

NANOINDENTACE A MECHANICKÉ VLASTNOSTI DENTINU KOŘENE LIDSKÉHO ZUBU

Alice Kapková

Abstrakt:

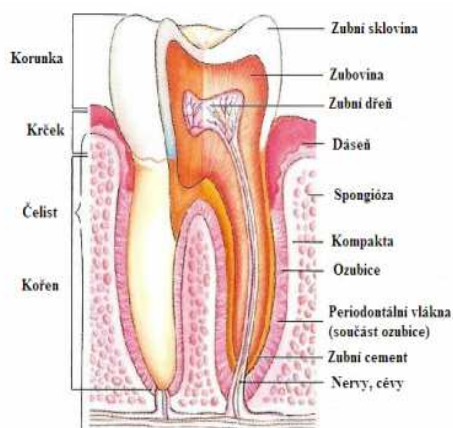
Tato práce se zabývá mikro strukturou a nanoindentací dentinu a cementu kořene zubu se zřetelem na mikromechanické vlastnosti ve stěně zubu. Nanoindentační experimenty byly provedeny za použití instrumentálních tvrdoměrů NHT podle CSM Instruments vybavených Berkovichovým tělískem. Podrobné znalosti vlastností nitrokostní části zubu nám v další fázi umožní optimalizaci návrhu současných dentálních implantátů. Naměřené výsledky ve vestibulo-orálním směru ukazují, že nižší modul pružnosti byl naměřen na vnějším okraji premolárového zubu v oblasti cementu a cemento-dentinové hranice a pohybuje se okolo 13 GPa a na rozhraní dentinu a kořenového kanálku 14 GPa. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny ve střední části dentinu a pohybují se hodnotách kolem 23 GPa. V disto-mesiálním směru je vývoj modulu pružnosti analogicky se svislým směrem. Nejnižší hodnota modulu pružnosti v disto-mesiálním směru byla naměřena na rozhraní dentinu a kořenového kanálku 13 GPa a v dentinu na okraji s cementem 14 GPa. Nejvyšší hodnota byla naměřena ve střední části dentinu 24 GPa.

0. Úvod

Nutnou podmínkou pro úspěšné pochopení a uplatnění nejrůznějších stomatologických postupů je komplexní znalost zubu na makro i mikro úrovni, jeho mechanických vlastností a chování pod zatížením. Experimentální analýzou vlastností zubů se zabývá mnoho autorů [1-2] se zaměřením na všechny struktury zubů. Zcela dominantním zaměřením však zůstává korunka zubu, a to její zubní sklovina a dentin v její části. Pro naše potřeby směřující k návrhům nových dentálních implantátů je však nutné se zaměřit především na nitrokostní část zubu, a to jeho kořen. V posledních letech, díky novým metodám a postupům dochází k nárůstu vykazovaných hodnot [3], které jsou z velké části dány rozdílnou kvalitou zubu jednotlivých jedinců.

0.1.S TURKTURA ZUBU

Lidské zuby se skládají ze 4 základních složek: sklovina, dentin, cement a zubní dřev. Dentin tvoří největší část zubu, který v korunkové části pokrývá sklovina a v kořenové části cement. Uvnitř celého



zubu probíhá zubní dřeň. Pro předmět naší práce se dále budeme věnovat pouze kořenové části zubu.

Obr. 1 Mediálně-frontální řez zubem [4]

