

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní



MKP V NASTRANU A PATRANU

Studijní opora do cvičení předmětu "MKP I"

Martin Fusek

Ostrava 2011



Tyto studijní materiály vznikly za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu OP VK CZ.1.07/2.3.00/09.0147 "Vzdělávání lidských zdrojů pro rozvoj týmů ve vývoji a výzkumu".

ÚVOD

Název:	MKP v Nastranu a Patranu
Autor:	Martin Fusek
Vydání:	první, 2011
Počet stran:	71
Náklad:	20

Studijní materiály pro studijní obor Aplikovaná mechanika Fakulty strojní Jazyková korektura: nebyla provedena.



Tyto studijní materiály vznikly za finanční podpory Evropského sociálního fondu a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu Operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost.

CZ.1.07/2.3.00/09.0147



Vzdělávání lidských zdrojů pro rozvoj týmů ve vývoji a

Realizace:

Název:

Číslo:

výzkumu

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

© Martin Fusek

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-2730-8

POKYNY KE STUDIU

MKP v Nastranu a Patranu

Pro problematiky numerického modelování metodou konečných prvků v software Nastran a Patran jste obdrželi studijní balík obsahující:

• integrované skriptum pro distanční studium obsahující pokyny ke studiu.

Prerekvizity

Pro studium tohoto předmětu se předpokládá absolvování předmětu Pružnost a pevnost I.

Cílem učební opory

Cílem je seznámení se se základními pojmy výpočtového modelování pomocí metody konečných prvků. Po prostudování modulu by měl student být schopen samostatně vytvořit model součásti se zadané technické dokumentace vhodný pro analýzu metodou konečných prvků. Stanovit a zadat vhodné okrajové podmínky modelu. Realizovat statickou MKP analýzu a vyhodnotit získané napěťově deformační chování výpočtového modelu.

Pro koho je předmět určen

Modul je zařazen do bakalářského studia oboru Aplikovaná mechanika studijního programu Strojní inženýrství, ale může jej studovat i zájemce z kteréhokoliv jiného oboru, pokud splňuje požadované prerekvizity.

Skriptum se dělí na části, kapitoly, které odpovídají logickému dělení studované látky, ale nejsou stejně obsáhlé. Předpokládaná doba ke studiu kapitoly se může výrazně lišit, proto jsou velké kapitoly dále děleny na číslované podkapitoly a těm odpovídá níže popsaná struktura.

Při studiu každé kapitoly doporučujeme následující postup:



Čas ke studiu: xx hodin

Na úvod kapitoly je uveden čas potřebný k prostudování látky. Čas je orientační a může vám sloužit jako hrubé vodítko pro rozvržení studia celého předmětu či kapitoly. Někomu se čas může zdát příliš dlouhý, někomu naopak. Jsou studenti, kteří se s touto problematikou ještě nikdy nesetkali a naopak takoví, kteří již v tomto oboru mají bohaté zkušenosti.



Ihned potom jsou uvedeny cíle, kterých máte dosáhnout po prostudování této kapitoly – konkrétní dovednosti, znalosti.



Výklad

Následuje vlastní výklad studované látky, zavedení nových pojmů, jejich vysvětlení, vše doprovázeno obrázky, tabulkami, řešenými příklady, odkazy na animace.

Shrnutí pojmů

Na závěr kapitoly jsou zopakovány hlavní pojmy, které si v ní máte osvojit. Pokud některému z nich ještě nerozumíte, vraťte se k nim ještě jednou.



Otázky

Pro ověření, že jste dobře a úplně látku kapitoly zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek.



Úlohy k řešení

Protože většina teoretických pojmů tohoto předmětu má bezprostřední význam a využití v praxi, jsou Vám nakonec předkládány i praktické úlohy k řešení. V nich je hlavním významem aplikovat čerstvě nabyté znalosti získané z předmětu pro řešení reálných situací.



Klíč k řešení

Výsledky zadaných příkladů i teoretických otázek jsou uvedeny v závěru učebnice v Klíči k řešení. Používejte je až po vlastním vyřešení úloh, jen tak si samokontrolou ověříte, že jste obsah kapitoly skutečně úplně zvládli.

Úspěšné a příjemné studium s tímto učebním textem Vám přeje autor.

Martin Fusek

OBSAH

1	Ú	VOD	8		
2	Ν	IODELOVÁNÍ	9		
	2.1	Chyby při modelování	10		
3	MEOTODY ŘEŠENÍ INŽENÝRSKÝCH PROBLÉMŮ12				
	3.1	Analytické a numerické řešení	12		
	3.2	Metoda konečných prvků	13		
		3.2.1 Základní kroky metody konečných prvků	14		
4	R	OZHRANÍ PROGRAMU PATRAN A JEHO SOUBORY	17		
	4.1	Základní soubory v programu Patran	20		
5	I	NFORMACE O PROGRAMU NASTRAN	22		
6	Р	ŘÍKLAD ZÁKLADNÍHO POUŽITÍ PATRANU A NASTRANU	26		
	6.1	Založení nové databáze v programu Patran	27		
	6.2	Import externího geometrického modelu	27		
	6.3	Definice materiálů a vlastností	29		
	6.4	Okrajové podmínky	31		
	6.5	Tvorba sítě konečných prvků	34		
	6.6	Spuštění programu Nastran, vlastní výpočet	35		
	6.7	Načtení výsledků a jejich analýza	36		
7	Z	ÁKLADNÍ KROKY PŘI TVORBĚ MODELU	39		
	7.1	Základní stavební prvky geometrie	40		
	7.2	Tvorba geometrie	41		
	7.3	Vlastnosti a materiály	43		
	7.4	Okrajové podmínky	44		
	7.5	Tvorba sítě	44		
		7.5.1 Způsoby generace sítě	46		
		• IsoMesh	46		
		• Paver	48		
		• Hybrid	48		
		• TetMesh	49		
		• Sweep mesh	49		

