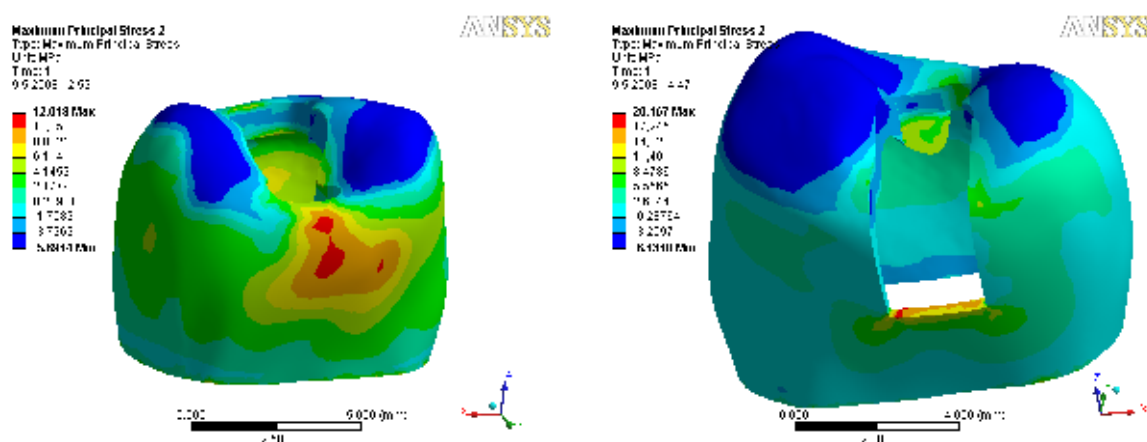
Největší vliv materiálu výplně na maximální hodnotu tahového napětí je pro kavity obou tříd u napětí σ_1 na výplni, kde jsou rozdíly maximálních hodnot napětí 155%. Velký vliv má materiál i na tahové napětí σ_1 na dentinu kde jsou rozdíly maximálních hodnot napětí pro kavity třídy 1 až 155% a pro kavity třídy 2 až 123%. Pro tlakové napětí je největší rozdíl maximálních hodnot napětí u napětí σ_3 na dentinu u kavity třídy 2 a to 77%, pro kavit třídy 1 je tento rozdíl 50%. Velký vliv má materiál výplně i na tlakové napětí σ_3 na zubní sklovině, kde jsou rozdíly maximálních napětí pro obě třídy kavit přibližně 45%. Největší rozdíly

v maximálních hodnotách obou hlavních napětí byly mezi materiály výplně Safragam a Arabesk, u nichž je také největší rozdíl mezi modulem pružnosti E.

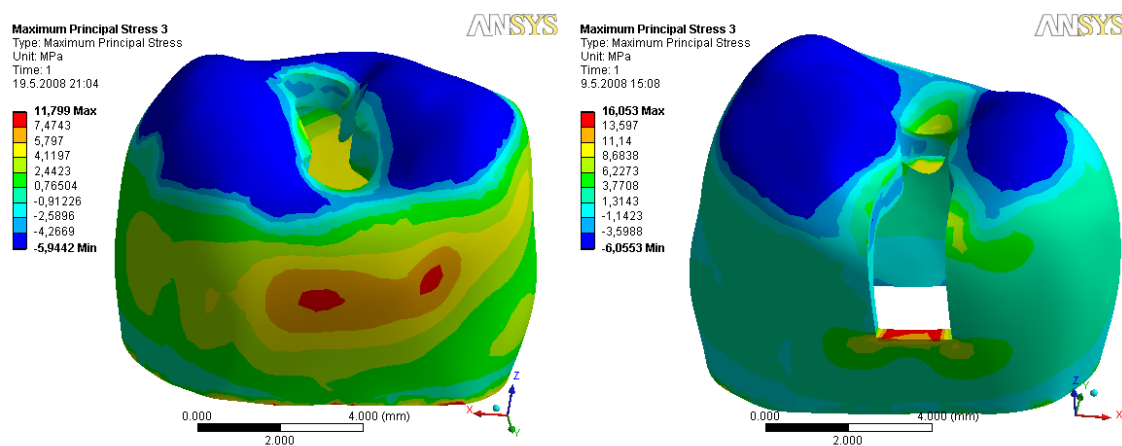
8.3. Porovnání průběhů napětí pro velikosti kavit- velká, střední, malá pro kavity I. II. třídy

Kavita I. třídy je umístěna vlevo a kavita II. třídy vpravo.

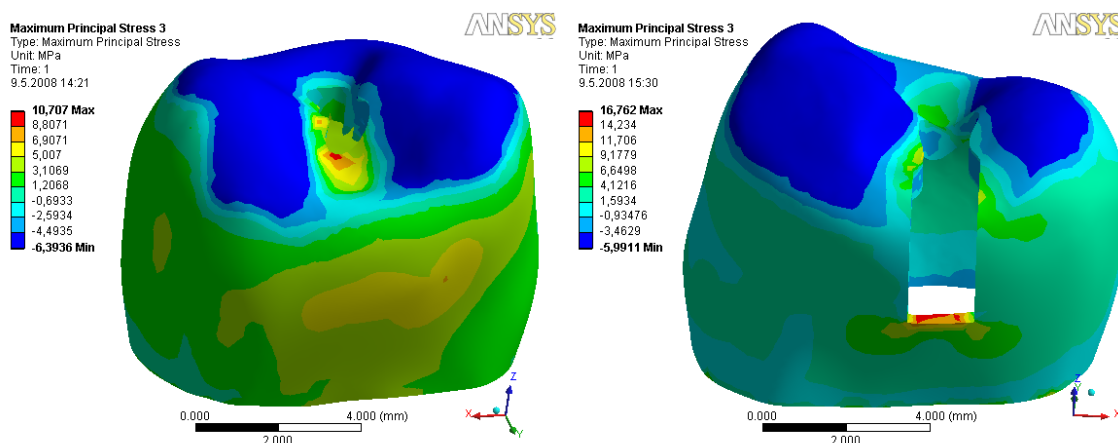
8.3.1. Průběhy napětí σ_1 na zubní sklovině