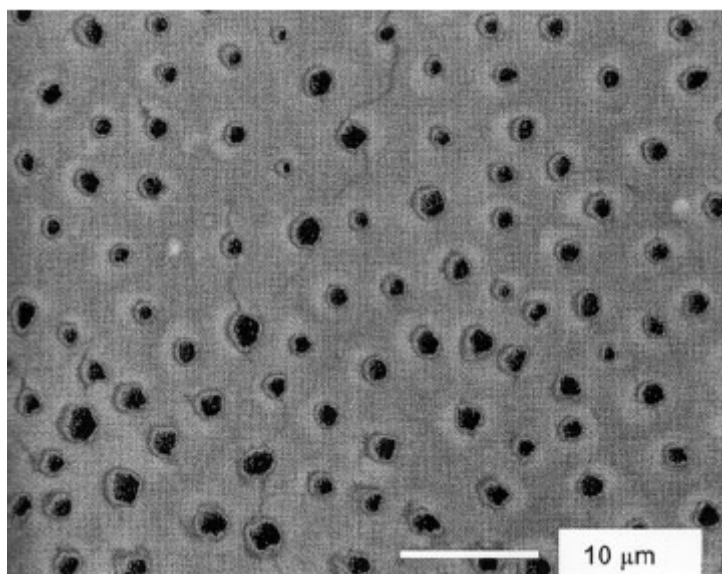
0.2.DENTIN

Dentin je tvrdá pojivová tkáň, která tvoří hlavní část zubu. Z tohoto důvodu je znalost mechanických vlastností důležitá pro prognózu vzniku zubního kazu a výrobu dentálních implantátů, jejichž mechanické vlastnosti je budou blížit vlastnostem dentinu zubu. Dentin je světle žlutý v dočasné dentici až žlutý ve stálé a dává částečně barvu zubu, protože prosvítá přes průsvitnou sklovinu. Dentin je tvořen dentinovými tubuly (kanálky), ve kterých probíhají Tomesova vlákna.

Fyzikální struktura – dentin je tvrdší než kost, ale není tak tvrdý jako sklovina. Složení dentinu (matrix) se skládá z anorganické složky(65-70%), organické složky (20-25%) a vody(19%). Díky organické matrix a tubulům je elastičtější než sklovina. Nižší obsah minerálních látek než u skloviny způsobuje vyšší radiolucenci (propustnost záření). Skládá se převážně z anorganických látek – hydroxyapatit - 50 % objemu, organických látek – kolagen typu I (nejrozšířenější kolagen jak v lidském těle, tak pro svoje využití v průmyslových odvětvích, skládá se z fibril, které tvoří silná vlákna v průměru 1-20 μm) - 30% objemu (vlákna tvoří svazky, které mají 50 až 100 nm v průměru) a zbytek tvoří voda - 20 % objemu [5].

Mechanické vlastnosti - lidský dentin je přezkoumáván posledních 50 let. Výsledky v této oblasti jsou velmi nesourodé, proto je nutné velmi často znovu analyzovat předchozí studie a znovu posuzovat strukturu dentinu a jeho mechanické vlastnosti. Nová vyhodnocení ukazují, že velikosti elastických konstant dentinu jsou upravovány výrazně směrem nahoru. Dentin je méně mineralizovaný než sklovina. Youngův modul pružnosti se pohybuje mezi 20 – 25 GPa. Elastické vlastnosti se zdají být anizotropní, nejsou konstantní ve všech směrech. Elastické vlastnosti dentinu mají zásadní význam ve všech diskuzích o síle zubu[16]. Mechanické a elastické vlastnosti dentinu byly studovány již od roku 1895 Blackem, který řekl, že krychle 0.203 cm^2 má průměrnou pevnost 256485 Pa a elastickou deformaci 2,09 per cent., pokud působí zatížení 100 liber (modul pružnosti 55 MPa). Dentinové tubuly se zužují od vnitřní k vnější ploše, mají průměr 2,5 μm u pulpy a 1,2 μm uprostřed dentinu 900 nm u dentino-sklovinné hranice. Hustota je 59.000 až 76.000 na mm^2 u pulpy, zatímco hustota u skloviny je poloviční.[6]

Dentinových tubulů na 1 mm^2 plochy připadá 12 000 až 75 000 a způsobují na preparátech zubů charakteristické radiální žíhání dentinu. Kanálky jsou esovitě prohnuty: konvexita prvního ohybu směřuje ke hrotu zubního kořene a nachází se blíže dřeňové dutiny, konvexita druhého ohybu je obrácena ke korunce a leží blíže vnějšího povrchu dentinu. Světlost dentinových kanálků na dřeňové straně dentinu dosahuje 2-4 μm a pozvolně se zužuje za jejich současného větvení směrem k dentinosklovinnému (resp. dentinocementovému) rozhraní. Mezi sousedními tubuly jsou časté anastomózy (vzájemná propojení). [5]



