

THE APPLICATION OF INTERACTIVE COMPUTATIONAL SYSTEM (ICS FEM) IN ENGINEERING.

I. Eisner*, M. Lizoň*, R. Melicher**, M. Žmindák**

Summary: *The objective in this paper is briefly describing of the Interactive Computing System (ICS). This software, which is mainly based on the Finite Element Method, is now used for finite element analyses of practical industrial problems and structures. However in this system are also implemented Boundary Element Method and Strip Element Method. Nowadays this system consists of various modules that are used for calculation of displacements and stresses of structures, heat transfers and field problems. Of course, ICS is invested with pre-processor for preparation of the input data and post-processor for analyzing of obtained results.*

1. Úvod

Metóda konečných prvkov (MKP) je stále dominantná v návrhu mnohých inžinierskych problémov. Pre skutočnú analýzu je potrebné mať vhodný softvér. Najpohodlnejší spôsob ako zaistiť softvérove vybavenie je implementácia niektorého zo známych komerčných programov, ako sú napr. systémy ADINA, ANSYS, NASTRAN, MSC/MARC, SYSTUS, FLUENT, COSMOS/M atď. Pomocou MKP programov môžeme riešiť množstvo úloh najrôznejších typov. Adaptácie takýchto systémov sú však málokedy možné. Zasahovanie do takýchto systémov je navyše riskantné a odporúča sa len autorskému kolektívu systému. Ak sa miesto programového systému použije vhodne usporiadaný súbor podprogramov typu „package“, podobne obtiaže odpadajú.

Modelovanie metódou konečných prvkov (MKP) alebo FEM (Finite Element Method), alebo FEA (Finite Element Analysis) predstavuje simuláciu fyzikálneho procesu numerickou metódou. Je to viac než príprava modelu na úrovni vygenerovanej siete konečných prvkov. Zručnosť modelovania je založená na schopnosti posúdiť a vizualizovať fyzikálne správanie sa modelu. Túto zručnosť je možné dosiahnuť praxou a kritickým hodnotením vypočítaných výsledkov. Predpokladom úspešnej simulácie mechanických procesov je dobrá znalosť teórie MKP, detailné oboznámenie sa s fyzikálnou podstatou riešeného problému a rozumná predstava o tom aký typ výsledkov postačí pre kvalitné vyhodnotenie úlohy. Pojem teória nemá význam niečoho vzácného nepraktického. Je to prostriedok na získanie znalostí o pravidlách postupu od definovania úlohy cez zostavenie modelu až po vyhodnotenie výsledkov. Takmer všetky manuály softvérov MKP preto obsahujú základnú teoretickú časť.

* Igor Eisner, Ing. Ivan Lizoň, WUSAM Engineering, s. r. o., Š. Višňovského 8, 960 01 Zvolen

** doc. Ing. Milan Žmindák, CSc., Ing. Richard Melicher, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 1, 010 26 Žilina

Často sa však stáva, že ani manuály nepostačujú na získanie predstavy o požadovanom matematickom a fyzikálnom modeli, ktorý chceme pri modelovaní využiť. Z tohoto dôvodu je žiadúce, aby mal používateľ programu MKP k dispozícii základnú literatúru k danej problematike.

V tomto príspevku stručne opíšeme možnosti systému Interaktívneho Výpočtového Systému MKP (IVS MKP), ktorého vývoj začal v sedemdesiatych rokoch minulého storočia v WUSAM Zvolen. Softvér má modulovú štruktúru a umožňuje analytikom, projektantom a konštruktérom získavať polia posunutí a napätí v navrhovaných konštrukciách s následným vyhodnocovaním životnosti konštrukcií. Numerické výsledky sú porovnávané s experimentálnymi výsledkami získanými z experimentálnych a prevádzkových testov.

Posledná verzia programového systému bola vyvíjaná na báze operačného systému MS WINDOWS [2].

2. Koncepcia, vlastností a spôsob použitia IVS MKP

Naším cieľom je vyvinúť systém, ktorý by bol efektívne využívaný pri inžinierskych analýzach a návrhu konštrukcií. Systém IVS MKP sa vyvíja a používa v WUSAM Engineering s.r.o. pre riešenie praktických problémov v strojárskom priemysle. Výsledky sú priebežne porovnávané s experimentmi a inými konečno prvkovými softvérmi. Z týchto porovnaní nám vychádza, že ICS nám dáva efektívne výsledky.

Každý bod základnej kostry reprezentuje programový modul, ktorý je ovládaný rovnomenným menu, resp. jeho príkazovými tlačítkami. Väčšina programových modulov je napísaná v programovacom jazyku COMPAQ Visual FORTRAN, ktorý je kompatibilný s programovacím jazykom Visual C++ spoločnosti MICROSOFT. V programovacom jazyku Visual FORTRAN sú napísané aj všetky menu funkcie, teda prostriedky na ovládanie systému IVS MKP ako celku. Program na prácu s grafikou je napísaný v programovacom jazyku TMT PASCAL, ktorý má bližšie k jazyku BORLAND Pascalu v ktorom bol pôvodne tento grafický modul napísaný.