8.33 Velká kavita



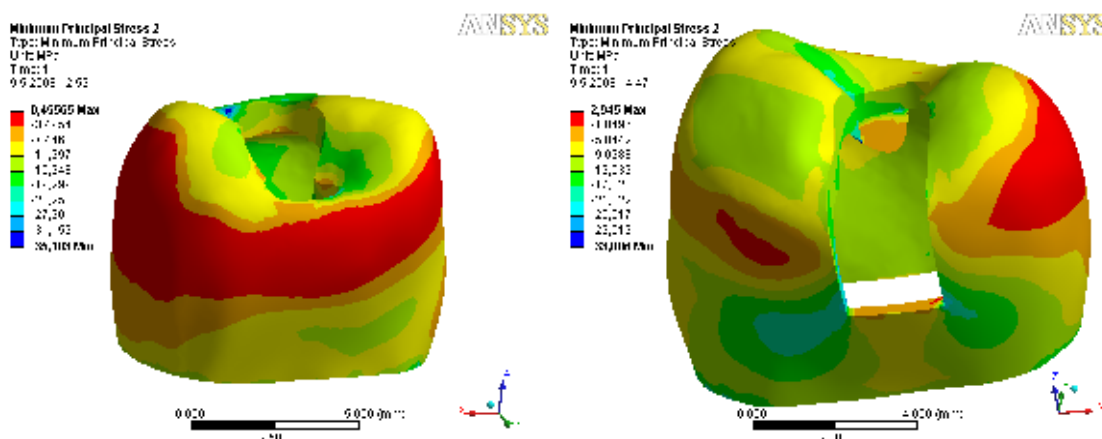
8.34 Střední kavita



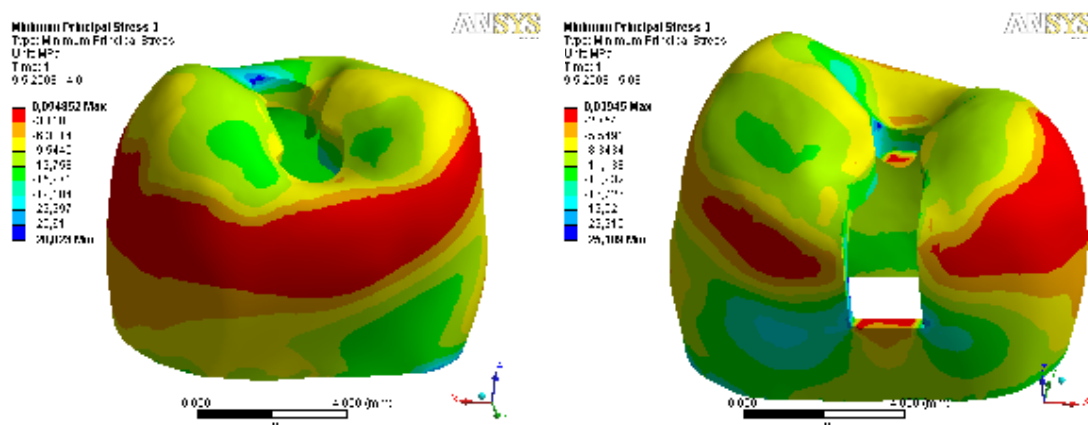
8.35 Malá kavita

Napětí σ_1 obsahuje složku tahovou i tlakovou, tlakové napětí je pro obě třídy na vrchní ploše a pro třídu kavity ani velikost se výrazně nemění. Takové napětí je pro všechny případy kavit třídy 2 největší na hraně dna kavity. Pouze malá kavita třídy 1 má svoji maximální hodnotu po obvodu kavity, kavity střední a velká třídy 1 mají vysoké hodnoty tahového napětí na boční stěně, kde je i maximální hodnota tahového napětí. Maximální hodnota tahového napětí je 20,2 MPa a tlakového napětí 6,4 MPa.

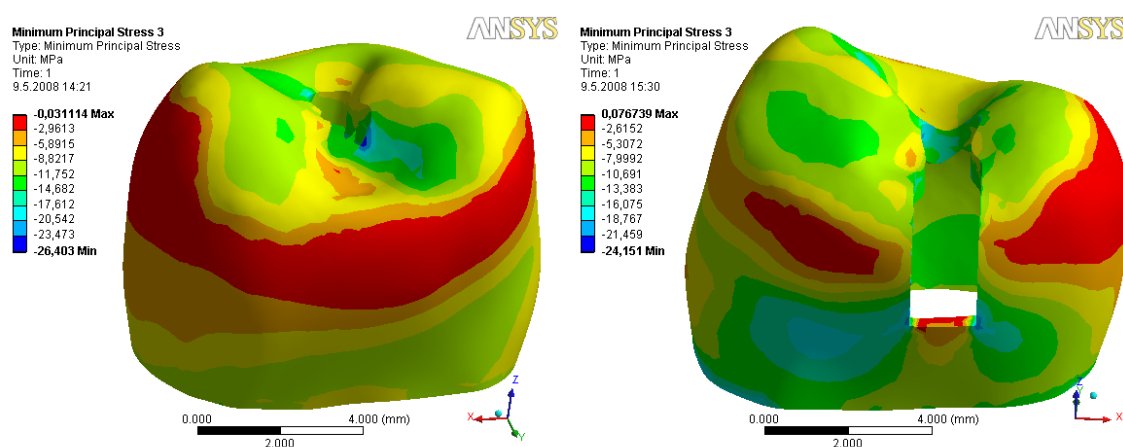
8.3.2. Průběhy napětí σ_3 na zubní sklovině



