



INŽENÝRSKÁ MECHANIKA 2005

NÁRODNÍ KONFERENCE

s mezinárodní účastí

Svratka, Česká republika, 9. - 12. května 2005

NUMERICAL MODELLING OF INTERACTION BETWEEN MAQUETTE OF SKULL AND PROTECTIVE HELMET

V. Krumphanzl, M. Micka*

Summary: *The article deals with development and validation of Finite Element model of bicycle protective helmet with static load. Static load of the model of bicycle protective helmet is simulated using Finite Element system ANSYS. The standardized dummy head used in standard laboratory tests is evaluated using simple contact analysis. The aim of the project is to obtain details about contact forces and stresses between the human head maquette and the helmet, which will be used for future development of protective aids as well as for computer simulation of more complex loading during the traffic accident.*

1. Úvod

V důsledku obrovského rozvoje motorismu v posledních desetiletích se značně zvýšil i počet dopravních nehod a s tím současně i usmrčených osob při těchto nehodách. Třetinu usmrčených tvoří chodci, protože z hlediska vzniku poranění jsou nejvíce postiženi, neboť v momentu střetu s vozidlem nejsou ničím chráněni, další takovou skupinou jsou cyklisté, kteří také mají minimální ochranu při střetu s vozidlem. Nejčastější poranění se vyskytuje na hlavě (82 %), následuje poranění dolních končetin (58 %) a s výraznějším odstupem poté poranění ostatních částí trupu a horních končetin. Na rozsah a závažnost dopravní nehody má vliv především hmotnost vozidla a jeho rychlost, dále směr nárazu a s tím související pohyb po nárazu. Závažnost poranění nemusí vždy přímo úměrně záviset na závažnosti dopravní nehody.

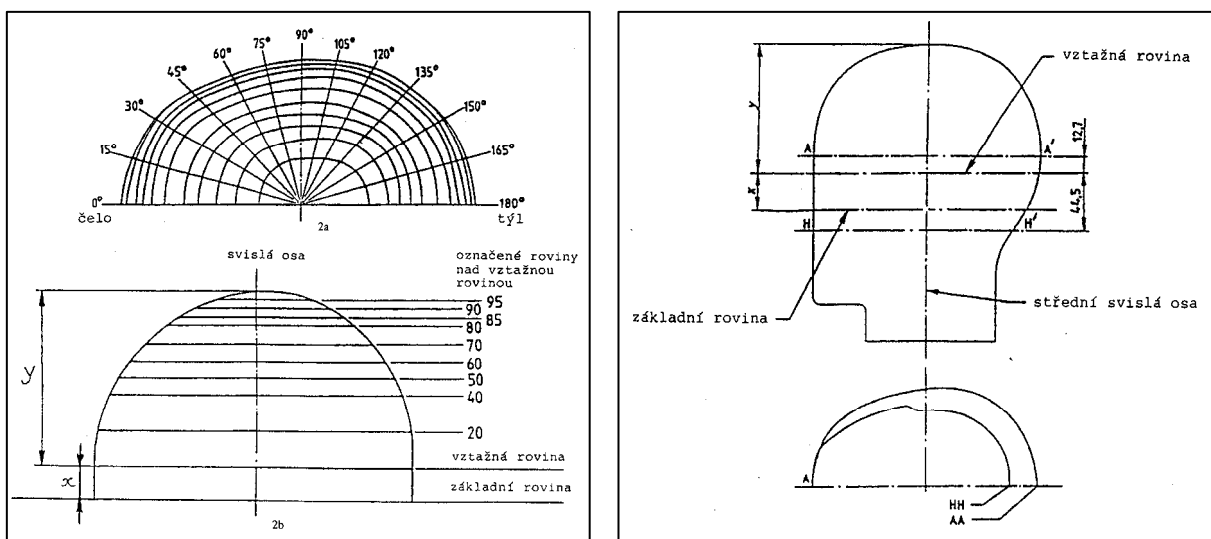
Při dopravní nehodě jsou nejvíce postiženi řidiči jednostopých vozidel, ať už jsou to cyklisté či motocyklisté. Dochází tak k čelním nárazům na překážku, což způsobuje těžká poranění obličeje až zlomení spodiny lebeční a pohmoždění mozku. Pokud dojde ke kontaktu v oblasti temenní kosti, dochází tak ke zlomeninám kolem týlního otvoru s pohmožděním mozkového kmene. Při těchto pádech dochází k největšímu poškození hlavy a končetin. Ochranná helma chrání hlavu řidiče jednostopého vozidla jen do jisté míry, neboť při vyšších rychlostech její účinnost není tak efektivní. Poranění hlavy je závažným problémem, neboť mnohdy dochází k trvalým následkům a proto je nutné porozumět deformačním pochodům v lebeční kosti, které vznikají během nárazu. Tento proces je velice důležitý, neboť díky němu dochází ke zdokonalování ochranných pomůcek a bezpečnostních předpisů.

