

Ing. Pavel D o l a n s k ý, VÚHU

Využití metody konečných prvků při výpočtu napětí v ocelových konstrukcích

Ausnutzung der EDV-Methode für Spannungsberechnung in der Stahlkonstruktionen

Dieser Beitrag bringt einen allgemeinen Überblick von Rechenmethoden in der Ingenieurpraxis bei der Stahlkonstruktionsberechnungen, ihrer Untersuchung und Anwendung unter den Bedingungen der AG VÚHU Most.

Utilization of the method of final elements at the calculation of voltage in steel constructions

This article deals with the review of calculation methods in the engineering practice in the sphere of steel constructions, their development and applications as generally as also in the framework of joint-stock company VÚHU (Brown coal research institute) Most.

Использование метода окончательных элементов в расчёте напряжения металлоконструкций

Статья приносит обзор методов расчета применяемых в инженерной практике в области металлоконструкций, занимается их развитием и прикладностью - как в общих чертах, так в конкретных рамках а.о. ВУТУ г. Мост.

Využití metody konečných prvků při výpočtu napětí v ocelových konstrukcích

Tento článek se zabývá přehledem výpočtových metod v inženýrské praxi v oblasti ocelových konstrukcí, jejich rozvojem a aplikacemi jak všeobecně, tak i v rámci a. s. VÚHU Most.

Historie výpočtů ocelových konstrukcí

Rozvoj vědy a techniky si nelze představit odděleně, obě oblasti se navzájem podporují a urychlují. Jedním z příkladů úzkého sepětí a vzájemného ovlivnění mezi technikou a vědou je používání metody konečných prvků (MKP) v technické praxi.

Se zvyšováním nároků na spolehlivost a snižování nákladů v oblasti výroby a provozu ocelových konstrukcí se kladé stále větší důraz na objektivnější poznání chování materiálu pod zatížením. Do poměrně nedávné doby se soustředil výzkum do oblastí exaktních analytických metod. Tyto umožňují ve speciálních případech určit velmi přesnou odezvu v materiálu na zatížení, ovšem v praxi nelze naprosto vystačit s jednoduchými soustavami, jako jsou nosníky, skořepiny, pruty atd. Proto v těchto klasických metodách u složitějších soustav přicházelo na řadu zjednodušení skutečnosti a nahrazení nějakými útvary, pro něž bylo možno odezvy určit třeba přesně, ale vzhledem k původní konstrukci zkresleně. V některých úlohách musel řešitel používat složitý matematický aparát, což jistě nepodporovalo efektivnost výpočtu. Další komplikace nastaly při uvažování zatížení proměnném v čase.