8.36 Velká kavita

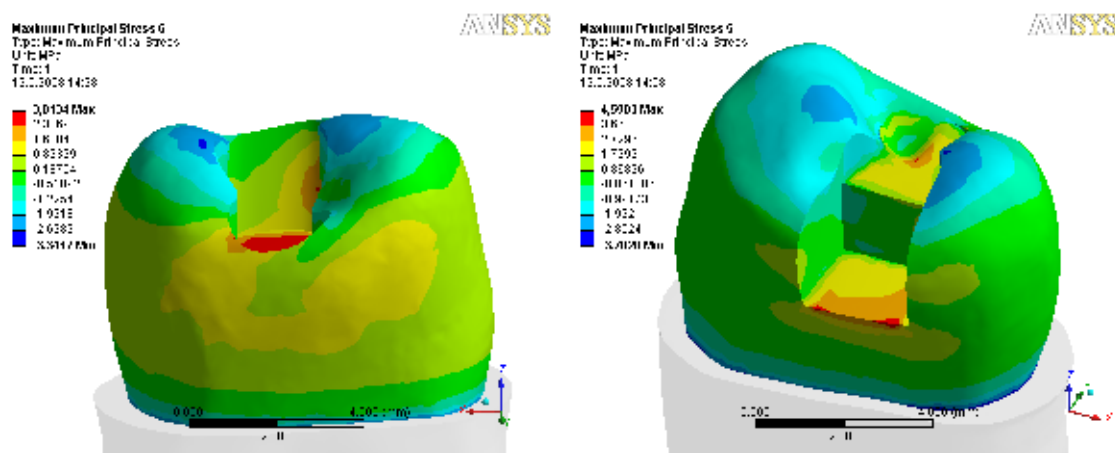


8.37 Střední kavita

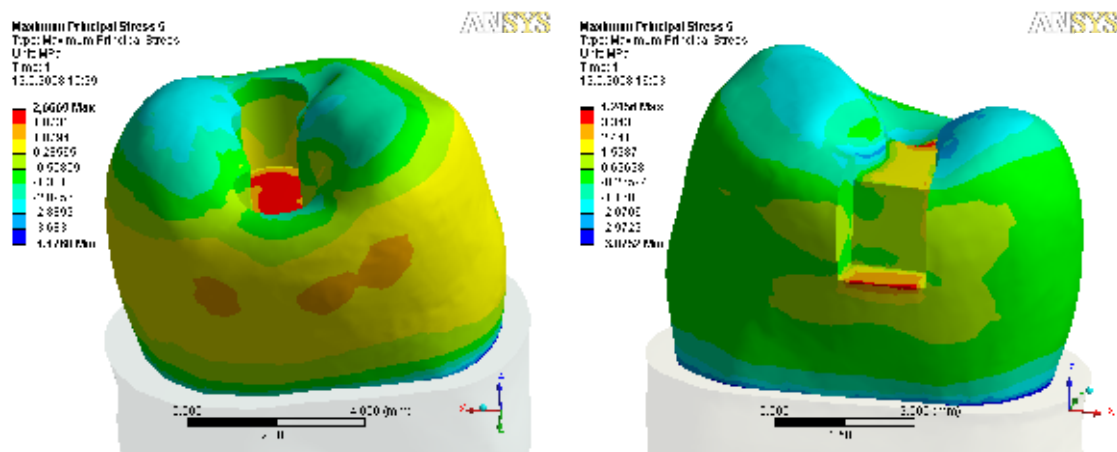


8.38 Malá kavita

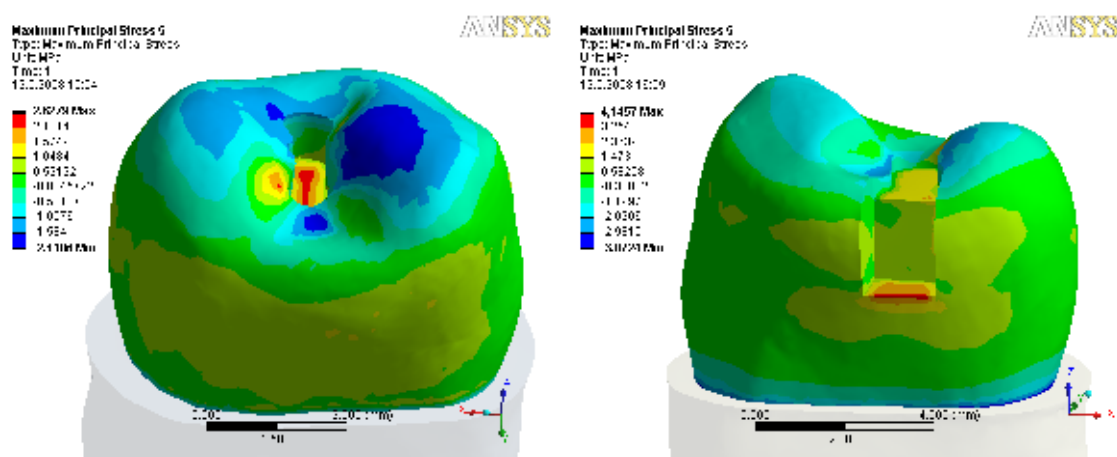
Obě třídy kavit mají podobné rozložení napětí σ_3 . Dominantní je tlakové napětí, které má své maximum pro obě třídy kavit v místě obrysu kavity. Maximální hodnota tlakového napětí je v případě velké kavity třídy 1, a to 35,1 MPa.