*Ing. Václav Krumphanzl, Doc. Ing. Michal Micka, CSc. Fakulta dopravní, ČVUT v Praze, Na Florenci 25, Praha 1; email: xkrumphanzl@fd.cvut.cz, micka@fd.cvut.cz

Nejzávažnějšími poraněními hlavy jsou zlomeniny, které dělíme na zlomeniny liniového charakteru a zlomeniny vpáčené. Liniové zlomeniny se vyskytují nejčastěji v obličejové části lebky a jsou to tak zvané Le Fortovy lomové linie (I-III), jedná se o odlomení obličejové části lebky. Druhou skupinou jsou tzv. vpáčené zlomeniny, které se převážně vyskytují na mozkové části lebky a tudíž jejich následky jsou závažnější. Při poranění mozkové části dochází k zlomeninám kostí lebky, k poranění mozku nebo jejich kombinaci. Poranění je vždy způsobeno silami buď vnějšími nebo setrvačnými. Vnější síly statické jsou z pohledu poranění hlavy takové, které nemění svou velikost v čase větším než 200 ms, dynamické účinky působí v čase kratším než 50 ms a jejich původem může být vnější rázová síla nebo změna pohybového stavu soustavy. Kontaktní poranění statickou silou je dáno překročením meze pevnosti kosti a následnou zlomeninou. Kontaktní poranění dynamickou silou způsobuje vznik rázové vlny, která se šíří kontinuem struktur, způsobuje poranění mozku i na opačné straně lebky (Par contre – coupe efekt), než bylo místo působení vnější síly a může rovněž způsobit lineární zlomeniny spodiny lebeční. Statisticky zpracované případy ukazují, že častěji se při dopravních úrazech vyskytuje kontaktní poranění, které končí ve 22 % smrtí, případů způsobených zrychlením je méně, avšak přes 60 % končí smrtí. Z toho vyplývá, že je důležité si chránit hlavu. K ochraně hlavy nám slouží cyklistická přilba. S jejím použitím předejdeme až 83 % fraktury lebky, 53 % poranění měkkých částí hlavy a 48 % poranění mozku.

2. Tvorba modelu

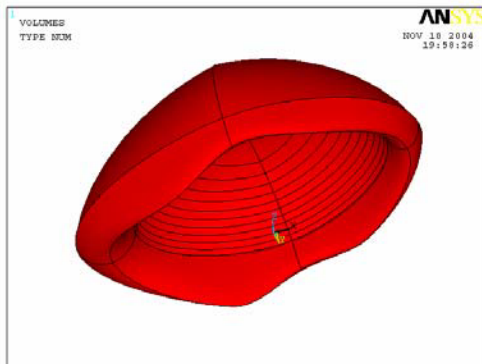
Tvorba modelu a celé statické zatížení je provedeno systémem MKP v programu ANSYS. Geometrický model makety hlavy byl vytvořen na základě normy [1] ČSN EN 960 Změna A1 83 2140 „Maketa hlavy pro měření ochranných přileb“. Tato norma poskytla veškeré nezbytné údaje k tvorbě makety hlavy, tj. veškeré rozměry modelu. Jedná se nejen o jednotlivé číselné údaje ale také o schémata pro tvorbu modelu makety hlavy. Jednotlivá data jsou uspořádána do tabulek, kde jsou rozdělena do jednotlivých rovinných řezů, které jsou rovnoběžné se vztáznou rovinou. Velikost přilby je dána vnitřním obvodem. Tato norma nám poskytuje několik velikostí přileb. Pro tvorbu modelu makety hlavy a její testování byla vybrána střední velikost makety s označením K.