	7.6	Nastavení řešiče, vlastní řešení, datový soubor				
	7.7	Výsled	Výsledky			
8	Т	ÁHLO		56		
	8.1	Tvorb	Tvorba geometrie			
		8.1.1	Založení nové databáze a nastavení jejich parametrů	57		
		8.1.2	Tvorba geometrického modelu	57		
	8.2	Tvorb	a konečno-prvkového modelu	60		
		8.2.1	Zjednodušení geometrického modelu	60		
		8.2.2	Tvorba sítě pomocí automatického generátoru sítě, metoda TetMesh	61		
	8.3	Zadán	ní parametrů materiálů a nadefinování vlastností elementů	64		
		8.3.1	Zadání materiálu	64		
		8.3.2	Zadání vlastností	64		
	8.4	Okraj	ové podmínky	64		
		8.4.1	Zadání kinematických okrajových podmínek (vazby)	65		
		8.4.2	Vytvoření pole pro definici rozložení tlaku	66		
		•	Definice uživatelského souřadného systému	66		
		•	Tvorba prostorového pole pro rozložení tlaku	68		
		•	Zadání tlaku	68		
	8.5	Vlastn	ní řešení a zobrazení výsledků	69		
		8.5.1	Vlastní analýza, načtení výsledků	69		
		8.5.2	Zobrazení výsledků	70		
9	Z	ÁVĚR.	-	73		

1 ÚVOD

V tomto textu bude vysvětlena základní práce s programy Patran a Nastran od firmy MSC Software. MSC.Software (dříve MacNeal-Schwendler Corporation) je největší světový dodavatel systémů v oblasti řešení počítačové podpory inženýrských návrhů. V portfoliu firmy jsou i další modelovací a výpočetní systémy, jmenujme např. software Marc, Adams, Actran, SimXpet, XFlow, a další. Bližší informace o firmě naleznete na internetových stránkách http://www.mscsoftware.com, popř. na stránkách české pobočky http://www.mscsoftware.cz.

Informace poskytnuté v tomto výukovém textu se zabývají pouze základy práce s produkty Patran a Nastran.

Program Patran je pre/post-procesní software určený na tvorbu konečnoprvkových modelů a získání výsledků řešení. Umožňuje vytváření geometrie, zadávání materiálových vlastností, tvorbu okrajových či počátečních podmínek, nastavení vlastní analýzy. Velká podpora je kladena na import a editaci již hotových geometrických modelů z konstrukčních CAD systému. Poskytuje také velké množství funkcí na úpravu takto naimportovaných modelů. Patran spolupracuje s velkým množstvím konečnoprvkových řešičů, jmenujme např. Nastran, Marc, Abaqus, LS-Dyna, Ansys, a další. V oblasti postprocesingu zde existují velké možnosti: jednak vykreslení získaných výsledků (mapy průběhů vypočtených veličin, grafy, aj.), jednak je možno získané výsledky zobrazovat v testové podobě popřípadě je možno tyto výsledky uložit do externího souboru pro další zpracování.

Produkt Nastran je světově nejpoužívanější konečnoprvkový program. První kód s tímto názvem je spjat s dobýváním kosmu a s Národním úřadem pro letectví a kosmonautiku (NASA). V současné době existuje několik klonů Nastranu (např. NEi Nastran, NX Nastran, OCF Nastran, aj.) a produkt od firmy MSC Software je jedním z nich. Oblast výpočtů, ve kterých je možno použít Nastran je široká – napěťová analýza, dynamika, vibrace, řešení komplexních systému, lineární a nelineární analýzy, optimalizace, aj. Produkt se, v současné době, hlavně zaměřuje na simulování multidisciplinárních problémů.

V následujícím textu jsou zmíněny základní informace. U software Nastran jsou zmíněny informace týkající se základní práce se vstupním souborem řešiče, tedy struktura vstupního souboru, jaké typy elementů je možno v daném programu využít, jak vypadají výstupní soubory provedené analýzy. Protože rozsah textu je omezen, jsou zde probírány informace, které se váží k lineární statické analýze pružných těles. U modelovacího systému Patran budou zmíněny základní postupy nutné pro tvorbu konečnoprvkového modelu, tedy fáze přípravy. Další informace se týkají nastavení řešiče, v našem případě programu Nastran, a jeho spuštění. Nejsou ani opomenuty postupy pro získání a zobrazení výsledků již proběhlé analýzy.

2 MODELOVÁNÍ



Při řešení problémů se může postupovat dvěma odlišnými přístupy a to přímým řešením problému a nepřímým řešením. Při p**římém řešení** se formulovaný problém řeší zvoleným postupem - odhad, intuice, cit, zkušenost - a ten buď vede, nebo nevede k cíli, tedy k řešení. Nedovede-li daný postup k cíli, začne se řešit jinou metodou. Jedná se vlastně o metodu pokus-omyl. **Nepřímé řešení** je takové, že místo formulovaného problému se řeší jiný, který je snadněji zvládnutelný. Prostřednictvím jeho řešení se získá řešení primárně formulovaného problému. Je to řešení "oklikou" - tj. řešení, při němž řešitel využívá svých schopností přemýšlet, hodnotit, posuzovat a srovnávat různé varianty a především jednat účelově, snažit se dosáhnou cíle s minimálním úsilím. Hovoříme o modelování.

