

VÝPOČTOVÉ MODELY KONŠTRUKCIÍ , SPOĽAHLIVOSŤ A POSÚDENIE PODĽA NORIEM

Daniel Bukov¹

ABSTRAKT

Problematika statických a dynamických výpočtov železobetónových nosných konštrukcií je v príspevku diskutovaná z pohľadu použitia výpočtových programov, vyhodnotenia výsledkov a posúdenie medzných stavov únosnosti a použiteľnosti podľa technických noriem a predpisov. Príspevok sa zameriava na vplyvy výpočtových modelov, použitých prvkov, okrajových podmienok a postupov riešenia odozvy na výsledky. Na príkladoch výpočtu jednoduchých konštrukcií zaťažených statickým a dynamickým zaťažením sú dokumentované možnosti modelovania vplyvu okrajových podmienok.

1 ÚVOD

V súčasnej praxi výpočtu vnútorných síl nosných konštrukcií stavieb a pevnostnej analýzy technologických konštrukcií, strojov a zariadení je v prevažnej miere používaná metóda konečných prvkov (MKP). MKP je numerická metóda silne závislá na aplikácii výpočtových programov v spojení s pomerne výkonnými počítačmi. V roku 1963 v počiatkoch MKP počítač CDC- 6400 stál 1 000 000 USD a mal 0.05 MIPS¹⁾ operácií za sekundu. V roku 2013 osobný počítač (PC) s dvojjadrovým procesorom 2.8 GHz pod operačným systémom W7 stál 1000 USD a mal 2.8 MIPS operácií za sekundu [1]. Vývoj výpočtových programov pre riešenie odozvy konštrukcií s využitím MKP od začiatku závisel na výkonných počítačoch. Jedným z prvých komplexných programov dostupných pre analýzu konštrukcií bol v roku 1973 v USA dostupný program SAP IV, ktorý bol vytvorený na MTI Berkeley pod vedením profesora E. Wilson a K.J.Bathe (neskôr vyvinul program ADINA). U nás k jedným z prvých patril systémy BK, NEXX, FEAT,a z neho program NE-14 , ktoré boli prevádzkované na minipočítačoch PDP 11 u nás SM 4/20 16bit 0.42 MIPS, počítač SM 52-12 32bit 1.0 MIPS. počítače rady V súčasnosti sú cenovo dostupné personálne počítače majú viac jadrové procesory a frekvencia procesorov je bežne viac ako 2.GHz, operačná pamäť veľkosti 8 až 24 GB nie je nič výnimočné a priestor na vonkajších pamäťových zariadeniach sa pohybuje v bežne v niekoľko TB. Nemôže byť spor o prínose výpočtových programov pre navrhovanie nosných konštrukcií na druhej strane programy sú pri nesprávnom použití aj nebezpečnou „zbraňou“ namierenou proti bezpečnosti konštrukcie. V minulosti mnoho vedeckých, pedagogických pracovníkov, odborníkov z praxe, ale aj študentov tvorilo vlastné programy. Takýto postup viedol k hlbšiemu poznaniu problematiky a zároveň aj k rozvoju nových metód. V súčasnosti sa tento stav zmenil na využívanie programov. Svedčia o tom aj publikačná činnosť ale aj výukové plány na



¹ Ing., Daniel Bukov OK TEAMS r.o. Bohrova 1, 851 05 Bratislava, tel.: (02)63815362, e-mail: d.bukov@okteam.sk

univerzitách. Pre odbornú prax je prínosnejšie poznať teoretické pozadie a vedieť viac o presnosti riešenia. Samozrejme aj v tejto oblasti nie je úplná stagnácia. Pre hlbší záujem o problematiku môžem odporučiť literatúru [2],[3],[4].

1) MIPS 10^6 operácií za sekundu

2 VÝPOČTOVÉ PROGRAMY KRITÉRIA VÝBERU

Prvoradým kritériom pre výber programu je účel programu na , ktorý bol program vyvinutý. Všeobecné programy bez aplikačných nastavieb sa zložito používajú v projekčnej praxi betónových konštrukcií.

Druhým kritériom , ktoré má podstatný význam pre tvorbu výpočtového modelu sú konečné prvky a úlohy , ktoré je možné programom riešiť (prúťové, plošné prvky, kubické prvky, kontaktné, interakcia s podložíom , dynamika. nelineárne úlohy atď.) Z hľadiska kvality programu je dobré zistiť kto používa daný programový systém (renomovaní užívatelia programu (univerzity, vedecké inštitúcie, popredné projektové a statické kancelárie). Významná je aj výkonnosť z hľadiska rýchlosti výpočtov a stabilita programu pri riešení úloh.