8.3.3. Průběhy napětí σ_1 na dentinu

Obrázek 8.39 Velká kavita

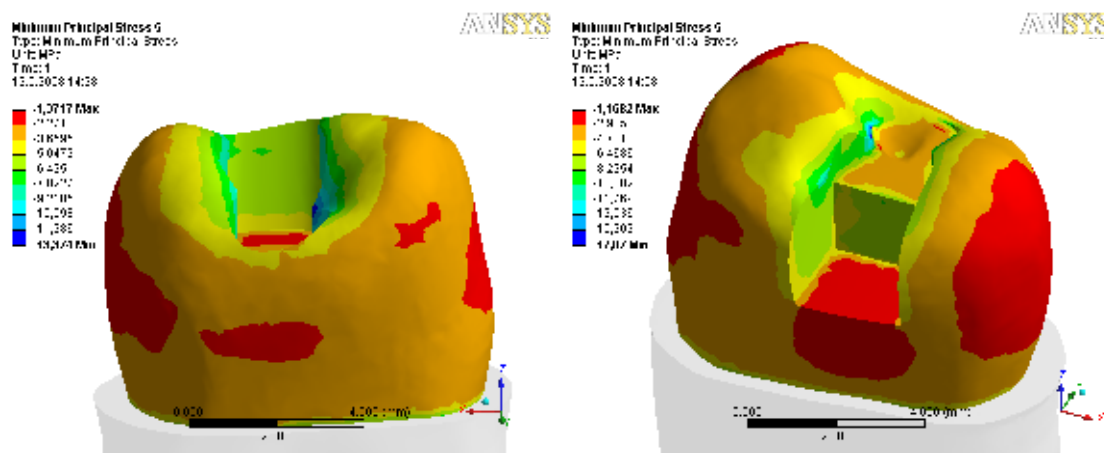


Obrázek 8.40 Střední kavita

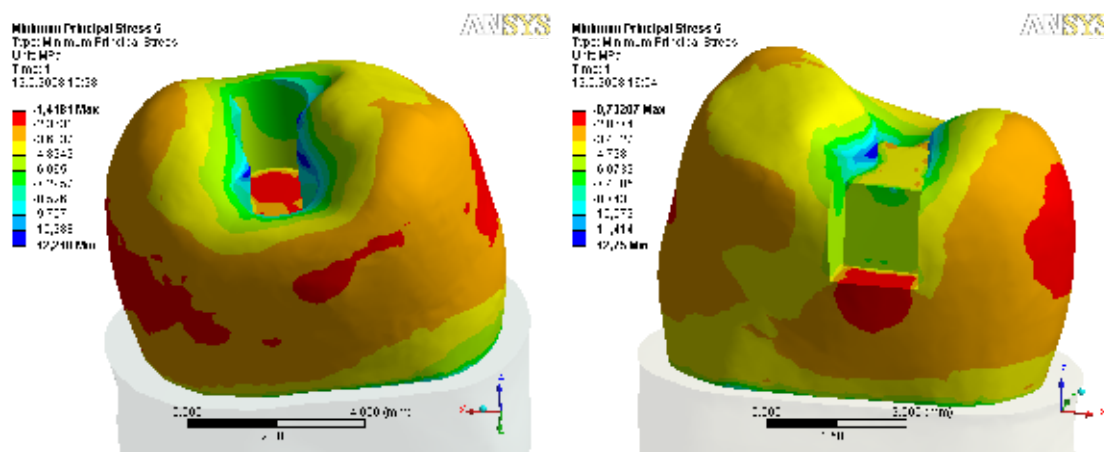


Obrázek 8.41 Malá kavita

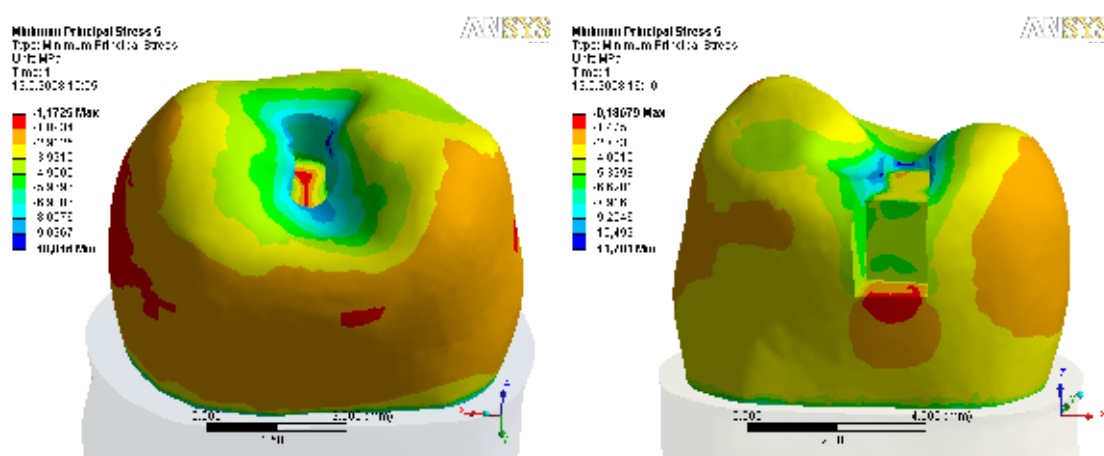
Napětí σ_1 má vyvážené hodnoty tahových a tlakových napětí. Tahové napětí se u kavit třídy 1 objevuje především na dně kavity a v přední části hrbolu u malé kavity, což je způsobeno nevhodným umístěním kavity. Tlakové napětí je pro oba typy kavity umístěno na vrchní části korunky a maxima dosahuje na bočních plochách hrbolků směrem ke středu zubu. U kavit třídy 2 je tahové napětí na spodní ploše kavity s maximem na vodorovné hraně, která je umístěna na boční ploše zubu. Maximální hodnota tahového napětí je 4,6 MPa v případě velké kavity třídy 2 a maximální hodnota tlakového napětí je 4,5 v případě střední kavit třídy 1.

8.3.4. Průběhy napětí σ_3 na dentinu

Obrázek 8.42 Velká kavita



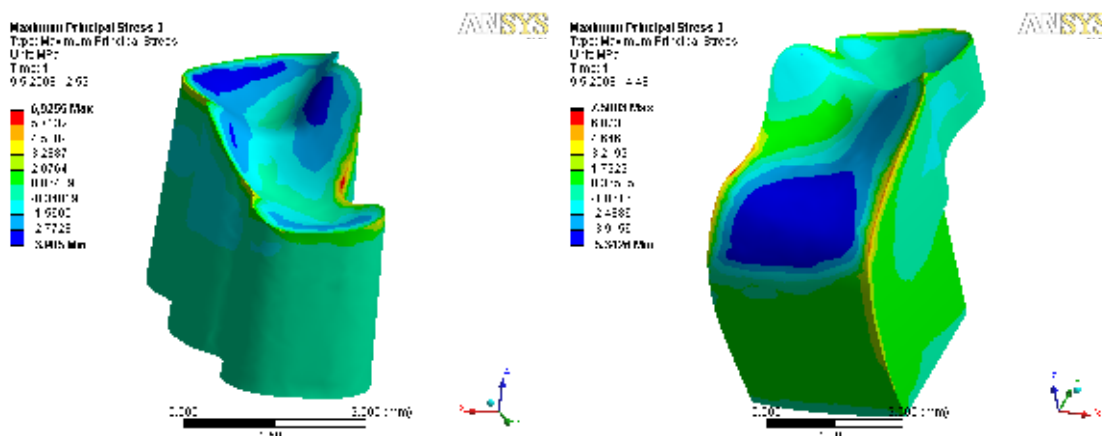
Obrázek 8.43 Střední kavita



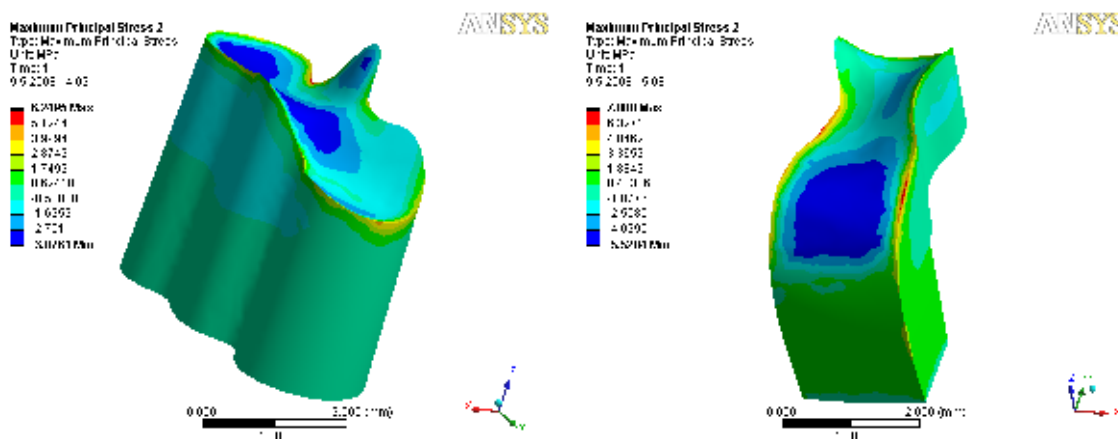
Obrázek 8.44 Malá kavita

U napětí σ_3 je dominantní tlakové napětí. U obou tříd kavit je tlakové napětí minimální po obvodu zubu a maximální na celém nebo části obvodu kavity. U kavit třídy 1 je vysoké tlakové napětí je na hraně po celém obvodu kavity. U kavit třídy 2 je vysoké napětí opět po obvodu kavity, není ale po celém obvodu, ale jen v části, která slouží ke kotvení. Maximální hodnota tlakového napětí je 17,07 MPa v případě velké kavity třídy 2.

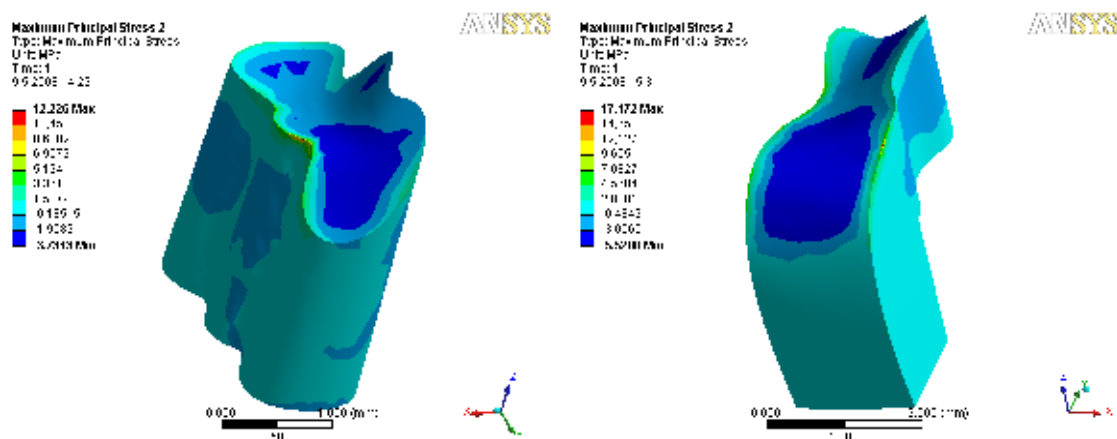
8.3.5. Průběhy napětí σ_1 na zubní výplni