Modelování neboli simulace představuje experimentální proces, při němž se zkoumanému objektu (originálu, modelovému systému) jednoznačně dle určitých kritérií přiřazuje model. Model může být: fyzický, abstraktní nebo kombinovaný.

Fyzický model - umožňuje provádět experimenty s modelem a zkoumat tak vlastnosti originálu (na modelu) pomocí dějů stejné fyzikální podstaty. Příkladem může být zkoumání obtékání vzduchu kolem modelu auta, letadla, aj. v aerodynamickém tunelu.

Abstraktní model - je výsledkem některé obecné vědy. Tento model již neumožňuje provádět experimenty stejné fyzikální podstaty. Umožňuje zkoumat jevy probíhající na originále pomocí matematického popisu jejich průběhů.

Kombinovaný model - je takový, kdy část modelu je fyzická a část abstraktní.

V tomto textu se zaměříme pouze na modely abstraktní a to pouze na jednu skupinu a to **modely výpočtové**.

Postup při vytváření a řešení výpočtového modelu se dá obecně shrnout do následujících kroků:

- 1. Zadání úlohy.
- 2. Rozbor zadání a smysl úlohy.

- 3. Výběr teorie, která bude použita při řešení úlohy (pruty, skořepiny, rovinná napjatost, atd.).
- 4. Volba metody řešení (analyticky, numericky).
- 5. Sestavení úplného souboru vstupních dat (geometrie, materiál, zatížení, aj.).
- 6. Sestavení výpočtového modelu (zjednodušení, co zahrnout a co vypustit).
- 7. Vlastní řešení.
- 8. Zpracování výsledků a jejich interpretace.
- 9. Rozhodnutí o dalším postupu (konec, nebo pokračování a úprava modelu).

Proto, aby úloha mohla být vyřešena správně, musí mít řešitel potřebné znalosti, získané jednak ve škole, jednak praxí či samostudiem. Pro řešení vlastní úlohy musí mít k dispozici výpočetní prostředek, což je v současnosti nejčastěji počítač s vhodným hardwarovým a softwarovým vybavením. Asi nejdůležitější vlastnostmi při tvorbě výpočetních modelů jsou v první řadě tvůrčí schopnosti, zkušenost, cit a intuice.

2.1 Chyby při modelování

Při vytváření a vlastním řešení daného výpočtového modelu mohou a také vznikají chyby. Chyba je realita, se kterou se musí počítat. Nejzávažnější chyba je **chyba kvalitativní**, kdy daný model neobsahuje všechny důležité vlastnosti podstatné z hlediska řešení daného problému. Takováto chyba je nejzávažnější, protože je těžko odhalitelná a může vést ke katastrofickým problémům. Model se chová správně, ale neřeší námi hledaný problém. Opakem předchozí chyby je **chyba složitosti**, kdy model obsahuje kromě podstatných vlastností i vlastnosti nepodstatné. V lepším případě se prodlouží doba řešení problému, v horším případě se nemusí získat řešení úlohy vůbec. Dalším typem chyby je **chyba kvantitativní**, kdy model obsahuje všechny podstatné vlastnosti z hlediska řešení problému, ale jejich kvantitativní vyjádření je pro řešení problému nedostatečné. Častá chyba, která se vyskytuje při realizaci řešení, je **chyba konkretizační**. Model je sice vytvořen správně, obsahuje všechny podstatné vlastnosti, ale při jeho řešení vznikne chyba, např. chybné zadání vstupních údajů, chyba v nevhodné volbě použitého programu, aj. Tento typ chyb je snadno odhalitelný kontrolou získaných výsledků. Kromě toho se může v modelu objevit i tzv. **chyba formální**.

Kromě chyb vznikajících při tvorbě výpočtového modelu se musí ještě při interpretaci získaných výsledků uvažovat chyby použité metody. O těch se zmíníme později.

Shrnutí pojmů

- 1. Přímé a nepřímé řešení.
- 2. Modelování.
- 3. Fyzický, abstraktní a kombinovaný model.
- 4. Chyby kvalitativní, složitosti, kvantitativní, konkretizační a formální.



Otázky

- 1. Jaké znáte základní postupy při řešení problémů?
- 2. Co znamená pojem modelování?
- 3. Definujte pojmy model fyzický, abstraktní a kombinovaný. Do které skupiny patří model výpočtový?
- 4. Jaké jsou základní kroky při vytváření výpočtového modelu?

3 MEOTODY ŘEŠENÍ INŽENÝRSKÝCH PROBLÉMŮ



Výklad

3.1 Analytické a numerické řešení

Konkrétní fyzikální děje lze popsat diferenciálními rovnicemi, případně soustavou diferenciálních rovnic, spolu s okrajovými podmínkami, odpovídajícími fyzikální realitě. Pro volbu metody řešení existují dvě základní možnosti. První možností je řešení analytické, druhou možností je řešení numerické.

Při **analytickém řešení** hledáme výsledek ve tvaru spojitých funkcí. Využívají se přitom postupy matematické analýzy, využitím diferenciálního a integrálního počtu. Výhodou tohoto, historicky staršího postupu je, že v případě nalezení analytického řešení v uzavřeném tvaru máme k dispozici obecnou funkční závislost mezi vstupními veličinami (proměnnými) a výstupními veličinami řešeného problému. S takto získaným předpisem pak lze jednoduše pracovat a je použitelný pro obdobný typ problémů. Základním problémem však je, že nalezení analytického řešení v uzavřeném tvaru je možné pouze pro velmi omezenou škálu úloh. Zpravidla se jedná o úlohy s jednoduchou geometrií a při odvození je použito mnoho zjednodušení.