Tretím kritériom je teoretické pozadie programového systému , teoretické manuály pozadie programu , verifikačné manuály, publikácie s využitím programu a pod.

Štvrtým kritériom je technická podpora distribútora poskytnutie informácie o chybách (poskytuje autor – distribútor záznam o odstránených chybách pri nových verziách ?)

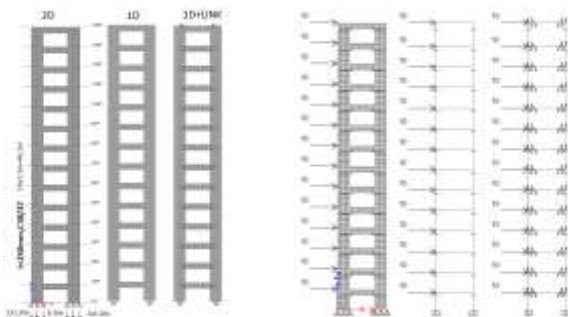
Piatym kritériom je poskytnutie informácií pre nezávislú verifikáciu výsledkov (celkové výslednice, rezy apod.)

Za posledné ale pomerne dôležité z hľadiska efektivity práce je vhodné grafické prostredie pre zadávanie vstupných údajov a zobrazenie výsledkov.

Z hľadiska verifikácie programu je najvhodnejšia je vlastná verifikácia (podľa známych riešení, literatúra, analytické riešenie)

3 JEDNODUCHÉ ÚLOHY A POROVANIE VÝSLEDKOV

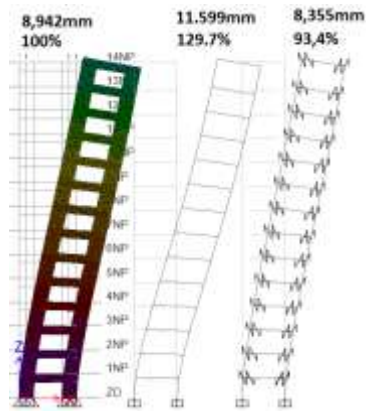
Rám



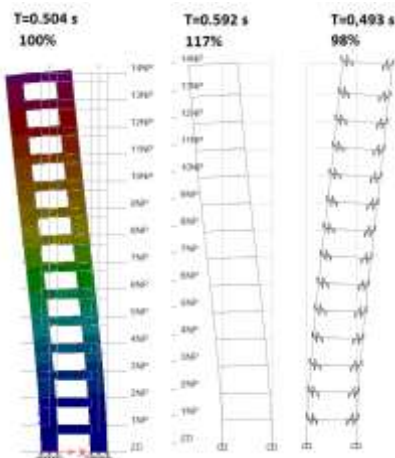
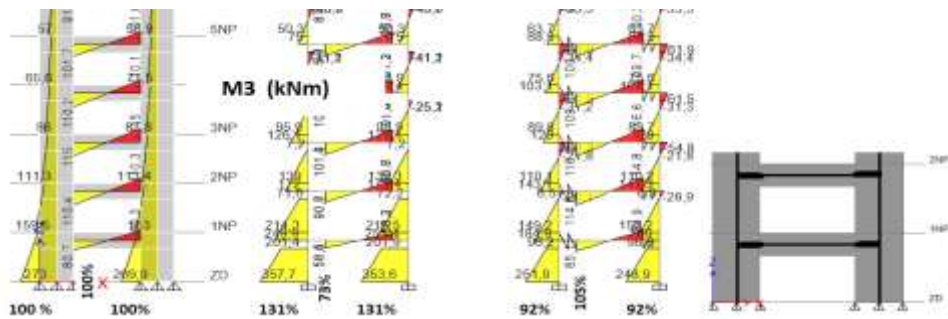
Obr.1 Výpočtový model rámu

Účelom každého výpočtového modelu je čo najlepšie vystihnúť skutočného pôsobenia nosnej konštrukcie. Železobetónová stena s otvormi zaťažaná v úrovni podlaží silami 10kN je modelovaná plošnými prvkami , rámovou konštrukciou a rámovou konštrukciou s tuhými väzbami. Poloha strednicových rámu je v ťažisku stien. Výpočtový model steny je vytvorený škupinovými (2D) elementmi hrúbky 250mm z betónu C30/37 s rozmermi

250x250mm. Rám je tvorený prúťovými prvkami s prierezmi odpovedajúcimi priečnymi rezom stien. Rám s tuhými väzbami má od uzla stĺpu a priečle k vonkajšiemu lícu steny tuhú väzbu – element typu link.