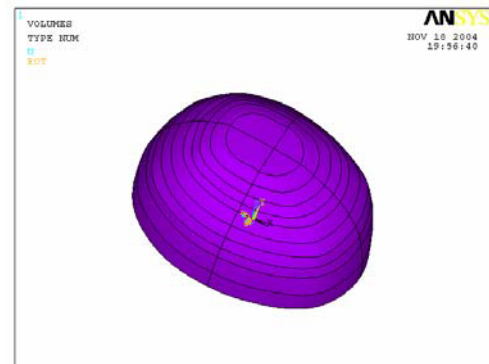
Vstupní údaje pro konstrukci modelu makety hlavy

Aby bylo možné použít pro různé velikosti přileb jednotný model, byl vytvořen v jazyce APDL program pro tvorbu uzlových bodů, splajnových křivek, ploch a objemu hlavy. Tomuto modelu makety hlavy byly nadefinovány vlastnosti dřevěné makety používané pro experimentální výzkum ochranných pomůcek. Je zde použit trojrozměrný 20ti uzlový kvadratický prvek – SOLID95, jímž je vyplněn celý objem makety hlavy. Tvorba modelu hlavy je sestavena z několika na sebe navazujících vstupních souborů, kdy je postupně vynášena síť bodů, splajn, ploch atd. Po vytvoření celého objemu jsou vyznačeny a pojmenovány plochy, které budou tvořit kontaktní prvky. Modelu makety hlavy byl předdefinován lineární isotropní materiál s koeficientem tření 0,5; modulem pružnosti v tahu 10 000 MPa a Poissonovým číslem 0,2. Po vytvoření modelu hlavy se načítají další vstupní soubory pro ochrannou přílbu, zatížení a kontakty mezi maketou hlavy a přílbou.

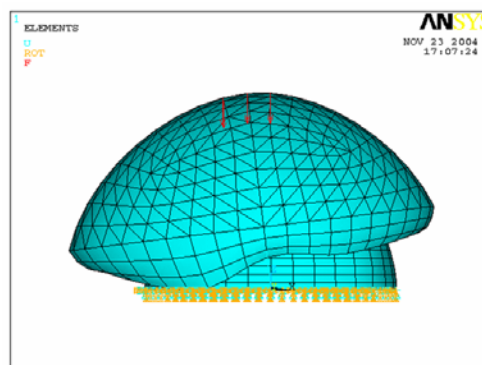
Model přílby je opět načítán do programu ANSYS jako samostatný vstupní soubor, který je ovšem také tvořen několika na sebe navazujícími vstupními soubory pro tvorbu modelu přílby. V této práci byl vytvořen model běžné cyklistické přílby o velikosti obvodu hlavy 55-60 cm a opět zde byl použit trojrozměrný 20ti uzlový kvadratický prvek SOLID95, který vyplňuje celý objem přílby. Další samostatnou částí je vstupní soubor pro sestavení modelu hlavy s nasazenou ochrannou přílbou. Aby byla zajištěna dostatečná interakce mezi modelem hlavy a přílbou, byl zde použit prutový prvek LINK10, který nahrazuje upevňovací zařízení přílby (řemínky). Mezi přílbou a temenem lebky jsou v průběhu načítání vstupního souboru vytvořeny kontaktní prvky z plochy na plochu TARGET169 a CONTACT172. Poslední částí je vstupní soubor s údaji o okrajových podmínkách modelované soustavy a zatížení vnějšími silami na helmu.