Obr. 2 Typická mikrostruktura lidského dentinu, periodické uspořádání dentinových tubulů 1-2μm[15]

0.3.CEMENT

Zubní cement je tenká, kalcifikovaná vrstva, která pokrývá dentin v kořenové části. Patří k závěsnému aparátu zubu, protože se podílí na ukotvení zubu v zubním lůžku. Cement je na povrchu zubu různě silný, nejsilnější vrstva se nachází na kořenovém apexu a u více kořenových zubů v interradikulární oblasti (50-200 μm, někdy může přesáhnout až 600 μm). Nejtenčí vrstva cementu se nachází v krčkové části (10-15 μm). Cement se postupně tvoří během celého života.

Fyzikální vlastnosti - je měkčí než dentin. Permeabilita kolísá s věkem a typem cementu, buněčný cement je propustnější. Celkově je cement permeabilnější než dentin. Je světle žlutý a má matný povrch.

Chemické vlastnosti – skládá se z anorganické složky (65 %), organické komponenty (23 %) a z vody (12 %). Hlavní anorganickou složkou je hydroxyapatit.

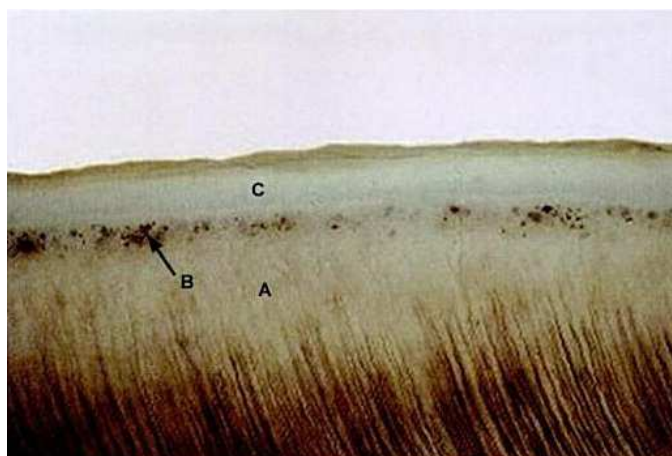


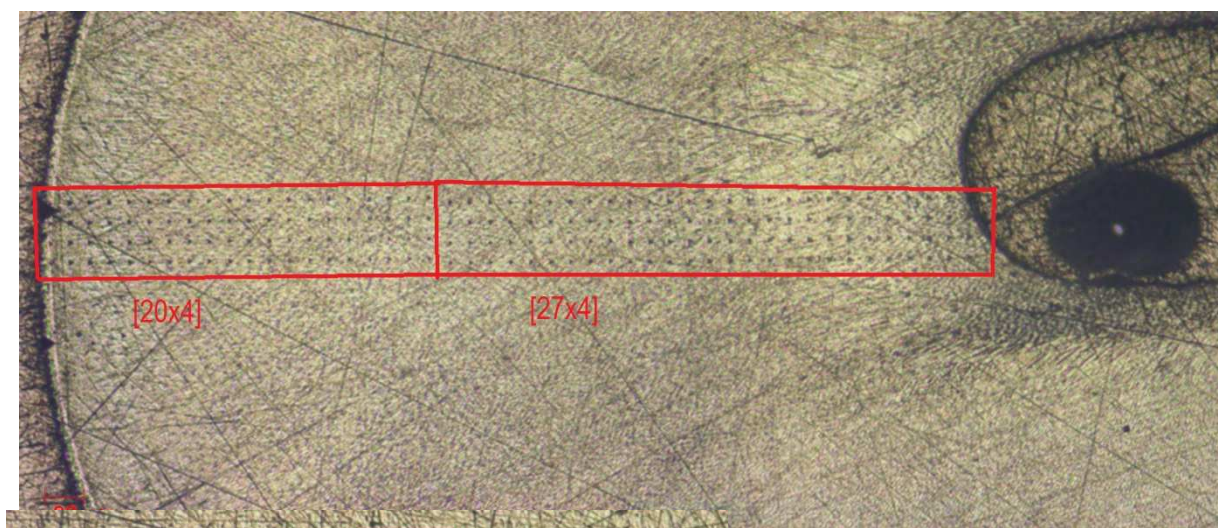
Fig 3. Acelulární cement: A - dentin, B – Tomesova vlákna, C – Primární cement [8]