Princip MKP

MKP se poprvé objevila okolo roku 1943, i když název pochází až

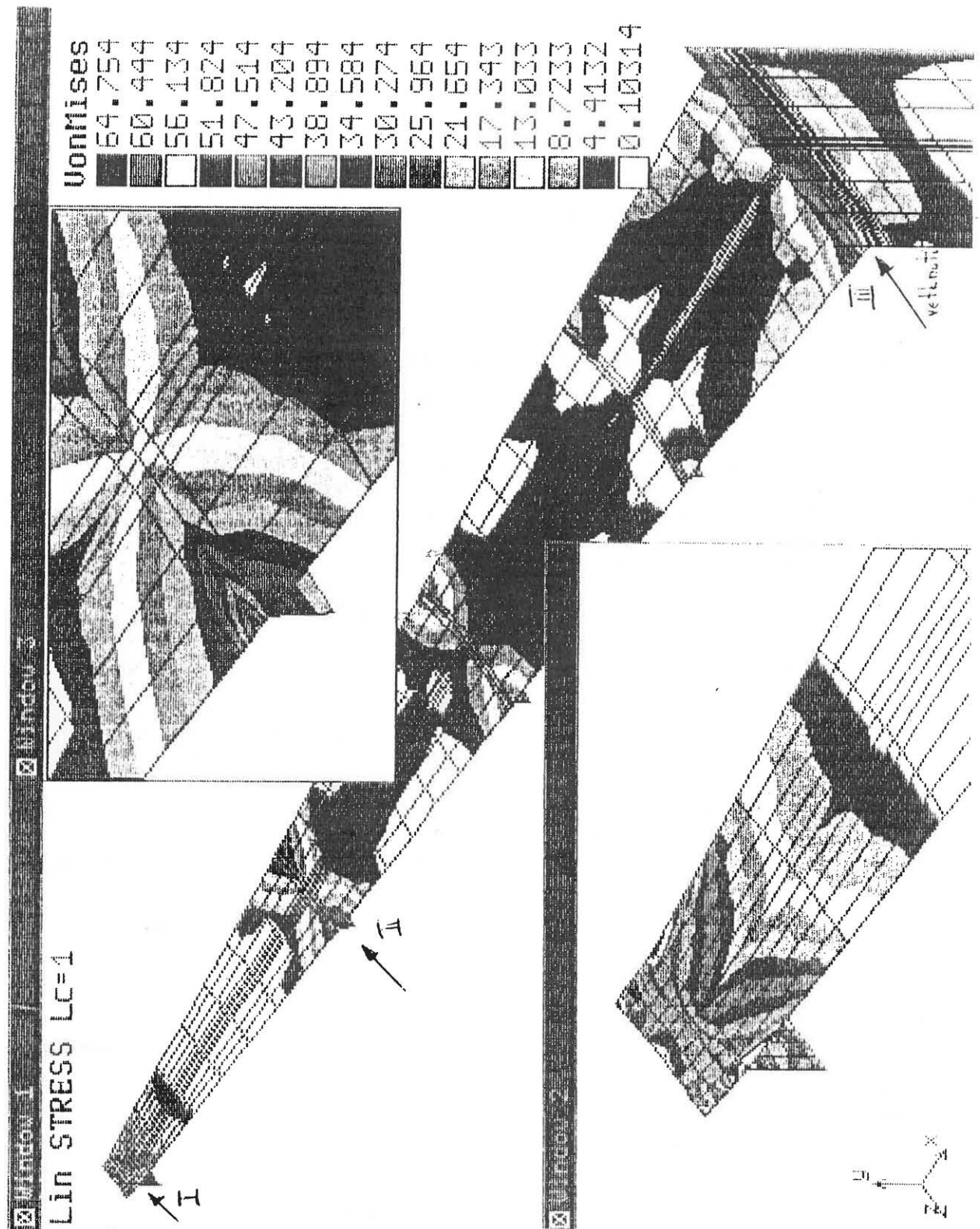
z 60. let. V té době dochází k prudkému rozvoji zájmu techniků o tuto doposud čistě matematickou disciplínu a také aplikovaných matematiků, kteří v inženýrské praxi nacházeli uplatnění pro své teoretické konstrukce. MKP není uzavřený celek, ale podléhá neustálému vývoji.

Metoda konečných prvků je numerická metoda pro získání přibližného řešení řady fyzikálních úloh, nejen technických. Lze ji aplikovat na různé problémy, související s teorií pole jako je vedení tepla, proudění, elektromagnetismus, transport vlhkosti atd. V inženýrské praxi je této metodě velmi blízký způsob analytického řešení prutových soustav. Rozkladem takové konstrukce na jednotlivé prvky a při uvažování jejich lokálních tuhostních vlastností a propojení v uzlech lze sestavit soustavu rovnic, jejichž řešením je deformace celé prutové soustavy a následně i síly v jejich jednotlivých částech. Při řešení úloh v elastickém kontinuu, kde je vlastně nekonečně velký počet uzlů, je kontinuum nahrazeno jednotlivými prvky, které se stýkají v konečném počtu uzlových bodů. Stejně jako v případě prutové soustavy se tak těleso nahrazuje ekvivalentní soustavou menších prvků. Problém pak není řešen v jednom okamžiku pro celé těleso, nýbrž po jednotlivých částech. Neznámé funkce jsou pak přibližně popsány jen malým počtem parametrů v uzlových bodech. Tento postup se nazývá diskretizace. Z těchto důvodů je MKP metodou přibližnou. Zmenšením jednotlivých prvků lze přesnost do jisté míry zvětšit a v každém případě je možno horní mez nepřesnosti stanovit. Její velikost závisí na vhodnosti použitého prvku a jeho velikosti, neměla by přesáhnout 5%. V praxi se používají prvky například typu prut (který přenáší jen osově síly), nosník (zde působí i ohybové momenty), skořepina (velmi tenký plošný prvek), a objemové prvky. Druhů prvků je velmi mnoho, navzájem se liší typem, počtem uzlů, tvarem okrajových hran apod.