Kostra systému predstavuje jednu z najdôležitejších častí pri tvorbe systému ako celku. Jej úspešné zvládnutie umožní používateľovi rýchle sa orientovať a využívať grafické prostredie WINDOWS ako celok. Priama náväznosť medzi jednotlivými výpočtovými modulmi je riadená používateľom prostredníctvom viacúrovňového menu, ktoré mu umožní pomerne rýchlo pochopiť štruktúru systému ako celku. Ku každému bodu MENU je priradený príslušný HELP, ktorý mu poskytne základné informácie o funkcii, ktorá sa bude vykonávať po zvolení príslušnej voľby. Základný systém IVS MKP pozostáva z programových modulov, ktoré sú rozdelené do siedmich hlavných častí. Tieto časti a ich podskupiny vytvárajú základnú kostru celého programového systému. IVS MKP má stavebnicovú, modulovú štruktúru, ktorú je možné prispôbiť požiadavkám používateľa. Táto štruktúra umožňuje i jednoduché dopĺňanie nových algoritmov a metód do systému.

Grafické prostredie IVS MKP (obr. 1) je navrhnuté v prostredí WINDOWS tak, aby v plnej miere umožnilo používateľovi jednoducho pracovať s týmto systémom. Teda ovládať jeho jednotlivé časti tak, aby sa mohol plne venovať riešenej konštrukčnej úlohe. Grafické prostredie IVS :

- **zohľadňuje** možnosti operačných systémov MS WINDOWS ako i možnosti IVS,
- **zaraduje** programový systém do prostredia WINDOWS s interaktívnymi možnosťami využívania všetkých jeho možností,
- **umožňuje** vizuálnu orientáciu užívateľa v programovom systéme a jeho ovládania

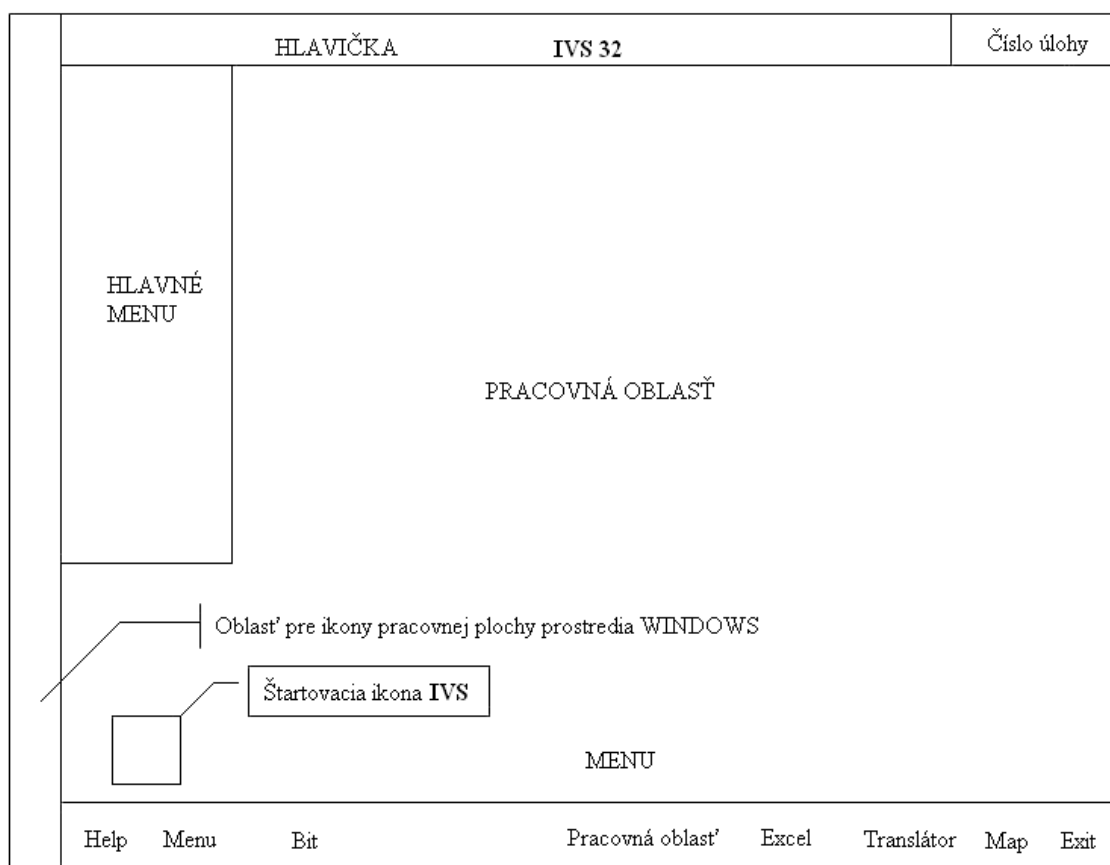
pomocou logickej štruktúry viacúrovňového MENU,

- **vylepšuje a sprehľadňuje** prácu pri riešení úloh metódy konečných prvkov.