Obrázek 8.45 Velká kavit



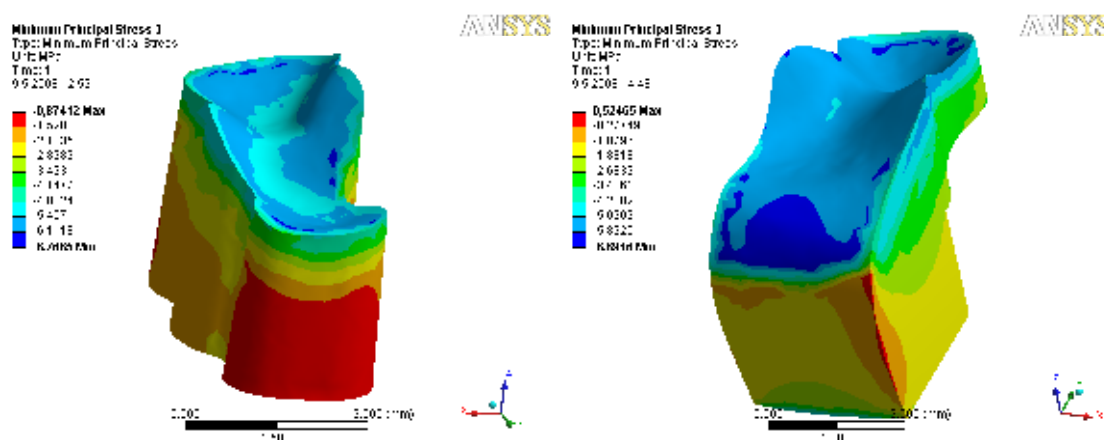
Obrázek 8.46 Střední kavit



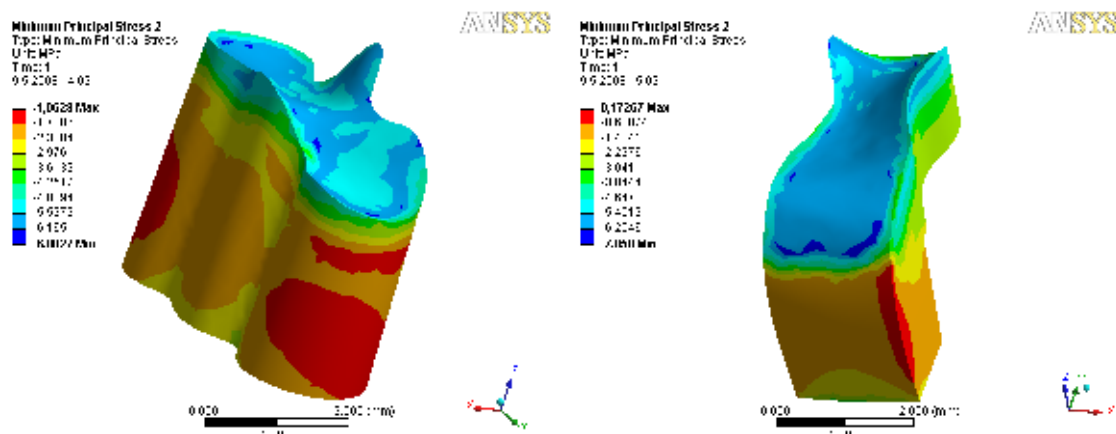
Obrázek 8.47 Malá kavita

Obě třídy kavit mají podobné rozložení napětí σ_1 . U malých kavit je výraznější tahové napětí. U kavit třídy 1 je vysoké tahové napětí na horní hraně po obvodu kavity u všech velikostí kavit. U tlakového napětí nedochází s velikostí kavity k výrazným změnám hodnot maximálního tlakového napětí. Se zmenšující se velikostí vysoká hodnota tlakového napětí postupně rozrůstá na celou vrchní plochu. U velké kavity třídy 1 byla maximální hodnota tlakového napětí na bočních stěnách hrbolků. U kavit třídy 2 nastává obdobný jev a se zmenšující se velikostí kavity se vysoké tlakové napětí rozrůstá na celé ploše. U velké kavity třídy 2 je oblast vysokého napětí a tím i maximální napětí umístěno na horní ploše výplně v části, která neslouží ke kotevním účelům. Maximální hodnota tahového napětí je pro případ malé kavity třídy 2 a to 17,2 MPa a pro téže případ je maximální i tlakové napětí v hodnotě 5,5 MPa.

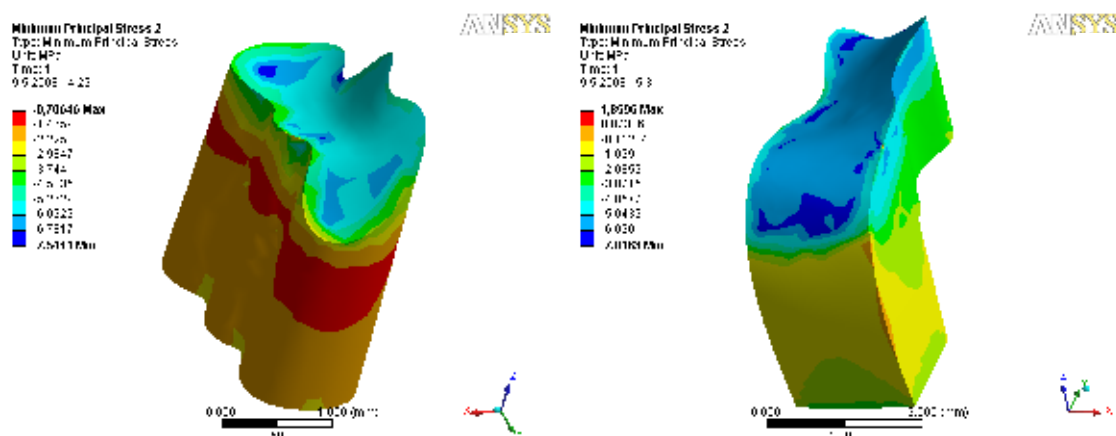
8.3.6. Průběhy napětí σ_3 na zubní výplni



Obrázek 8.48 Velká kavita



Obrázek 8.49 Střední kavita



Obrázek 8.50 Malá kavita

U napětí σ_3 je opět dominantní tlakové napětí. U obou tříd kavit je podobné rozložení napětí, které se významně nemění s velikostí kavity. Velké tlakové napětí je na celé vrchní ploše výplně. U kavit třídy 1 jsou maximální hodnoty tlakového napětí na bočních stěnách hrbolků. U kavit třídy 2 jsou maximální hodnoty v krajní části vrchní plochy a to na té části výplně, která již neslouží ke kotvení. Maximální hodnota tlakového napětí je v případě velké kavity třídy 1 a to 6,8 MPa.