Řešení numerické, je řešení přibližné. Při tomto postupu se převádí problém hledání spojitých funkcí na problém hledání konečného počtu neznámých parametrů, pomocí nichž se hledané funkce přibližně aproximují. Tento přechod se označuje jako diskretizace spojitého problému. Diskretizovaný problém je řešen algebraickými prostředky v konečném počtu kroků. Bez použití výpočetní techniky je tento proces velice obtížně zvládnutelný. Numerické řešení je v zásadě dostupné pro každou matematicky popsanou úlohu, jakékoliv geometrie a jakkoliv komplikovanou. Při praktických aplikacích je však složitost úlohy omezena kapacitou dostupného hardware a časovými nároky na výpočet. Výsledky numerického řešení se vztahují jen ke konkrétní úloze. Jakékoliv úpravy a optimalizace vyžadují opakování celého procesu tvorby a řešení modelu.

Existuje mnoho metod pro numerické řešení. V současné době je v technické praxi jednoznačně nejpoužívanější pro řešení inženýrských úloh metoda konečných prvků (MKP).

Tato numerická metoda má největší výhodu ve své univerzálnosti. Dostupné výpočtové konečnoprvkové programy jsou již velmi robustními softwarovými balíky. Před příchodem MKP se v hojné míře používala tzv. metoda sítí. Další v současné době využívanou metodou, ale ne tak jako MKP, je metoda hraničních prvků (MHP). Budoucností by mohly být například tzv. bezsíťové metody (Mesh Free Method). Numerické metody se bouřlivě rozvíjejí a jen čas ukáže, které postupy jsou nejvýhodnější pro řešení konkrétních typů úloh.

3.2 Metoda konečných prvků

Jak již bylo zmíněno v úvodu, bude se v tomto textu pracovat pouze problematikou lineární pružnosti. Nutno na tomto místě podotknout, že metoda konečných prvků není omezena na tuto problematiku, ale lze jí využít i při řešení velké škály fyzikálních problémů.

Lineární teorie pružnosti, která je základem lineárního řešení, vychází z předpokladu malých posuvů, malých přetvoření a z platnosti Hookeova zákona. Pod pojmem posuvy se zde i v následujícím textu myslí tzv. zobecněné posuvy, tedy posuvy nebo natočení. Malé posuvy jsou takové, že těleso po zatížení nezmění znatelně svou polohu. Zobecněné posuvy jsou vzhledem k rozměrům tělesa tak malé, že podmínky rovnováhy mohou být psány pro původní, nedeformovanou konfiguraci a výpočet napětí může být vztažen rovněž k původním rozměrům a to se zanedbatelnou chybou. Malá přetvoření znamenají, že rozměry každého objemového elementu tělesa se v důsledku zatížení znatelně nemění. Pokud platí předchozí věta, lze pro vyjádření vztahů mezi přetvořeními a posuvy použít Cauchyho geometrické rovnice. Vztah mezi napětím a přetvořením jsou dány Hookovým zákonem. Materiál je tedy předpokládán izotropní a homogenní.

Řešení obecných prostorových úloh teorie pružnosti je velice obtížné. V mnoha případech můžeme úlohu zjednodušit na dvojrozměrnou, popřípadě na jednorozměrnou. Tímto dosáhneme značného zjednodušení popisu a řešení úlohy. Typicky můžeme zjednodušit úlohu pružnosti tělesa na:

- 1. · jednodimenzionální úlohu,
- 2. · dvojdimenzionální úlohu,
 - rovinná deformace,
 - rovinná napjatost,
 - zobecněná rovinná napjatost,
 - axisymetrická úloha.
- 3. Do oblasti zjednodušení spadá i zjednodušení úloh spadající do oblastí
 - nosníků,
 - a skořepin.

V případě metody konečných prvků, je z pohledu algoritmu, jedno v jaké dimenzi se nacházíme. Často je však výhodné i při aplikaci metody konečných prvků uvažovat tato zjednodušení.

3.2.1 Základní kroky metody konečných prvků

Základní myšlenkou metody konečných prvků je rozložení tělesa na menší části elementy, konečné prvky - na kterých je analýza chování poměrně jednoduchá. V deformační variantě, která je nejrozšířenější, se vychází z nahrazení posuvů náhradními funkcemi. Tyto funkce se berou ve tvaru polynomů prostorových souřadnic. Celý postup metody konečných prvků se dá vyjádřit v několika krocích:

- 1. Rozdělení řešené oblasti (tělesa, soustavy) na podoblasti, tzv. konečné prvky či elementy.
- 2. Formulace chování jednotlivých elementů.
- 3. Opětovné složení a získání výsledné soustavy rovnic popisujících chování celého systému využitím rovnic získaných při analýze elementů.
- 4. Aplikace okrajových či počátečních podmínek.
- 5. Vlastní řešení systému rovnic. Získání primárních neznámých. V případě deformační varianty MKP se jedná o posuvy.
- 6. Získání dodatečných (odvozených) výsledků. V případě pružného tělesa se jedná např. o přetvoření a napětí, popř. další veličiny.

Při použití komerčních konečnoprvkových systémů jsou některé kroky metody konečných prvků před uživatelem buď to částečně, nebo úplně skryty. První krok, tedy tvorba sítě, je často prováděna pomocí automatických generátorů. Kroky 2. a 3. jsou zcela skryty.



Obrázek 3.1 – Geometrický model sestavy



Obrázek 3.2 – Možná konečno-prvková reprezentace geometrie sestavy

O formulaci a chování elementu je možno se dočíst z dokumentace dodávané k danému software. Čtvrtý bod, související s aplikací okrajových a počátečních podmínek je v plné režii uživatele systému. Proto, aby byl tento krok proveden správně, musí mít uživatel potřebné znalosti a zkušenosti v daném oboru, do kterého řešený problém spadá. Krok pátý se často omezuje pouze na volbu typu výpočetní metody (přímé, iterační, aj.) a nastavení daného postupu. Posledním krokem je krok šestý, který je v rukou uživatele a platí pro něj stejné poznámky jako pro bod čtvrtý.