Rozdelenie adresárov v Interaktívnom výpočtovom systéme MKP zabezpečuje prehľad o umiestnení jednotlivých programových modulov. Štruktúru a počet adresárov je možné meniť na základe rozšírenia IVS MKP o nové možnosti.

Napríklad, príbuzné výpočtové metódy ako sú metóda hraničných prvkov, metóda konečných objemov a pod. alebo o nové výpočtové postupy v týchto metódach, ako je riešenie nelineárnych úloh mechaniky, teplotné polia, prúdenie kvapalín, magnetické polia a pod. Hlavný adresár Interaktívneho výpočtového systému MKP je rozdelený:

- FEM - Moduly pre výpočet matíc tuhosti, hmotností a napätí jednotlivých prvkov,
- FEM1 - Výpočet vlastných frekvencií metódou iterácií podpriestoru a hľadaním vlastných hodnôt determinantu,
- FEM2 - Riešenie sústavy lineárnych algebraických rovníc,
- FEM3 - Riešenie dynamických úloh metódami priamej integrácie,
- GEN - Generovanie sietí konečných prvkov,
- INP - Zadávanie vstupných hodnôt,
- INP1 - Programy databanky,
- MOD - Funkcie geometrického modelára IVSMOD,
- OPT - Moduly na optimalizáciu šírky pásu matice tuhosti,
- OUT - Moduly na vypisovanie výstupných hodnôt z riešenej úlohy.



Obr. 1 Schematické znázornenie „Grafického prostredia IVS“

V súčasnej dobe IVS MKP obsahuje tieto prvky (obr. 2):

1. prút 3-D,
2. nosník 3-D,
3. rovinná napätosť, rovinná deformácia, rotačne symetrický prvok,
4. membránový prvok,
5. rotačne symetrický prvok,
6. tenká doska a teká škrupina,
7. hrubá škrupina,
8. hrubá doska,
9. prvok priestorovej napätosti,
10. okrajové prvky.

Všetky prvky, okrem rotačne symetrického prvku, je možné vzájomne kombinovať.

V každom adresári sú príslušné časti MENU, ktoré spúšťajú jeho moduly. Jednotlivé moduly sú prepojené prostredníctvom dátových súborov. Dátové súbory sú rozdelené na:

- vstupné,
- pomocné,
- výstupné.

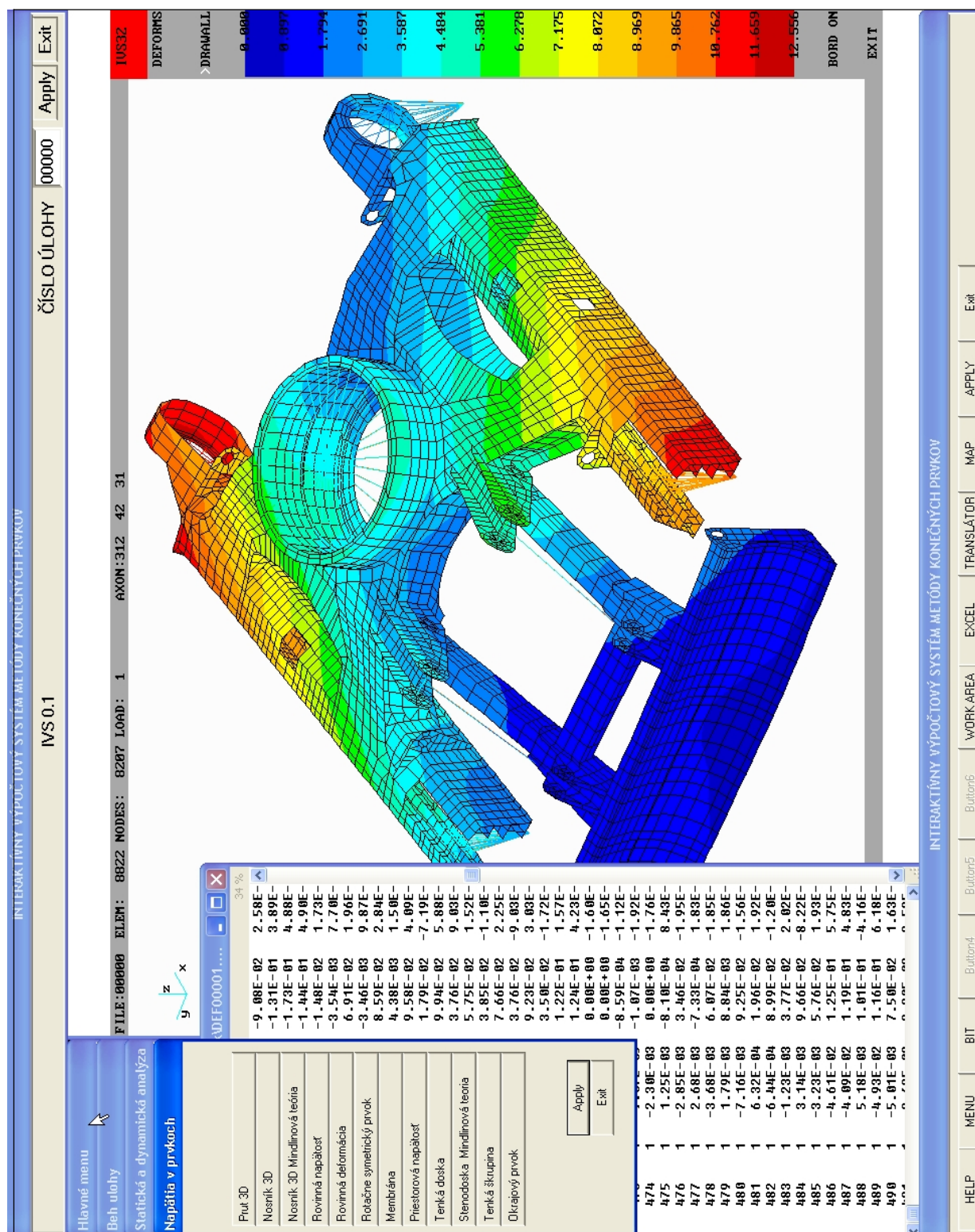
Systém umožňuje riešiť statickú a dynamickú analýzu konštrukcii v lineárnej oblasti. Systém pozostáva zo samostatných modulov. Ich zoradovaním zodpovedajúcim potrebe a možnostiam používateľa je možné meniť veľkosť a schopnosti systému. Systém je riadený viacúrovňovým menu. IVS MKP obsahuje databanku vstupných a výstupných hodnôt. Prostredníctvom databanky je systém prepojený s ostatnými systémami CAD. Súčasťou systému je podsystem IVSMOD, ktorý umožňuje geometrické modelovanie konštrukcie. Súčasťou geometrického modelovania je vytváranie sietí konečných prvkov. Geometrický model konštrukcie vytvárame pomocou:

- rovinných oblastí,
- priamkových plôch,
- rotačne symetrických plôch.

Systém lineárnych algebraických rovníc je v IVS MKP riešený pásovým algoritmom. Na optimalizáciu šírky pásu je možné využiť optimalizačný program. V lineárnej elastostatickej úlohe sú počítané deformácie v jednotlivých uzloch konštrukcie a napätia v každom prvku, v závislosti na zadaných vonkajších silách, resp. teplotách.

3. Modul grafického zobrazovača

Interaktívny grafický zobrazovač je integrovaný do prostredia IVS MKP ako celku. Jeho vytvorenie naväzuje na možnosti zobrazovača pre riešenie lineárnych úloh s rozšírením jeho možnosti o zobrazovanie animácií nelineárneho deja konštrukcie pri jej deformácií a to hlavne v oblasti plastických deformácií materiálu.



Obr. 2 Pracovné prostredie IVS MKP, Menu systém – typy prvkov

Do zobrazovača sú postupne implementované nové typy nelineárnych prvkov, ktoré sa stavajú súčasťou IVS MKP. Pre zachovanie spätnej kompatibility s pôvodným systémom IVS MKP a pre i eventuálneho budúceho importovania systému do iných OS ako Windows bolo pre vývoj grafického zobrazovača zvolené integrované vývojové prostredie DELPHI, ktoré je vhodné na prácu s grafikou. Dôležitou požiadavkou je i plná schopnosť pracovať v celom rozsahu 32 bitových OS Windows tzn. v rozsahu Windows 95 až Windows XP a ponechanie si možnosti implementovania aj do budúcich 64 bitových OS Windows.

Základom celého grafického zobrazovača je rozdelenie plochy monitoru na oblasť komunikačnú a časť pracovnú. Komunikačnú časť tvorí aktívna a pasívna lišta, kde aktívna lišta slúži na interaktívnu komunikáciu a pasívna lišta má informačný charakter. Ďalej ako súčasť komunikácie je viacnásobné a viacúrovňové menu pre výber aktuálnej činnosti.