1. MĚŘENÍ

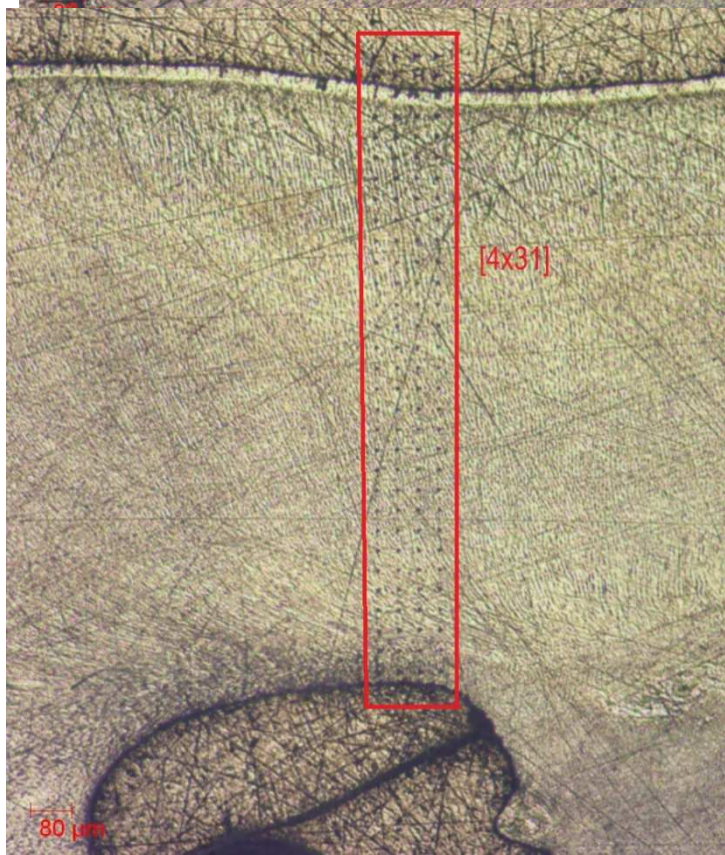
Pro stanovení mikromechanických vlastností bylo využito nanoindentace u premolárového zubu, extrahovaného z ortodontických důvodů. Preparát vertikálně osazený v epoxidové pryskyřici, byl rozříznutý příčným řezem, následně vyleštěn do požadované kvality hladkosti povrchu a dále vyhodnocován v přístroji CSM Instruments.

1.1. STANOVENÍ MODULŮ PRUŽNOSTI

Nanoindentační experimenty byly provedeny za použití instrumentálních tvrdoměrů NHT CSM Instruments vybavených Berkovichovým tělískem. Byly použity do oblasti cementu a dentinu. Indenty byly provedeny v maticích 4x31 v jedné řadě a 20x4 a 27x4 v řadě druhé. (Obr. 4,5) První indent se nachází v blízkosti cementu, následuje odsazení vůči dentinu přes cemento-dentinou hranici až ke kořenovému kanálku, přičemž vzdálenost mezi jednotlivými odsazeními 0,04 mm.