Zde se nebudeme zabývat odvozením základních postupů a rovnic metody konečných prvků, je zde ukázána pouze aplikace pomocí programu Patran a Nastran. Pro hlubší pochopení je čtenář odkazován na příslušnou literaturu.



- 1. Analytické řešení.
- 2. Numerické řešení.
- 3. Metoda konečných prvků.
- 4. Lineární teorie pružnosti.
- 5. Zjednodušení modelů (dimenzionální).



Otázky

- 1. Jaké jsou výhody a nevýhody analytického řešení?
- 2. Jaké jsou výhody a nevýhody numerického řešení?
- 3. Definujte základní předpoklady lineární teorie pružnosti.
- 4. Naznačte a popište jednotlivá možná dimenzionální zjednodušení modelů v případě pružnosti.
- 5. Metoda konečných prvků se skládá z několika kroků. Jaké jsou?

4 ROZHRANÍ PROGRAMU PATRAN A JEHO SOUBORY



Program Patran lze spustit na různých platformách. Zde se zaměříme pouze na grafické prostředí spuštěné v operačním systému MS Windows. Na ostatních platformách je toto rozhraní a jeho ovládání velmi podobné.



Obrázek 4.1 - Základní rozhraní programu Patran

Program se dá spustit standardními postupy platnými pro operační systém Windows a to buď spuštěním přes nabídku start, nebo přes zástupce na ploše. Po spuštění a načtení (nebo založení nové) databáze se objeví rozhraní viditelné na Obrázek 4.1.

Pozn.: Jedná se o "nové" rozhraní uvolněné do plného používání od verze 2010. Ohledně "starého" rozhraní je čtenář odkázán na dokumentaci dodávanou s produktem, popřípadě na zdroje uvedené na http://www.mscsoftware.com.

Rozhraní Patranu se skládá z následujících částí: hlavní menu (menu bar), aplikační menu (ribbon groups menus), panel pro rychlý přístup (quick access tulbar), grafické okno (viewport), okno historie (history window), příkazový řádek (command line), aplikační formulář (application form) a ikona stavu (status icon).

Hlavní menu je zobrazeno na Obrázek 4.2. Pomocí tohoto menu je možno přistupovat k hlavním funkcím programu. Menu File, slouží k práci se soubory, např. založení nové nebo načtení již vytvořené databáze, tisk, importy a exporty modelů, aj. Menu Group je zaměřeno na práce s grupami. Grupy jsou zjednodušeně seznamy (pojmenované oblasti) modelu, blíže viz níže v textu. Pomocí tohoto menu se dají grupy vytvořit, smazat, editovat, atd. Menu Viewport slouží k nastavení zobrazení grafického okna (barvy, osvětlení, atd.) a nastavení pohledů v daném okně. Menu Display je určeno k zobrazení a nastavení vzhledu jednotlivých entit jednak geometrického, jednak konečnoprvkového modelu. V menu Preferences jsou dostupné funkce pomocí kterých lze ovlivnit chování programu jako je nastavení databáze, možností chování myši při práci, aj. Menu Tools umožňuje přístup k pomocníkům jako je například MSC.Fatigue určený pro únavovou analýzu, Beam Tool určený k definování průřezů, aj. V menu Help je dostupná nápověda k programu. Poslední položkou je položka Utilities ve které jsou dostupné další přídavné funkce, které umožňuji efektivněji vytvářet model než základní funkce Patranu.



Obrázek 4.2 - Hlavní menu

Aplikační menu (popř. pruh) slouží k přístupu k funkcím Patranu. Jednotlivé záložky (ribbony) už svým názvem napovídají, kterou částí procesu tvorby modelu se zabývají. Aplikační menu je zobrazeno na Obrázek 4.3. V této chvíli nemá cenu podrobně rozebírat jednotlivé funkce skryté v jednotlivých záložkách, protože jich existuje veliké množství. K některým funkcím se dostaneme níže v tomto textu, ostatní je možno dohledat v nápovědě.

H	ome Geom	etry Pi	opertie	s Loads/BCs	Meshing	Analysis	Results	Durability	
	n in the second	5 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	8ª	(<u>₹</u>) (†) (†) () (†) (†) (†) () () () () () () () (// ()) / () L () () E	
	Defaults	Tran	sforms	Viewport	Display	Orie	ntation	Misc.	Web



Pro často používané funkce je zde **panel pro rychlý přístup**, který je umístěn pod aplikačním menu. Jeho vzhled je možno upravovat a přidávat popř. odebírat jednotlivé funkce dle potřeby. Jeden z možných vzhledů je umístěn na obrázku Obrázek 3.1.



Obrázek 4.4 – Panel pro rychlý přístup.

Přepnutím v aplikačním menu a zvolením funkce uživatelem, se změní vzhled aplikačního formuláře. Každý formulář vypadá jinak, ale obsahuje obdobné či stejné typy prvků, pomocí kterých je možno vykonávat jednotlivé příkazy. Pro ukázku bylo zvoleno okno umožňující provést funkci pro generování bodu v určitém místě, viz Obrázek 4.5.