Podmínky rozvoje

Rozmach používání MKP v posledním desetiletí byl podmíněn několika aspekty. Především je nemyslitelné používání MKP bez nasazení počítačů. Už v 60. letech se objevovaly programy, které umožňovaly řešit některé problémy touto metodou. Obtíže spočívaly především v tom, jak danou reálnou součást nebo soustavu namodelovat a jak prezentovat výsledky. Problém poměrně jednoduché součásti pak zaměstnával týmy odborníků a výpočet ztrácel na efektivitě. V dnešní době je na trhu množství programových balíků, které oba druhy potíží dokáží překlenout díky grafické prezentaci. Průběh namáhání pak není nutné odvozovat od kvanta čísel, ale ze srozumitelného a přehledného zobrazení součásti. Je možné nechat si na monitoru ukázat a případně vytisknout na barevné tiskárně například jen smykové napětí v určitém směru, jednotlivé úrovně napětí jsou pak odlišeny barevně. Příklad zobrazení výstupních údajů viz. obr. 1. Jedná se o segment kruhového víka, vetknutého po vnějším okraji a zatíženém vlastní hmotností. Modelování a výpočet byl proveden v prostředí COSMOS/M. Zobrazeno je redukované napětí podle HMM.

Díky jednotné metodice je možno řešit zdánlivě nesouvisející úlohy. Těžiště práce výpočtáře se pak přesouvá z hledání matematických postupů do oblastí přesnějšího modelování struktur a návrhu různých zatěžovacích stavů, což znamená velký skok v objektivitě výpočtu. Efektivita výpočtu je také dána cenou strojního času výpočetního systému. I pro poměrně rozsáhlé modely se ukazuje dostatečná výkonnost počítačů třídy PC. Není sporu o tom, že poměr výkon/cena neustále strmě stoupá. Co dříve dokázaly týmy v bílých pláštích na sálových počítačích během několika týdnů, dnes dokáže jeden člověk řádově ve dnech v malé kanceláři, kde největší součástí počítače je monitor...



obr. 1

Přehled aplikačního software

Jak již bylo zmíněno, na trhu (a to i československém) je již poměrně mnoho CAD systémů, které nějakým způsobem využívají MKP. Význam zkratky CAD lze jednoduše vyjádřit jako konstrukci za pomoci počítače. Úlohy CAD systémů při návrhu nových součástí jsou dnes již poměrně široké, od tvorby výkresové dokumentace, přes analýzu metodou konečných prvků, až po tvorbu obslužných programů pro NC stroje či podpora při technické přípravě výroby. Existují systémy, které zahrnují všechny tyto položky, a řeší tak komplexně tok zakázek podnikem. Mezi tyto patří například I-DEAS. Nejvíce používaným a tedy nejznámějším v oblasti grafických editorů u nás je ACAD od firmy Autodesk Ltd. Mezi programy, sloužícími čistě pro technické výpočty metodou konečných prvků na platformě PC, patří ANSYS, ANTRAS, TPS 10, SYSTUS, SARA, NISA, LUSAS a mnoho dalších.