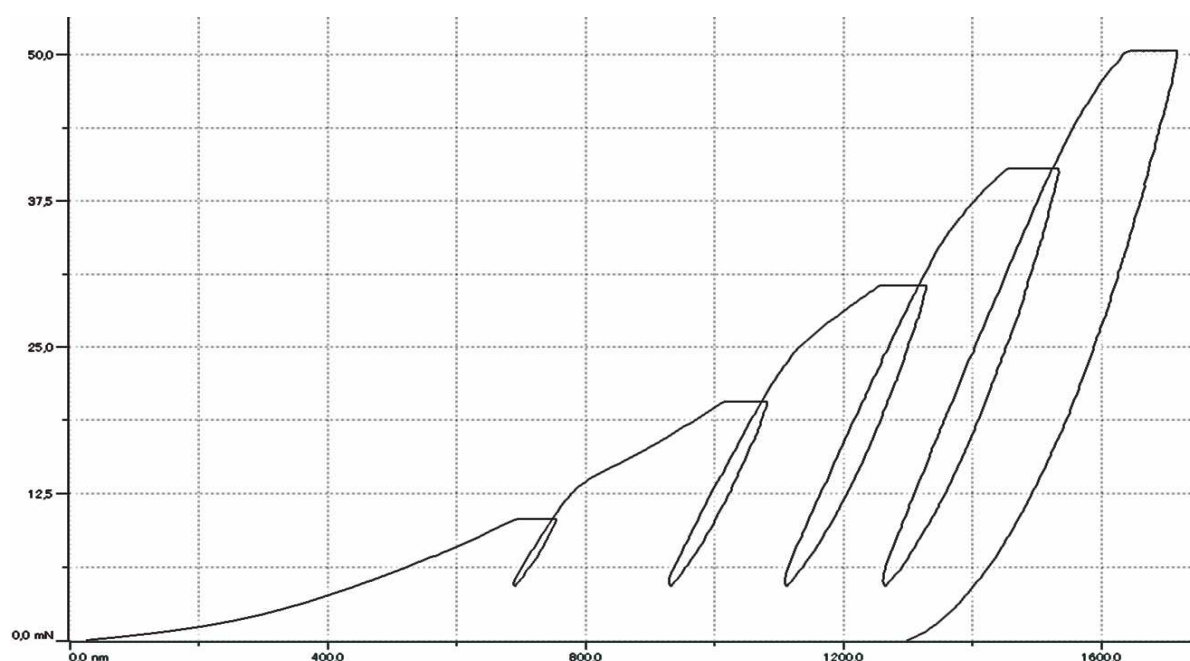


Obr. 4 Disto-mesiální matice indentů – od vnějšího okraje zubu k jeho jádru



Obr. 5 Vestibulo-orální matice indentů – od vnějšího okraje zubu k jeho jádru

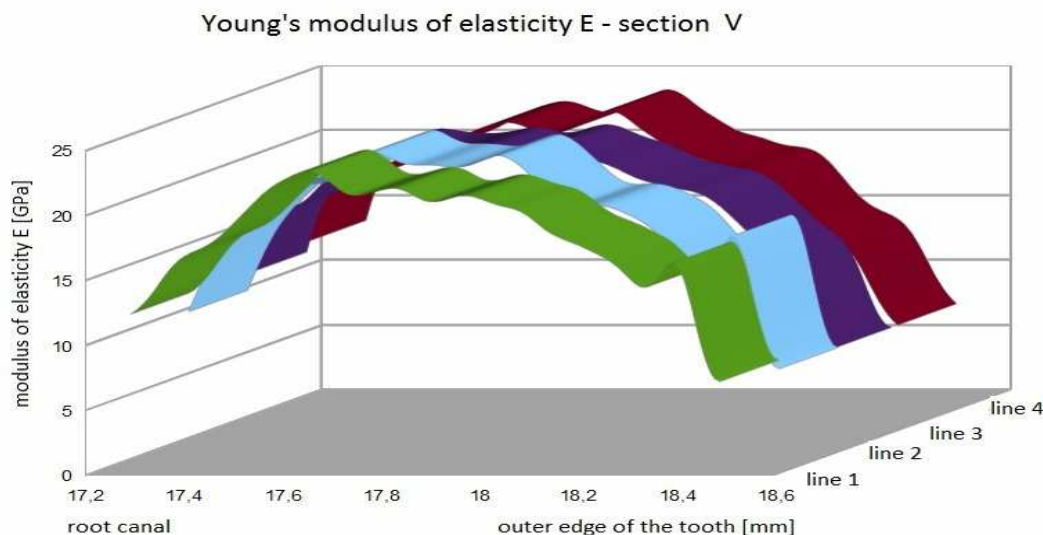
Indentace probíhala prostřednictvím řízené síly s maximální velikostí 30 mN, kdy rychlost zatěžování byla 360 mN/min, následovala 10 s pauza, při níž nanoindentor udržuje konstantní zatížení (maximální sílu 30 mN) a odtížení opět rychlostí 360 mN/min. Velikost hloubky vpichu při maximálním zatížení je patrná z mapy a její průběh koresponduje s průběhem modulu pružnosti po tloušťce stěny zubu.