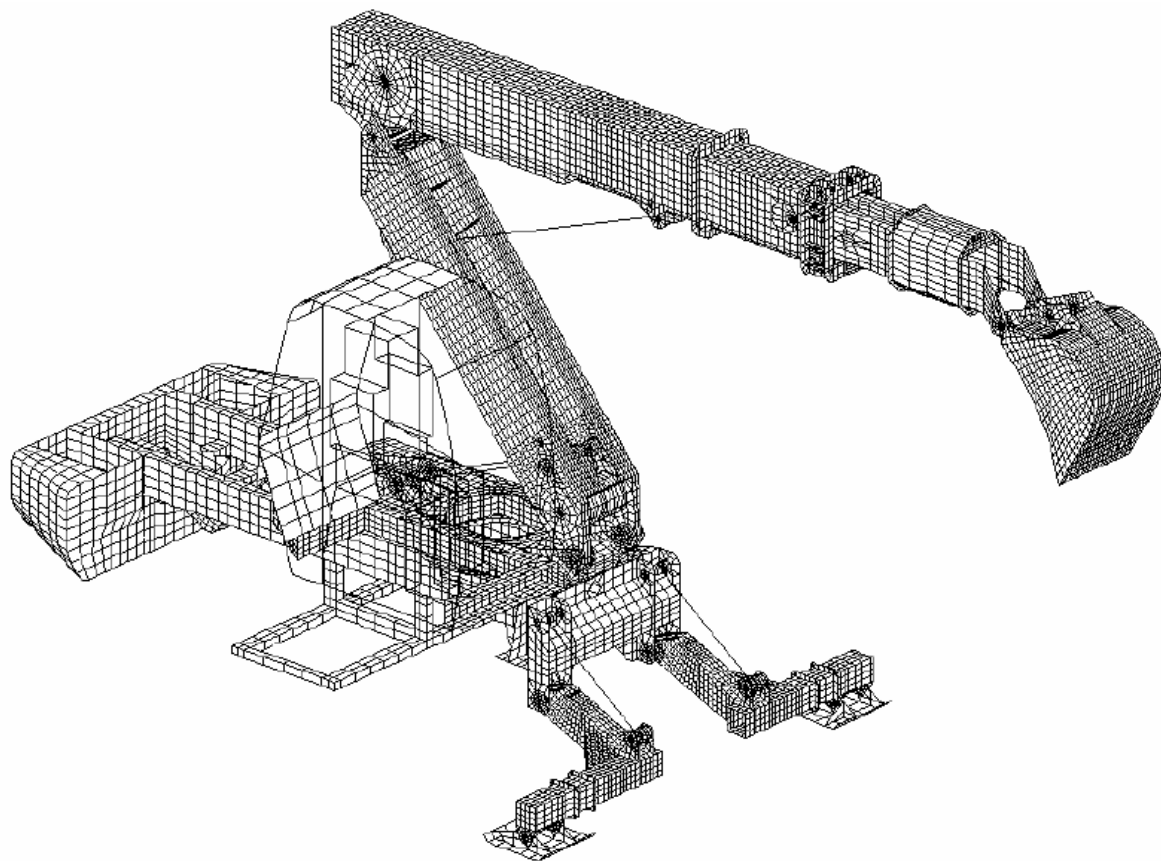
Menu systém je vytvorený ako interaktívny v tom slova zmysle, že jednotlivé voľby sú pre používateľa prístupné iba v tom prípade, ak je príslušná akcia definovaná. Základné ovládanie programu je vytvorené tak, aby i v prípade poruchy myši bolo možné program ovládať iba cez klávesnicu. Činnosť zvolená v komunikačnej oblasti je zobrazená v pracovnej oblasti.

Takto vytvorené konštrukcie je možné medzi sebou vzájomne spájať v jeden celok. Geometrické modelovanie konštrukcie je možné kontrolovať prostredníctvom grafického zobrazovača. Na obr. 3 je ako príklad zobrazený model konštrukcie rýpadla a na obr.4 model MKP podvozku rýpadla aj s vykreslením okrajových podmienok. Zobrazovač v súčasnom stave umožňuje:

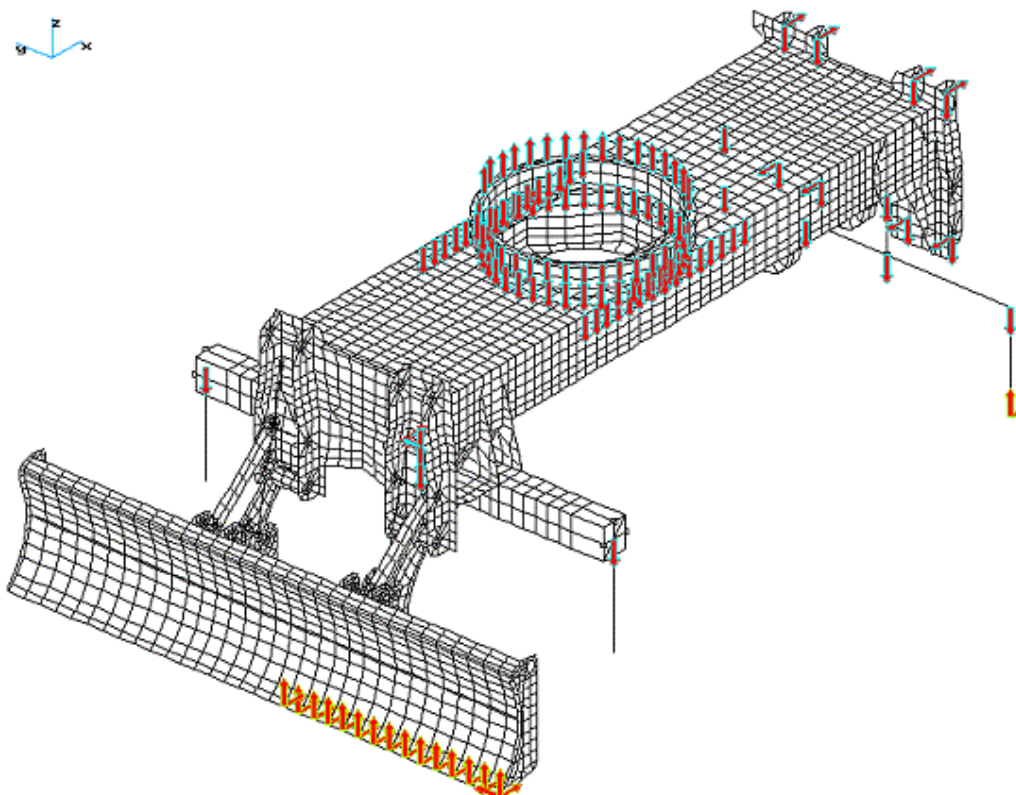
- Načítať a zobraziť model konštrukcie alebo jeho časť či detail v ľubovoľnej polohe ako v pôvodnom, tak v deformovanom stave.
- Zobrazenie je možné ako s viditeľnosťou, tak i bez nej.
- Vyhľadávať jednotlivé uzlové body alebo elementy a zobrazovať si o nich informácie
- Zobraziť izolínie deformácií daného modelu.
- Zobraziť hrúbku elementov, prípade použitia plošných elementov.
- Zobraziť napätia v jednotlivých zložkách, ktoré sú pre daný element definované vo forme napätí v ťažisku, alebo vo forme izolínií napätí.
- Zobraziť napäťové „kríže“ hlavných napätí na danom prvku pre vizuálnu kontrolu smeru ich toku.
- Zobraziť vstupné osamelé sily a okrajové podmienky modelu konštrukcie.
- Exportovať geometriu modelu vo formáte DXF a DWG.

V dynamickej analýze konštrukcií má IVS nasledovné možnosti

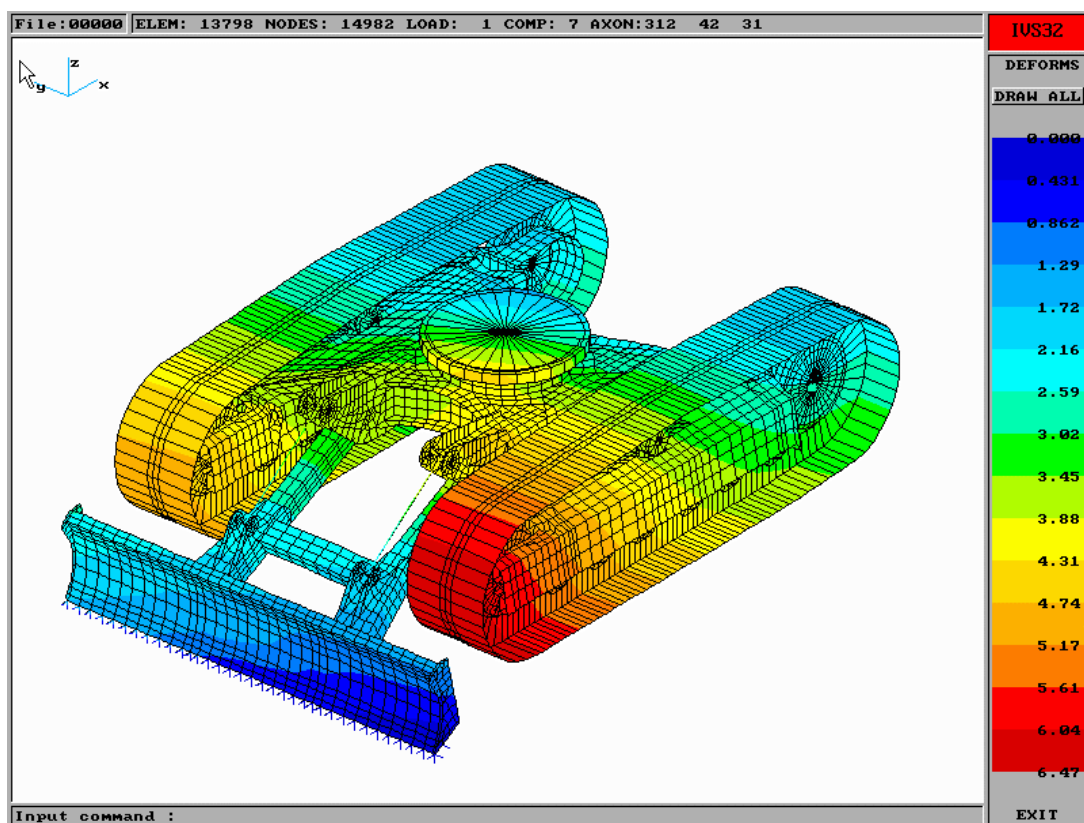
1. Výpočet vlastných frekvencií a vlastných tvarov:
 - metódou hľadania determinantu,
 - metódou iterácie podpriestoru.
2. Výpočet odozvy na časovo premenlivú silu metódami priamej integrácie:
 - metóda lineárnych zrýchlení,
 - Wilsonova theta metóda,
 - Newmarkova metóda,
 - metóda Foxon – Goodwinova,
 - Houboltova metóda.