R	미치
	Geometry
U	Action: Create
+	Object: Point
	Method: XYZ
	Point ID List
	13
x	Refer. Coordinate Frame Coord 0
•	Auto Execute
\sim	Point Coordinates List
ぇ	[0 0 0]
4	
Ø	-Apply-
RH	
+	

Obrázek 4.5 – Ukázka aplikačního formuláře

V tomto okně se pracuje metodou "shora dolů". Jednotlivé názvy položek jsou velmi intuitivní a ke každé položce je dostupná nápověda přes horkou klávesu F1. Jak je patrno jednotlivé okno se skládá jednak z "listboxů" ve kterých se vybírá správná položka, jednak z textových oken do kterých se zadávají vstupní hodnoty. Pro potvrzení funkce se používají tlačítka, zde (na obrázku) je pouze jedno tlačítko "Apply". Do vstupních boxů je možno data zadat dvěma způsoby, a to jednak manuálně, nebo grafickou cestou, tzn. pomocí selekce myší. Ke vstupu pomocí druhé metody je možno využít selekčního filtru, pomocí kterého je možno zadat pouze selekci požadované entity. Tento filtr je umístěný na Obrázek 4.5 vlevo, což je defaultní umístění.

Při výběru pomocí myši je možno postupovat několika způsoby. Pokud myší pohybujeme po grafickém okně, dochází při přechodu přes entitu k zvýraznění této entity (např. plocha, objem, atd.). Při kliknutí levým tlačítkem myši na tuto entitu se provede výběr. Pokud je nutno vybrat současně více položek je nutno použít funkční tlačítko "shift" na klávesnici. Pro odselekování omylem vybrané entity je možno použít kombinaci "ctrl" + "shift" + pravé tlačítko myši. Obdobně slouží tlačítka na filtru výběru a to tlačítka "plus", "mínus". Tlačítko "rovná se" odpovídá piknutí myší na jednu entitu bez držení funkčních kláves. V případě výběru více entit lze využít výběru pomocí boxu a to jednak obdélníkového, který se provádí tak, že se zmáčkne levé tlačítko myši a to se drží při táhnutí přes model. Při stlačení klávesy "ctrl" je možno vytvářet výběr pomocí n-úhelníku. Konec výběru se zakončí dvojklikem levého tlačítka myši.

Chování myši a nastavení jednotlivých kláves při výběru se dá upravit v hlavním menu v položce "Preferences > Mouse …" a "Preferences > Picking …".

Další položkou grafického rozhraní programu Patran je **okno historie**. V tomto okně se vypisují všechny provedené operace, varování a chyby. Proto je vhodné, aby uživatel pracoval s tímto oknem. Pod oknem historie je umístěn **příkazový řádek**, do kterého lze zadávat manuálně příkazy. Okno historie a příkazový řádek je zobrazen na Obrázek 4.6.

	sys_poll_option(0)	•
For	r Help, press F1	

Obrázek 4.6 – Okno historie a příkazový řádek

Poslední položkou grafického rozhraní je **ikona** stavu. V pravém horním rohu je umístěna ikon představující glób se symbolem firmy mscsoftware. Ikona může být ve třech základních stavech. Pokud se glób netočí, program nevykonává žádnou akci. Pokud glób rotuje a jeho podklad je modrý, program vykonává nějakou funkci a je možno tuto operaci přerušit příkazem abort. Funkce abort je dostupná pod ikonkou představující dlaň a je umístěna na aplikačním pruhu v záložce "Home" anebo je defaultně přítomná v panelu pro rychlý přístup. Poslední stav, který může být indikován ikonou stavu, je nepřerušitelná operace. Tento stav je zobrazován rotujícím se glóbem a červeným podkladem. Takový to stav nemůže být přerušen abort ikonou, lze ho přerušit na úrovní operačního systému a to shozením procesu Patranu.

4.1 Základní soubory v programu Patran

Výše bylo zmíněno, že položka hlavního menu File, slouží k práci se soubory, např. založení nové nebo načtení již vytvořené databáze, tisk, importy a exporty modelů, aj. Zde budou stručně popsány základní soubory používané programem Patran. Jedná se o následující soubory:

- Databáze (Database) je základní soubor. V tomto souboru je vlastně uložen celý námi vytvářený model, tj. jednak geometrie, konečnoprvková síť, okrajové podmínky, nastavení analýzy, atd. Přípona souboru je "*.db". Soubor databáze je binární soubor. Platí jeden model, jeden databázový soubor.
- Jouranal File Tento soubor se váže na jeden model (databázi). V tomto souboru jsou zapsány všechny PCL příkazy, které byly použity při vytváření modelu v dané databázi. Soubor je doplňován při každé relaci, u které byl editován model v dané databázi. PCL je zkratka pro "Programing Command Language", což je vnitřní programovací jazyk programu Patran. Tento soubor se dá využít pro vytváření programových sekvencí (maker) nebo pro restaurování vlastní databáze. Jedná se o textový soubor a je ho tedy možno otevřít v libovolném textovém editoru. Jméno souboru je stejné jako jméno databáze a jeho přípona je "*.db.jou".
- Session File Obdoba journal file, ale tento soubor je otevřen při každém spuštění Patranu a uzavřen při ukončení programu. Obsahuje tedy informace o jednom sezení. V pracovním adresáři se tedy může objevit několik session souborů. Soubor je opět textový, tedy je možno ho prohlédnout v libovolném textovém editoru. Přípona souboru je "*.ses" a navíc se může za touto příponou objevit číslo, např. "*.ses.01", daná počtem tohoto typu souboru. Kromě automatického záznamu, lze session soubory generovat a přehrávat pomocí položky hlavního menu a to "File > Session File.