Obr.6. – Závislost hloubky vpichu (vodorovná osa) na velikosti zatížení (svislá osa)

Pro stanovení vlivu patologických jevů a stáří zubu na vývoj modulů pružnosti bude třeba dalších měření.

se svislým směrem. Nejnižší hodnota modulu pružnosti v disto-mesiálním směru byla naměřena na rozhraní dentinu a kořenového kanálku 13 GPa a v dentinu na okraji s cementem 14 GPa. Nejvyšší hodnota byla naměřena ve střední části dentinu 24 GPa.



Obr.8- Modul pružnosti E v vestibulo-orálním směru v kořenové části –srovnání

V předložené studii se naměřené hodnoty výrazně neliší od hodnot uváděných v jednotlivých literaturách.

Pro stanovení vlivu patologických jevů a stáří zubu na vývoj modulů pružnosti bude třeba dalších měření.

V tabulce 1 jsou shrnuty údaje o mechanických vlastnostech dentinu. Z uvedených šetřeních lze konstatovat, že na jedné straně dentinu je anizotropní materiál a nanoindentační modul pružnosti je závislý na mikrostruktuře. Mechanické vlastnosti dentinu jsou větší když jsou zatížení aplikovaná rovnoběžně se směrem kanálků. Hodnoty modulů pružnosti se snižují s blízkostí zubní dřevě.

Tab.1 Nanoindentation elastic modulus and hardness of dentin²⁶

Autors	Surface and Site	Elastic Modulus (Gpa)
--------	------------------	-----------------------

Angker et al. ¹⁸	primary molars axial surface: outer dentin , middle dentin, inner dentin	16.33 \pm 3.8 17.06 \pm 3.09 11.59 \pm 3.95
Marshall et al. ¹⁹	axial surface: intertubular dentin, adjacent to DEJ	18.61~20.69
Tesch et al. ²⁰	axial surface - DEJ region	19.5
Fong et al. ²¹	axial surface	24.8 \pm 1.4
Mahoney et al. ²²	primary molars transversal section of mid-coronal dentin	19.89 \pm 1.92
Poolthong et al. ²³	position to tubule: perpendicular, parallel, perpendicular, parallel	27.23 \pm 0.63 23.10 \pm 1.01 27.20 \pm 1.73 21.30 \pm 1.01
Kinney et al. ²⁴	peritubular dentin intertubular dentin: outer dentin inner dentin	29.8 \pm 8.9 21.1 \pm 1.3 17.7 \pm 0.3
Van Meerbeek et al. ²⁵	axial surface	19.26

Literatura

- [1] MASTHAN, K.M.K. *Textbook of Human Oral Embryology, Anatomy, Physiology, Histology and Tooth Morphology* JP Medical Ltd, 2010. 275 p. ISBN 8-18-448892-0.
- [2] Available from: <http://aboutteeth.com.au/about-your-teeth/the-structure-of-a-tooth/>
- [3] G. Willems, J.P.Celis, P. Lambrechts, M. Braem, G. Vanherle *Hardness and Young's modulus determined by nanoindentation technique of filler particles of dental restorative materials compared with human enamel* Jurnal of Biomedical Materials Research, 1993. pp. 747–755 ISSN 1552-4965.