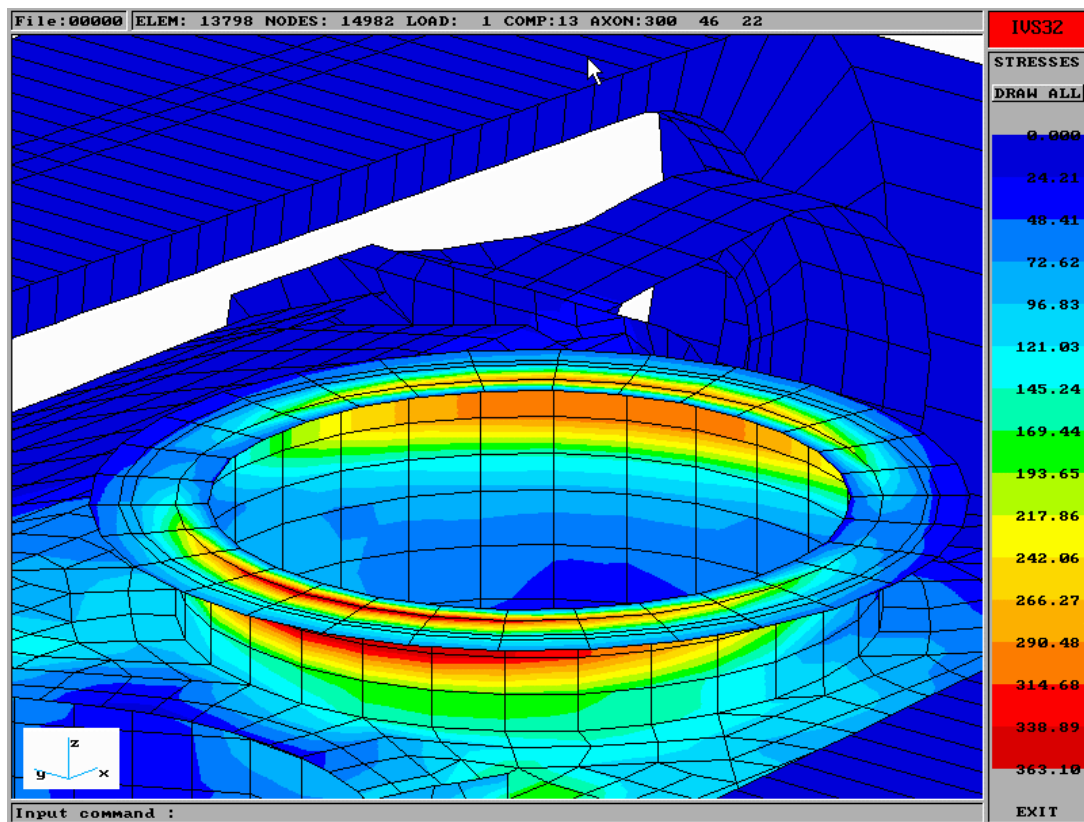
Obr. 3 Model MKP konštrukcie rýpadla UPS