Shrnutí pojmů

- 1. Hlavní menu (menu bar)
- 2. Aplikační menu (ribbon groups menus)
- 3. Panel pro rychlý přístup (quick access tulbar)
- 4. Grafické okno (viewport)
- 5. Okno historie (history window)
- 6. Příkazový řádek (command line)
- 7. Aplikační formulář (application form)
- 8. Ikona stavu (status icon)
- 9. Databáze, journal file, session file

5 INFORMACE O PROGRAMU NASTRAN



Program Nastran je konečnoprvkový řešič (**NA**sa **STR**uctural **AN**alysis Systém). Je dostupný pod mnoha operačními systémy a může být spuštěn na osobním počítači i na velkých superpočítačích. Program jako takový se skládá z množství modulů, kde každý modul odpovídá za určitou specifickou operaci (aplikace okrajových podmínek, generování matic, vlastní řešení, atd.). Jednotlivé moduly jsou kontrolovány pomocí vnitřního jazyka DMAP (Direct Matrix Abstraction Program).

Program obsahuje veliké množství analýz. Každý typ analýzy je označen jako sekvence řešení (solution sequence) a má svoje kódové číslo. Statická lineární analýza je například sekvence 101.

Program Nastran neposkytuje žádné grafické rozhraní, neposkytuje žádné funkce pro grafickou tvorbu modelu. Všechny vstupy a výstupy programu jsou zprostředkovány pomocí textových souborů. Základní typy souborů jsou:

- Vstupní soubor (Input File) obsahuje definici modelu. Jedná se o textový soubor a může mít libovolnou koncovku, nejčastěji "*.bdf" a "*.dat".
- Výsledkový soubor (Result File) Toto je hlavní Nastranovský výstupní soubor. Obsahuje všechny žádané výsledky analýzy, například posuvy, přetvoření, napětí, atd. Jedná se o ASCII soubor a je možné ho procházet v libovolném textovém editoru. Dále tento soubor obsahuje diagnostické, varovné a chybové hlášky, které mohou pomoci při ověřování a ladění modelu. Přípona souboru je "*.f06".
- Soubor obsahující informace o běhu Nastranu (Execution Summary File). Obsahuje časovou historii běhu dané úlohy. Přípona souboru je "*.f04" a opět se jedná o textový soubor.

- Log soubor. Obsahuje informace o běhu na daném operačním systému. Přípona souboru je "*.log" a opět se jedná o textový soubor.
- Výsledkový soubor typu op2. Jedná se o další možný výsledkový soubor, ale tento je užíván programem Patran. Jedná se o binární soubor a jeho přípona je "*.op2".
- Výsledkový soubor typu xdb. Jedná se o další možný výsledkový soubor, ale tento je užíván programem Patran. Jedná se o binární soubor a jeho přípona je "*.xdb". V současnosti využíván častěji než soubor typu op2.
- Další soubory jsou generovány při běhu programu a lze o nich najít informace v nápovědě dodávané s instalací programu.

Protože program neposkytuje žádné grafické rozhraní pro tvorbu modelu ani pro vizualizaci výsledků existuje mnoho programů, které umožňují tvorbu popřípadě import geometrie modelu, generování sítě konečných prvků, zadávání okrajových podmínek, vykreslování výsledků atd. Jedním z takovýchto systému je právě program Patran. Příklad spolupráce programů Patran a Nastran je zobrazen na obrázku Obrázek 5.1.



Obrázek 5.1 – Nastran a Patran základní vztah

Další zdroje

Detailnější informace lze nalézt v dokumentaci dodávané s daným software, popř. na internetových stránkách <u>http://www.mscsoftware.com</u>. Pro lineární analýzy pružných těles je vhodným dokumentem "*Linear Static User's Guide*" dodávaný s instalací produktu. Dokumenty pojednávající o funkcionalitě programu jesou: "*Guick Reference Guide*"a "*Getting Started User's Guide*".

) Shrnutí pojmů

- 1. Vstupní soubor (Input File) přípona souboru nejčastěji "*.bdf" a "*.dat".
- 2. Výsledkový soubor (Result File) přípona "*.f06".

- 3. Soubor obsahující informace o běhu Nastranu (Execution Summary File). Přípona souboru je "*.f04".
- 4. Log soubor. Přípona "*.log".
- 5. Výsledkový soubor typu "*.op2".
- 6. Výsledkový soubor typu "*.xdb".

6 PŘÍKLAD ZÁKLADNÍHO POUŽITÍ PATRANU A NASTRANU



Čas ke studiu: 2 hodiny

Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete se umět

- Spustit program Patran a vytvořit novou databázi pro tvorbu modelu.
- **u** Importovat geometrický model z externího souboru.
- Vytvořit konečnoprvkový model dané součásti včetně zadání okrajových podmínek.
- Provést nastavení programu Nastran z rozhraní Patranu a provést vlastní výpočet.
- Načíst a analyzovat získané výsledky.



V následujícím příkladě budou provedeny typické kroky při vytváření končnoprvkového modelu. Model se většinou generuje na základě geometrie, která je vytvořena v CAD systému. Výměna geometrie mezi tímto systémem a Patranem probíhá přes nějaký výměnný formát, nejčastěji parasolid, iges, sat, aj. V našem příkladě neimportujeme model smykového snímače a na tomto modelu provedeme analýzu. Uchycení modelu je znázorněno na obrázku Obrázek 6.1. Materiál snímače je ocel s parametry: modul pružnosti v tahu E = 210 GPa a poissonovo číslo $\mu = 0,3$.





6.1 Založení nové databáze v programu Patran

Prvním krokem je spuštění programu Patran a vytvoření nové databáze. Vytvoření databáze se provede pomocí příkazu z hlavního menu **"File > New …"**. Po stlačení se objeví na obrazovce standardní dialogové okno, pomocí kterého se vybere umístění a název souboru. V tomto případě je volen název souboru databáze snimac. *Pozn.: V názvech adresářů a názvech souborů je lepší nepoužívat diakritiku, tj. čárky, háčky a zbytečné mezery.*

V aplikačním okně je nutno nastavit položky Tolerance na Default (1.). Nastavení výpočetního programu je defaultně Nastran, takže stačí potvrdit tlačítkem OK (2.). Nastavení databáze je znázorněno na Obrázek 6.2.