Objem modelu makety přílby



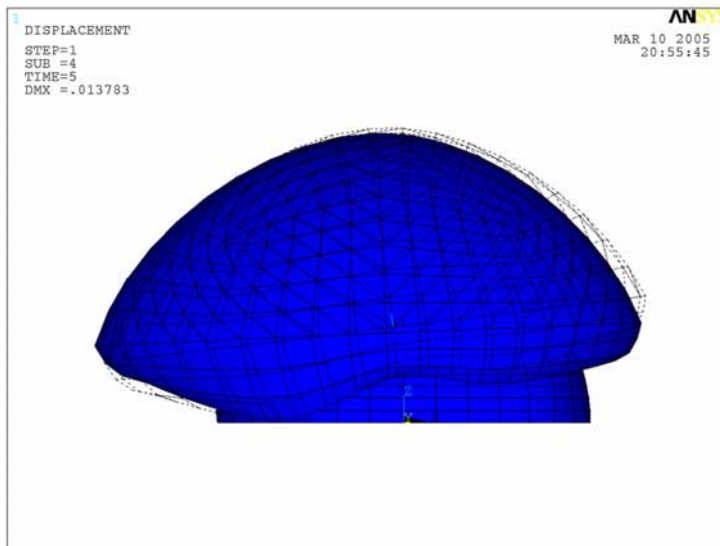
Objem modelu makety hlavy



Strukturální prvky obou modelů s okrajovými podmínkami a po zatížení

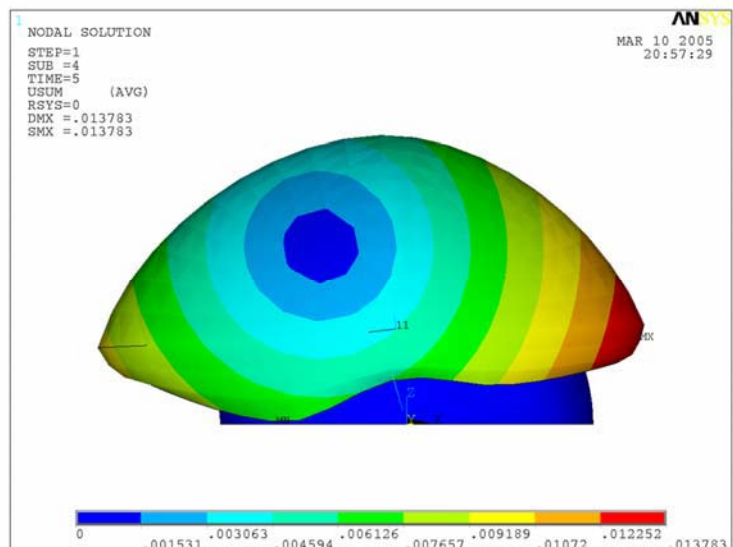
3. Výsledky

Na následujících obrázcích jsou znázorněny nejdůležitější grafické výstupy z výpočtu v programu ANSYS v závislosti na jednotlivých vstupních údajích. Model makety hlavy byl ve spodní části vetknut. Celkové zatížení rozložené na 9 uzlů je 1360 N, tato hodnota byla zvolena v závislosti na četných experimentech [4], které byly provedeny v Biomechanis Laboratory Department of Neurosurgery Wayne State University of Detroit, Michigan. Vlivem kontaktu povrchu modelu hlavy a vnitřní plochy přilby je na obrázku celkového posunutí vidět natočení helmy.