V rozložení napětí nejsou mezi oběma třídami kavit velké rozdíly, pro srovnání obou typů kontaktu použijeme jenom jeden model kavity. Jako vhodný reprezentant byla vybrána malá kavita třídy 2. Vykazuje největší tahových a tlakových napětí σ_1 a σ_3 . Jako výplňový materiál je opět zvolen arabesk.

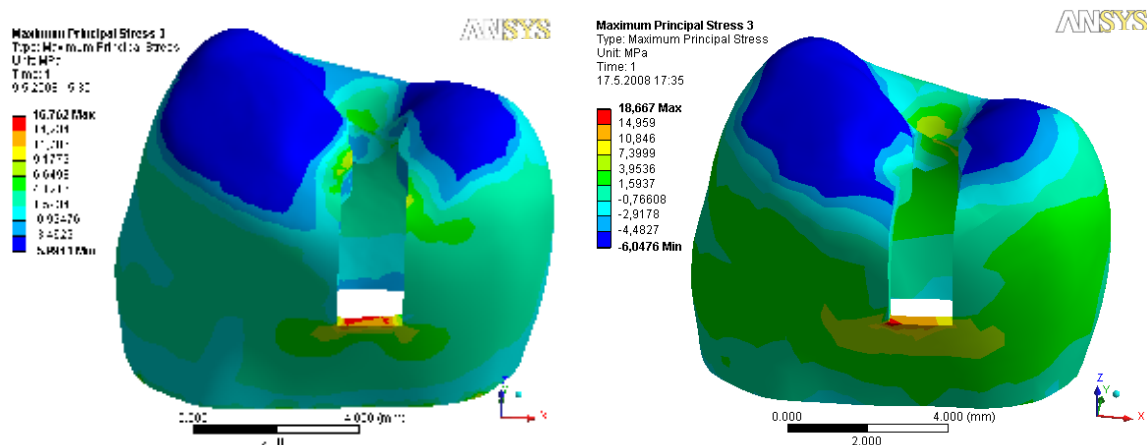
8.3.7. Zhodnocení vlivu třídy kavity a velikosti kavity

Třída kavity má největší vliv na maximální hodnotu tahového napětí u napětí σ_1 na zubní sklovině, zde je maximální rozdíl mezi oběma třídami 67%. Vysoký vliv třídy kavity je i u tahového napětí σ_1 na dentinu, kde je rozdíl maximálních hodnot napětí 59%. Největší rozdíl v tlakovém napětí je u napětí σ_1 na dentinu, kde je rozdíl mezi třídami až 83%.

Při hodnocení vlivu velikosti kavity je rozdíl maximálních hodnot tahového napětí pro kavitu třídy 1 napětí u napětí σ_1 na zubní výplni 96%, kde je i největší rozdíl pro kavitu třídy 2 a to 130%. Pro tlakové napětí je největší rozdíl maximálních hodnot napětí v závislosti na velikosti kavity pro kavitu třídy 1 u napětí σ_1 na dentinu 53% a pro kavitu třídy 2 je to u napětí σ_3 na dentinu v hodnotě -31%.

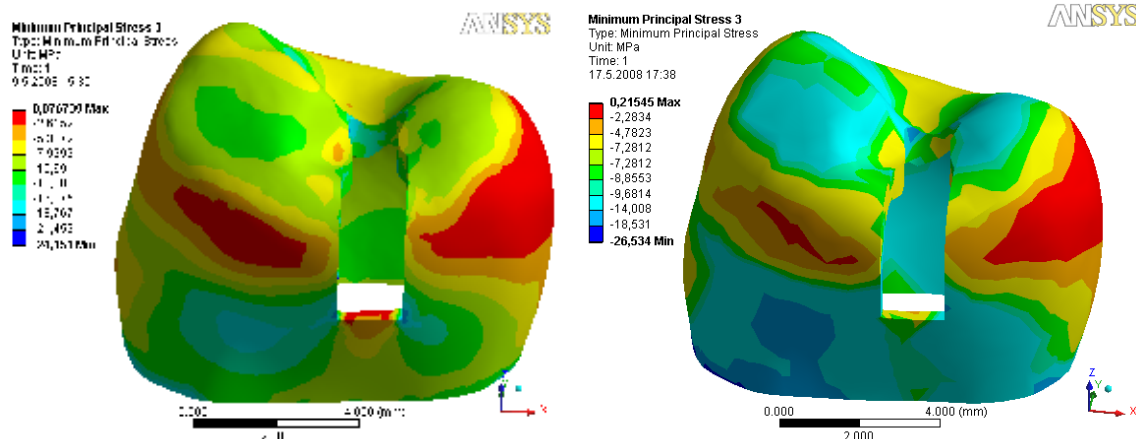
8.4. Porovnání typu kontaktu mezi zubní výplní a zubem

Vlevo je zobrazen typ kontaktu Bonded vpravo Standard.



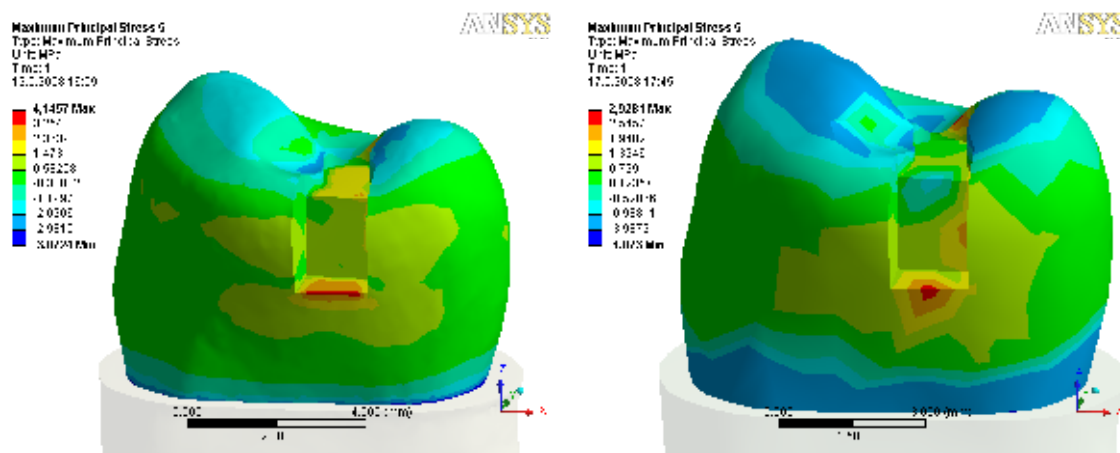
Obrázek 8.51 Rozložení napětí σ_1 na zubní sklovině

Napětí na zubní sklovině je srovnatelné pro oba případy kontaktu. Nemění se ani rozložení napětí σ_1 . Opět se projevuje tlakové napětí na vrchní části korunky. Maximální tahové napětí pro kontakt standard mírně vzrostlo a přemístilo se na rohovou část hrany, kde dochází ke styku skloviny a výplně. Maximální tahové napětí je 16,7 MPa v případě kontaktu Standard. Maximální tlakové napětí je 6 MPa v případě typu kontaktu Bonded.