- [4] Kinney J.H., Balooch M., Marshall G.W., Marshall S.J. *A micromechanics model of the elastic properties of human dentin* *Arch Oral Biol*, Archives of Oral Biology, 1999. pp. 813–822 ISSN 0003-9969
- [5] Available from: http://www.med.muni.cz/histol/MedAtlas_2/MA_txt3-1-6-1.htm
- [6] Craig, R.G., Peyton, F.A. *Elastic and mechanical properties of human dentin*, 1958 *Journal of Dental Research* 1958. pp 710–718 ISSN 0022-0345
- [7] Tyldesley W.R., *The mechanical properties of human enamel and dentine*, *British Dental Journal* 1959. pp. 269–278 ISSN 0007-0610
- [8] Kinney J.H., Balooch M., Marshall G.W., Marshall S.J. *A micromechanics model of the elastic properties of human dentine*, *Archives of Oral Biology*, 1959. pp. 269-278 ISSN 0003-9969
- [9] Phillips R.W. http://www.google.com/books?hl=cs&lr=&id=ZtFwJCAiF3wC&oi=fnd&pg=PT12&dq=science+of+dental+materials&ots=3YS_skWMWY&sig=uHxqaXfE6E43K6bcjX_teifPoDk *Science of dental materials*, Philadelphia, W.B. Saunders Co., 1991. pp. 8-11 ISBN 9781437724189
- [10] Časopis Progresdent, 2008. ISSN 1211-3859
- [11] Gei, M., Genna, F., Bigoni, *An interface model for the periodontal ligament*, *Journal of Biomechanical Engineering*, 2002. pp. 538-546 ISSN 0148-0731
- [12] Craig R.G., Peyton F.A. *The microhardness of enamel and dentin*, *Journal of Dental Research*, 1958. pp. 661-668 ISSN 0022-0345
- [13] Angker L., Swain M.V. *Nanoindentation: application to dental hard tissue investigations*, *Journal of Materials Research*, 2006. pp. 1893–1905 ISSN 0884-2914
- [14] Angker L., Swain M.V., Kilpatrick N. *Micro-mechanical characterisation of the properties of primary tooth dentine* *Journal of Dental Research*, 2003. pp. 261–267 ISSN 0022-0345
- [15] V. Imbeni, R. K. Nalla, C. Bosi, J. H. Kinney, R. O. Ritchie *In vitro fracture toughness of human dentin*, *Department of Materials Science and Engineering*, 2002
- [16] Angker L., Swain M.V., Kilpatrick N. *Characterising the micro-mechanical behaviour of the carious dentine of primary teeth using nano-indentation*, *Journal of Biomechanics*, 2005. pp. 1535-1542 ISSN 0021-9290
- [17] Kinney J.H., Marshall G.W., Marshall S.J. *The mechanical properties of human dentin: a critical review and re-evaluation of the dental literature*, *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 2003. pp. 13-29 ISSN 1045-4411
- [18] L. Angker, M. V. Swain and N. Kilpatrick, *J. Dent.* **31**, 261-267 (2003).
- [19] G. W. Marshall, M. Balooch, R.R. Gallagher et al., *J. Biomed Mater. Res.* **54**, 87-95 (2000).
- [20] W. Tesch, N. Eidelman, P. Roschger, et al., *Calcif. Tissue Int.* **69**, 147-157 (2001).
- [21] H. Fong, M. Sarikaya, S. N. White, et al., *Mater. Sci Eng. C* **7**, 119-128 (2000)
- [22] E. Mahoney, A. Holt, M. V. Swain, et al., *J. Dent.* **28**, 589-594 (2000).

- [23] S. Poolthong, M. V. Swain, T. Sumii, et al., *J. Dent. Res.* **77**, 847, (1998).
- [24] J. H. Kinney, M. Balooch, S. J. Marshall, et al., *J. Biomech. Eng.* **118**, 133-135 (1996)
- [25] B. Van Meerbeek, G. Willems, J. P. Celis, et al., *J. dent. Res.* **72**, 1434-1442 (1993).
- [26] L. Angker and M. V. Swain, *Journal of Materials Research* **21**, 1893-1905 (2006).