Nejrozšířenějším ve světě v této skupině je ovšem systém COSMOS/M od kalifornské firmy Structural Research and Analysis Corporation, jehož podíl na světovém trhu činí podle údajů výrobce až 67%. V čem tkví příčina tohoto nesporného úspěchu? Systém COSMOS/M se totiž objevil až v roce 1985. Tento paradox je pouze zdánlivý. Většina ostatních produktů v této oblasti přicházela se zvyšováním výkonu PC ze sálových počítačů a přinášela si do vinku jejich neduhy. Jenže COSMOS/M na PC vznikl a tak již od počátku operoval s pojmy jako je uživatelská přátelskost, roletová menu, ovládání myší atd. Tento komfort ovládání při velmi dobrém výkonu znamenal značný náskok v popularitě. Samozřejmě i obratná obchodní politika, založená na poskytování programu školám s výraznými slevami, znamenala zvýšení poptávky po COSMOSu u firem zaměstnávajících absolventy těchto škol. Celý programový balík se skládá z mnoha modulů, které je možno pořizovat odděleně podle potřeb uživatele. Základem je modul GEOSTAR, který slouží pro modelování konstrukce, generování sítě prvků a kontrolu dat, ale i pro prezentaci výsledků, které nechybí animace deformací, barevné zobrazení všech dat a jejich tisk. Pro úlohy lineární statiky je zde modul STAR, který řeší deformace, napětí a energii. Důležitou součástí je výkonný optimalizátor tzv. šířky pásu. Obsahuje speciální prvky jako například kompozitní a kontaktní se třením, dokonce je možno uživatelem definovat nové prvky. Pomocí modulu DSTAR lze řešit vlastní frekvence a tvary vlastních kmitů, často se vyskytující problémy vzpěrné pevnosti a stability. Další moduly se používají pro stacionární a nestacionární kmitání, nelineární konstrukce (plasticita, creep), přenos tepla, stacionární a nestacionární proudění, optimalizaci konstrukce a elektromagnetické pole. Je nabízena také přímá integrace lineárních modulů do programu ACAD.

MKP ve VÚHU

Již několik let se zde používá program pro řešení nejjednodušších úloh - prutových rovinných soustav. Je to velmi užitečný a efektivní program. Používá sice jen jeden druh prvku, ale systém zadávání dat je tomu přizpůsoben a práce s ním je tak velmi rychlá. Výpočtáři umožňuje soustředit se na různé zatěžovací stavy při jednom modelu konstrukce. Další jeho výhodou je možnost grafického výstupu do ACADu. V poslední době byl především nasazen na zakázky pro DÚK při posouzení ocelových konstrukcí transportních mostů na úpravárnách Herkules a Komořany. Celkem byl tento program využit zatím v letošním roce při řešení 12 zakázek.

Poněkud složitějším programem je OK-JET, který pracuje opět s jedním typem prvku, tentokrát nosníkem. Prvky jsou navzájem vetknuty, což znamená, že

přenášejí kromě osově síly také smyková a ohybová napětí a soustava z nich složená tvoří rám. Je možné pracovat s rovinnými i prostorovými soustavami. Program obsahuje i databázi profilů, která zrychluje práci při zadávání průřezových charakteristik jednotlivých prvků. Proces tvoření modelu je přizpůsoben použitému prvku a opět urychluje zadání konstrukce.

Třetím používaným programem je limitovaná verze již zmíněného COSMOSu. Obsahuje moduly pro lineární a teplotní úlohy o velikosti do 48 prvků a 100 uzlových neznámých. Systém zadávání dat a používání programu se neliší od jeho ostré verze, což umožňuje zvýšit efektivitu přechodu na tzv. "ostrou" verzi, jejíž cena se pohybuje pro PC 386 podle počtu požadovaných modulů od 15 400 DM. Limitovaná verze má omezeny výpočtové moduly, nikoli však modul pro zadávání a prezentaci výsledků (alespoň ne výrazně). Je tedy možné vytvořit model na našem pracovišti a výpočet provést ve spolupráci s firmami, které disponují ostrou verzí.

Závěr

V poslední době dochází v oblasti stanovování odezvy v materiálu na zatížení součástí k velkému rozmachu používání metody konečných prvků. Je to způsobeno zvyšujícími se požadavky na zjišťování objektivního stavu součástí i celků a snahou o zefektivnění návrhu nové případně posouzení stávající konstrukce. Další podmínkou úspěšného používání MKP je snižování nákladů na zřízení výpočtářského pracoviště. Ve VÚHU se s úspěchem používá několik programů pro výpočty namáhání ocelových konstrukcí pomocí MKP, zejména v oblasti prutových a rámových soustav.

Literatura:

- /1/ Okrouhlík, Pták - Implementace metody konečných prvků na osobních počítačích. DT ČSVTS Praha. 1991.
- /2/ Firemní literatura S.R.A.C.