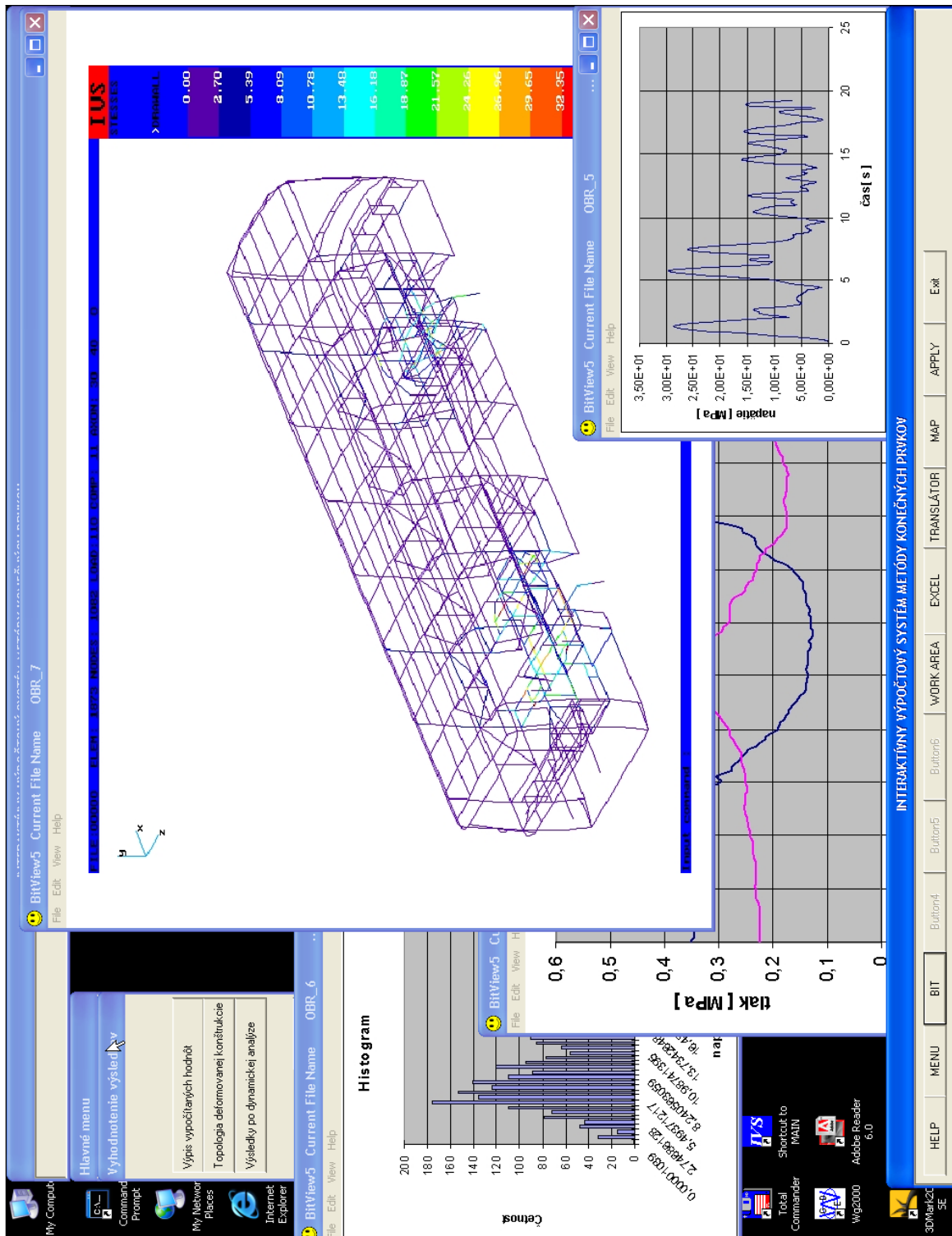
Obr. 4 Model MKP podvozku rýpadla (okrajové podmienky)



Obr. 5 Priebeh posunutí v konštrukcii pásového podvozku rýpadla



Obr. 6 Priebeh Von Missesových napätí v časti konštrukcii rýpadla



Obr. 7 Výsledky prechodovej analýzy autobusu

Na obr. 5 je vykreslený priebeh posunutí pásového podvozku rýpadla a na obr. 6 sú vykreslené Von Missesové napätia.

Dynamické zaťažovanie konštrukcie, sily a deformácie premenné v čase je možné do vstupov zadávať tromi spôsobmi:

- zadáním tabulky,
- definováním časovej funkcie,
- digitálnym záznamom z merania.

Grafické zobrazovanie vstupných hodnôt a to geometrického modelu konštrukcie, vonkajších síl, okrajových podmienok a výstupných hodnôt a to v priebehu deformácie, napätí a vlastných tvarov umožňuje grafický zobrazovač (obr. 7).

4. Predpokladaný ďalší vývoj systému

Oblasti na ktorých sa práve pracuje sú:

- návrh a vývoj 32 bitového grafického rozhrania pre nelineárne problémy o ktorý bude rozšírení už existujúci systém,
- numerické simulácie zaťažovaní nosných konštrukcií v oblastiach veľkých deformácií a materiálovej plasticite, kde sa očakáva viactelesový kontakt,
- kontaktná formulácia využívajúca Trefftzove a kontaktné konečné prvky [3],
- implementácia hraničných bezsieťových metód (Boundary Meshless Method - BMM) pre jednoduché a viacdoménové (MD) formulácie [4].

5. Acknowledgements

Autori tohto príspevku ďakujú Agentúre na podporu vedy a techniky za finančnú podporu (Projekt č. APVT-99-014304)

6. Literatúra

- [1] K.J Bathe, On the development of Finite Element Methods and Software, *In: Proceedings of 9 th Conference on Numerical Methods in Continuum Mechanics*, 9-12 th September 2003, Žilina.
- [2] I. Eisner, I. Lizoň. The complex interactive computational system for machine building mobile working machines. *Technical report APVT-20-003102*, Zvolen, 2003 (in Slovak).
- [3] V. Kompiš, M. Toma, M. Žmindák, M. Handrik: Use of Trefftz functions in non-linear BEM/FEM. *Computers & Structures*, **82**: 2351-2360, 2004.
- [4] V. Kompiš, M. Štiavnický, M. Kompiš, M. Žmindák. Trefftz interpolation based multi-domain boundary point method. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, **29**: 391-396, 2005.