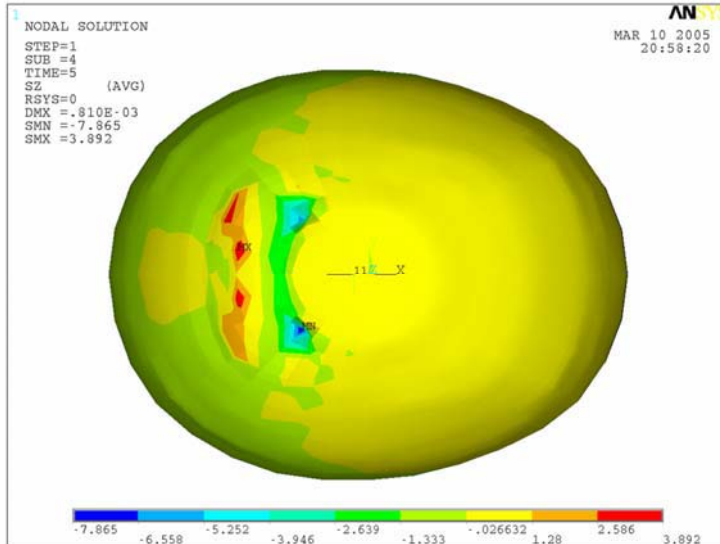


Deformovaný a nedeformovaný tvar modelu makety hlavy a cyklistické přilby

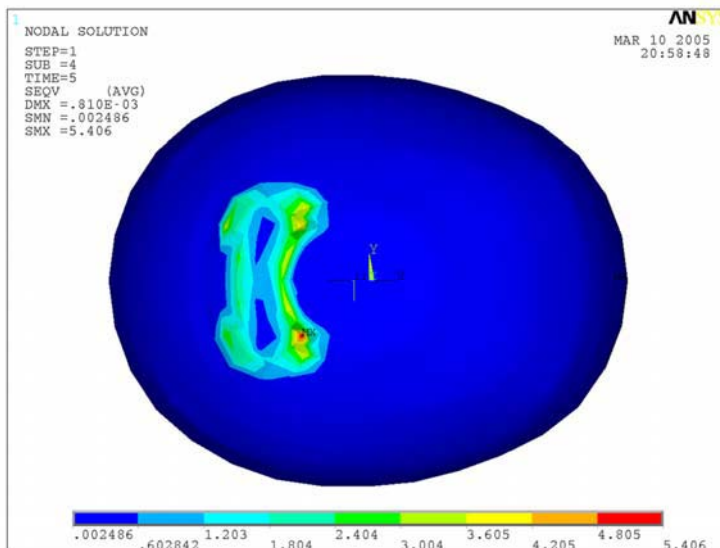
Celkový posun



Na dalších dvou obrázcích je vidět napětí σ_z na povrchu hlavy, resp. srovnávací napětí dle HMM. Hodnoty těchto napětí nebo odvozené síly mohou být použity jako vstupy pro další studie napjatosti lebky nebo přílby.



Napětí σ_z pro model hlavy



Napětí σ_{HMM} pro model hlavy

Výsledky analýzy jsou rovněž srovnávány s výsledky numerické analýzy provedené na detailním modelu lidské lebky vytvořené ze série CT snímků s rozlišením 512 x 512 pixelů (více viz. [5]).

Práce byla řešena jako součást výzkumného záměru AV0Z 20710524 a grantu GAČR 103/05/1020.

4. Literatura

1. ČSN EN 960 Změna A1 83 2140 Maketa hlavy pro měření ochranných přileb
2. Kovanda Jan, Šatochin Vladimír, Pasivní bezpečnost vozidel, Vydavatelství ČVUT, Praha 2000
3. Jíra J., Jírová J., Kalika M., Klečáková J.: Poškození lidské lebky při dopravních nehodách. International conference Transportation and Telecommunication in the 3rd Millenium, 10th Anniversary of the Fondation of the Faculty Transportation Sciences. Prague, pp.67-70, May 26-27, 2003
4. Impact, skid and retention tests on a representative group of bicykle helmets to determine their head-neck protective characteristics, Voigt R. Hodgson, Ph.D., Direktor Biomechanice Laboratory Department of Neurosurgery Wayne State University Detrit, Michigan, February 1990
5. Jiroušek O., Jírová J., Jíra J. Multiresolutional finite element models of human skull based on data from computer tomography, Acta of Bioengineering and Biomechanics, Vol. 5, pp. 214-217, Sep. 2003.