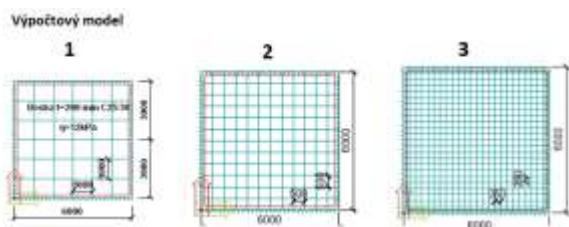
Výsledky výpočtu na pravidelnej pomere jednoduchej konštrukcii poukazujú na rozdiely v deformáciách a vnútorných síl. Modelovanie stien s otvormi si vyžaduje pozornosť pri náhrade konštrukcie rámom vzhľadom na polohu strednice prvkov a rozvoj pootočení v uzloch. V prípade modelu s uzlami v strednici rezov stien bez tuhých ramien má konštrukcia väčšie deformácie, väčšie sily v stĺpoch a menšie sily v priečľach. Model nevystihuje skutočné pôsobenie hlavne pri krátkych a tuhých priečľach, resp. rozmerných vertikálnych konštrukciách. Vhodné je použitie modelu z dosko-stenovými - škrupinovými prvkami. Použitie modelu z dosko-stenovými modelmi si pri posúdení mechanickej odolnosti vyžaduje



integráciu síl aby sa dali aplikovať podmienky odolnosti podľa noriem. Použitie integrálnych výsledníc má význam aj pre zahrnutie účinkov 2.rádu do posúdenia.