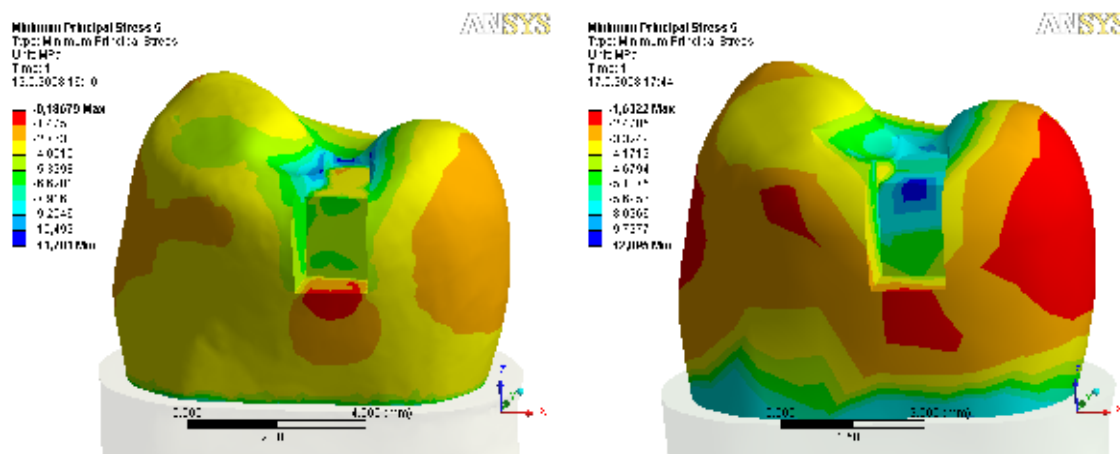


Obrázek 8.52 Rozložení napětí na zubní sklovině

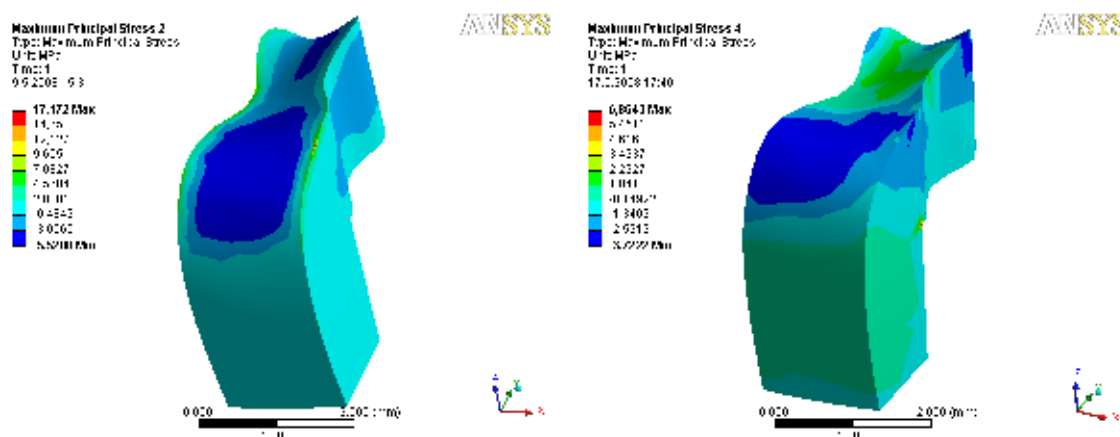
Rozložení napětí σ_3 se pro typ kontaktu standard nezměnilo. Došlo pouze k mírnému nárůstu maximálního tlakového i tahového napětí. Maximální tlakové napětí je 26,5 MPa pro případ kontaktu Standard.

Obrázek 8.53 Rozložení napětí σ_1 na dentinu

Rozložení napětí σ_1 na dentinu se pro případ, kdy je mezi dentinem a výplní kontakt standard nezměnilo. Pro případ standard došlo k poklesu tahového napětí, jehož maximum zůstalo na spodní ploše kavity s maximem na vodorovné hraně. Tlakové napětí se zvýšilo, průběh napětí zůstal stejný. Maximální tahové napětí je 4,1 MPa v případě kontaktu Bonded. Maximální tlakové napětí je 4,4 MPa v případě typu kontaktu Standard.

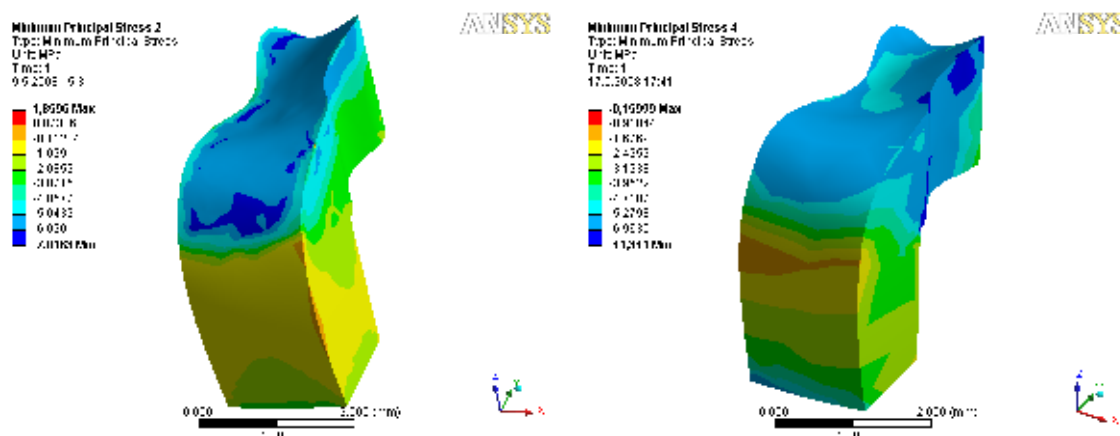
Obrázek 8.54 Rozložení napětí σ_3 na dentinu

Pro oba typy kontaktu zůstává dominantní tlakové napětí. Minimální hodnota tlakového napětí je po obvodu dentinu, kromě korunky dentinu a spodní části, kde dochází k navýšení napětí. Vysoká hodnota tlakového napětí se pro typ kontaktu Standard objevuje nejen po obvodu kavity ale i na jejím dně. Maximální hodnota tlakového napětí je na hraně, kde končí kotevní část výplně. Maximální hodnota tlakového napětí je 12,1 MPa pro kontakt Standard.

Obrázek 8.55 Rozložení napětí σ_1 na výplni

V napětí σ_1 dochází při obou typech kontaktu k odlišnostem. Zatímco u kontaktu Bonded je maximální tahové napětí na hraně po obvodu výplně. Pro kontakt Standard je maximální tahové napětí ve spodní části kavity, kde končí kotvení na rybinu a kavita se prohlubuje. Tlakové napětí je pro kontakt Standard vyšší a vysoké hodnoty se vyskytují na horní ploše po celé délce výplně kromě okrajů. U kontaktu Bonded je hodnota tlakového napětí

nižší a oblast vysokých hodnot tlakového napětí ne na horní ploše v části, která neslouží ke kotvení, zde je i maximální hodnota tlakového napětí. Maximální tahové napětí je 17 MPa pro kontakt typu Bonded. Maximální tlakové napětí je 5,5 MPa také pro kontakt typu Bonded.



Obrázek 8.56 Rozložení napětí σ_3 na výplni

V případě σ_3 je u obou kontaktů dominantní tlakové napětí. U kontaktu typu Bonded se vyskytuje na boční svislé hraně kavity i oblast, kde působí tahová napětí. U tohoto typu kontaktu je oblast vysokých tlakových napětí na celé horní ploše výplně. U kontaktu ty Standard jsou významná tlaková napětí především na horní ploše výplně. Vysoké hodnoty tlakového napětí se vyskytují i na bočních plochách rybiny. Maximální tahové napětí je 11,3 MPa pro kontakt typu Standard.

8.4.1. Zhodnocení vlivu kontaktu mezi zubem a výplní

Největší vliv na tahové napětí má kontakt mezi zubem a výplní na napětí σ_1 na výplni, zde jsou rozdíly maximálních hodnot tahových napětí 60%. Významné rozdíly jsou na výplni i v tlakovém napětí σ_1 , kde se hodnoty maximálních napětí liší o 33% (pokles napětí). Významný pokles napětí vlivem změny kontaktu je u napětí σ_1 na dentinu, kde je rozdíl hodnot maximálních tahových napětí 30%.

9. ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo provedení deformačně napěťové analýzy sanovaného druhého premoláru. Součástí práce je rešeršní studie věnovaná problematice zubního kazu a určení hodnot materiálových charakteristik. Dále byly zpracovány základy anatomie a stomatologické propeudiky. Problém byl řešen pomocí výpočtového modelování metodou konečných prvků ve výpočtovém programu ANSYS Workbench 11. Z prvotního modelu zubu byla vytvořena struktura zubu zahrnující vrstvu skloviny a dentinu, která je uložena v čelisti složené z vrstvy coticální kosti a spongiózní kosti. Bylo vymodelováno 6 variant kavit a ty byly řešeny vždy pro 4 výplňové materiály. Vše bylo řešeno pro typ kontaktu Bonded a jedna kavi- ta pro kontakt mezi zubem a výplní typu Standard. Posuzovala jsem vliv materiálu výplně, třídy kavity a typu kontaktu mezi zubem a výplní.

Z následné analýzy byly vyvozeny tyto závěry:

Sanace představuje významný zásah jak do geometrie, tak i do materiálu zubu. V zásadě nedochází po provedení sanace k výrazné změně rozložení napětí v celém zubu, ale pouze v určité oblasti na rozhraní zubu a zubní výplně. Dochází k místnímu zvýšení napětí vlivem rozdílných tuhostí zubu a materiálu výplně. Největší vliv má sanace na napětí na sklovině, kde se maximální tahové napětí σ_1 zvýší o 172% a maximální tlakové napětí σ_3 se zvýší o 172%.

Třída kavity ovlivňuje v největší míře napětí σ_1 na dentinu, kde má tahové napětí největší rozdíl maximálních hodnot napětí 59%, pro tlakové napětí je to 83%. Vlivem třídy kavi- ty dochází významnému rozdílu maximálních hodnot i na zubní sklovině, a to u tahového napětí σ_1 v hodnotě 67%.

V závislosti na materiálu, respektive na modulu pružnosti materiálu výplně, lze konstatovat, že s rostoucí hodnotou modulu pružnosti materiálu výplně roste tlakové napětí σ_3 na dentinu. Materiál výplně ovlivňuje nejvíce tahové napětí σ_1 na výplni v maximální hodnotě rozdílu napětí 156%. K dalšímu významnému ovlivnění vlivem materiálu u tlakového napětí σ_3 na dentinu s maximálním rozdílem hodnot napětí 77%.

Typ kontaktu mezi zubem a výplní nejvíce ovlivňuje tlakové napětí σ_3 na výplni, kde jsou rozdíly maximálních hodnot napětí 62%. Významný vliv má typ kontaktu i na ϵ napětí σ_1 na výplni, kde rozdíl maximálních hodnot pro tahové napětí je 60% a pro tlakové 33%.

10. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Radomír Čihák*: Anatomie 1, druhé, upravené a doplněné vydání, Grada Publishing, a.s., 2001
- [2] *Jan Řezníček*: Aplikace odporové tenzometrie v nestandardních podmínkách, 2005
- [3] *Elmar Hellwig*: Záchovná stomatologie a parodontologie, 2003
- [4] *Ivo Klepáček, Jiří Mazánek*: Klinická anatomie ve stomatologii, 2001
- [5] *Lubor Novák*: Základy záchovné stomatologie a parodontologie, 1981
- [6] *M. Moš*: Deformačně napěťová analýza sanovaného zubu, Diplomová práce, Ústav mechaniky těles, FSI VUT Brno, 2007
- [7] <http://www.abdn.ac.uk/physics/px4007/2004/tooth.hti>
- [8] http://www.eurjdent.com/images/vol_one_iss_two/67-71.pdf
- [9] <http://bme.ntu.edu.tw/abc/17.3/17-3-2.pdf>
- [10] <http://ejo.oxfordjournals.org/cgi/reprint/27/1/53?ck=nck>
- [11] <http://www.spofadental.cz/novinky-of.htm>
- [12] http://www.anamneza.cz/moduly/lidsketelo.php?soubor=kapitola9_2.php
- [13] <http://dentaktiv.cz/cs/poskytovane-vykony/zubni-kaz>
- [14] <http://www.asklepion.cz/anevs-asklepion-news/anevs-2007-news/anevs-2007-04-3/historie-stomatologie.html>
- [15] <http://wbgleason.googlepages.com/DentalBiomats.pdf>
- [16] <http://www.stomateam.cz/index.php?clanek=24>
- [17] <http://www.scientific.net/0-87849-463-4/825/>
- [18] <http://ejo.oxfordjournals.org/cgi/reprint/27/4/333.pdf>
- [19] <http://jorthod.maneyjournals.org/cgi/content-nw/full/28/1/29/>
- [20] http://www.biofizyka.amp.edu.pl/m_mechanical%20properties%20of%20solids.pdf
- [21] <http://www.abdn.ac.uk/physics/px4007/2004/tooth.hti>
- [22] http://www.jstage.jst.go.jp/article/jbb/104/5/363/_pdf
- [23] <http://jdr.iadrjournals.org/cgi/reprint/84/5/428>
- [24] <http://utopia.duth.gr/~pmarhav/12th-ICMMB/PDF12thConference/26-Geiger.pdf>
- [25] <http://encyklopedie.seznam.cz/heslo/126000-chrup>

11. SEZNAM PŘÍLOH

Součástí diplomové práce je 1 ks DVD obsahující elektronickou podobu textové části práce a jednu variantu řešení. DVD obsahuje textovou část ve formátu doc a pdf.