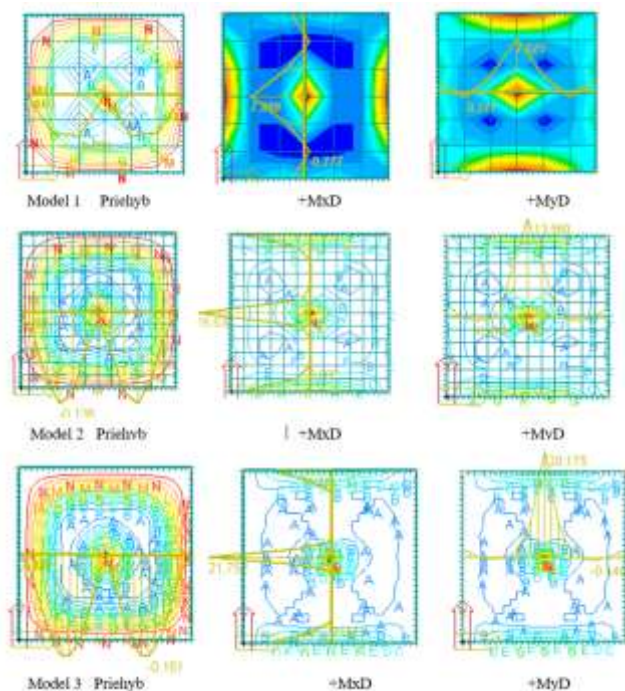
Obr.2 Výsledky výpočtu

Doska



Obr.3 Lokálne podopretá doska

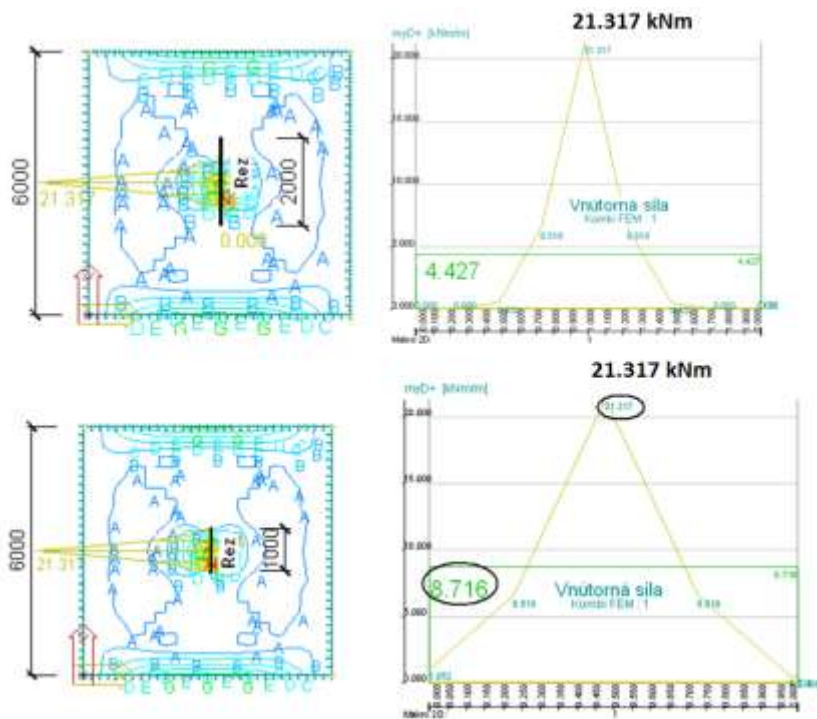
vznikajú vplyvom singularít extrémne hodnoty. Najviac sa singularity prejavujú v priečných silách a ohybových momentoch. Pre lokálne podopreté dosky sa pre lepšie vystihnutie pôsobenia oblasti podoprenia používajú redukcie singularných veličín. Vo výpočtových modeloch sa oblasť dosky modeluje elementami väčšej tuhosti. Zväčšovanie hrúbky dosky nie je vhodná metóda z dôvodu pridávania hmotnosti. Rozumnejšie je zvýšiť tuhosť súčiniteľom ak to umožňuje program. Ďalšou technikou môže byť vytvorenie hrubšej dosky s redukovanou hmotnosťou alebo použitie vhodných tuhých väzieb – elementov typu link. Za absolútne nevhodné považuje zvýšenie tuhosti stĺpa.



Obr.4 Výsledky výpočtu

Lokálne podopretá doska Obr.3 je modelovaná dosko-stenovými elementami s rôznou hustou rozdelenia na konečné prvky. Sú použité tri výpočtové modely. Účelom modelov je preverenie vplyvu hustoty delenia konštrukcie na konečné prvky na presnosť riešenia. Vplyv hustoty delenia na výsledky výpočtu je zrejмый z Obr.4. Pri hustom delení

V dosko-stenových konštrukciách, kde sa často vyskytujú singularity, je možný postup podľa Obr.5. Pri použití rezov samozrejme priemerná hodnota vnútornej sily v reze závisí od dĺžky a polohy rezu. V každom prípade hodnota návrhovej veličiny vystihuje skutočné pôsobenie konštrukcie a vyhýba sa použitiu singularných hodnôt, ktoré vedú k nevhodným návrhom. Pri dimenzovaní železobetónových konštrukcií je možné použiť viac rezov a tým odstupňovať v rozumnej miere vystuženie prierezu. Použitie nepomerne dlhých rezov vedie k preceneniu priečného roznosu čo môže mať za následok poddimenzovanie konštrukcie



Obr.5 Priemerované sily v doskách

4 ZÁVERY

Statická a dynamická analýza nosných konštrukcií je v súčasnej dobe v drvivej väčšine riešená metódou konečných prvkov. Výpočtový model nesmie byť len presnou geometrickou interpretáciou navrhovanej konštrukcie. Zvlášť to platí pre železobetónové konštrukcie kde sú často použité časti rôznych tvarov čo do mechanického pôsobenia. Vystihnúť výpočtového modelu si vyžaduje skúsenosti a širší prehľad. V príspevku som sa snažil na dvoch úplne bežných príkladoch poukázať na úskalia výpočtu vnútorných síl aj s ohľadom na posúdenie mechanickej odolnosti podľa noriem navrhovania.

Literatúra

- [1] F.HARTMANN , C.KATZ, Structural analysis with finite elements , Springer, 2nd Edition, 2007, 597 strán.
- [2] G.A. ROMBACH , Finite-Element Design of Concrete Structures, 2nd edition, ICE Publishing ,2011
374 strán
- [3] MARIO PAZ, WILLIAM LEIGH: Structural Dynamics– Theory and Computation, Springer Science + Business Media. LLC, Fifth edition, 2004, 807 strán
- [4] EDWARD L. WILSON: Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures : Computers and Structures, Inc. Berkeley, California, 2002, 423 s.