	ㅋㅋ
New Model Preference	
Model Preference for: snimac.db	
Tolerance	
 Default Default 	
Global Model Tolerance: 0.005	
Analysis Code:	
MSC.Nastran	
Analysis Type:	
Structural	
ОК 2. Re	set

Obrázek 6.2 – Nastavení nově vytvářené databáze

6.2 Import externího geometrického modelu

Dalším krokem je import souboru obsahujícího geometrický model snímače. Import se provádí pomocí menu "File > Import …". Otevře se dialogové okno, viz Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.. V okně provést kontrolu, že chceme importovat model ve formátu parasolid, tj. položka (1.) na obrázku. Dále pak zmáčknout tlačítko "Parasolid xmd Options …" (2.). V aplikačním formuláři se objeví parametry importu pro zvolený typ souboru, viz Obrázek 6.4. V novém okně kliknout na tlačítko "Model Units" (1.), objeví se nová záložka. Zde vybrat, že chceme pracovat v milimetrech (2.), potvrdit tlačítkem "OK" (3.) a po návratu do předchozí záložky potvrdit tlačítkem "OK" (4.). Ve stále otevřeném okně pro výběr souboru vybrat soubor s názvem "smykovy_slomerny_snimac.xmt_txt" a potvrdit tlačítkem "Apply-".

Na obrazovce se objeví nové okno, ve kterém jsou shrnuty informace o importu. Toto okno zavřeme tlačítkem "OK". Tímto je celý proces importu ukončen.

Import			
Oblast <u>h</u> ledání: 🌗 Podklady	-	•	Object: Model 1.
Název položky 🔺	▼ Datum ▼	Тур 🔺	Source. Parasolid xmt
January 2012	9.9.2011 7:17	Složka so.	
Video_1	14.9.2011 9:55	Složka so.	Current Group
model_hak.x_t	9.9.2011 8:36	Soubor X_	
model_vrub.x_t	9.9.2011 8:36	Soubor X_	default group
smykovy_silomerny_snimac.xmt_txt	9.9.2011 9:37	Soubor X.	Parasolid xmt Options
utahovak.x_t	9.9.2011 7:36	Soubor X_	
•		•	
Název smykovy_silomerny_snimac.xmt_	txt	-Apply-	
Soubory typu: Parasolid Transmit Files {*x*t*}	-	Cancel	
,			

Obrázek 6.3 - Dialogové okno při importu součásti

New Model Preference Import Options	
Entity Types	
Minimum Body Wire Body Sheet Body Solid Body CoordinateSystem(ATTRIB XPARAS	
Geometry Preference Solid Type	
Parametrized Solid	
Trimmed Surface Type	
General Trimmed	
Entity Layers	
Layer numbers	
	Import Options Model Units
Group Classification	Model Linit Quantita
Model Units	1000.0 (Millimeters) 2.
Create Groups from Layers	Reset
Sew Sheet Bodies	OK Cancel
Verify Boundary	
Equivalence Edge Vertices	
Allow Duplicate CAD Model	
4. Reset	
OK Cancel	

Obrázek 6.4 – Nastavení importu modelu

6.3 Definice materiálů a vlastností

Dále se pokračuje ve směru "zleva doprava" v jednotlivých záložkách aplikačního panelu. Záložku geometrie je možno přeskočit, protože nebudou prováděny žádné úpravy geometrie. Následující záložka nese název **"Properties"**. Pod touto záložkou se skrývají funkce, pomocí kterých je možno nadefinovat vlastnosti materiálu a vlastnosti chování modelu (elementů). Materiál se zadá jednoduše stlačením tlačítka **"Isotropic"** v aplikačním menu (1.) a v aplikačním formuláři se objeví okno pro zadání dat, viz Obrázek 6.5.

V položce "Material Name" zadejme název "ocel" (2.). Stlačením tlačítka "Imput Properties …" (3.) se otevře nové okno, pomocí něhož zadáme hodnoty modulu pružnosti a Poissonova čísla (4.). Hodnoty se potvrdí tlačítkem "OK" (5.) současně se uzavře okno a v aplikačním formuláři se vše potvrdí tlačítkem "Apply" (6.). Materiál se přesune do okna nazvaného "Existing Materials". Pozn.: Program Patran nehlídá jednotky. Za číselné vyjádření zodpovídá uživatel. Jediné jednotky, se kterými se pracuje, jsou u importu, aby se model načetl v požadovaných rozměrech.



Obrázek 6.5 – Definice materiálu

Aby se mohlo k součásti (elementům) správně přiřadit chování, musí se vytvořit tzv. properties. Ty se nacházejí ve stejné záložce jako materiál, pouze kousek dál vpravo. Model je vytvořen jako prostorový a proto se musí vytvořit tzv. **"3D Properties"**. První část tvorby vlastnosti je znázorněna na Obrázek 6.6. Do okna **"Property Set Name"** se zadá název, zde **"telo_snimace"** (1.). Po zmáčknutí tlačítka **"Input Properties …"** (2.) se otevře nové okno s názvem **"Select**

Existing Material". V tomto okně se vybere, kliknutím na název, materiál **"ocel**". Po vyselekování se toto okno automaticky uzavře a v předchozím okně se v položce **"Material Name**" objeví popisek **"m:ocel**". Okno se uzavře tlačítkem **"OK**" (5.).

_	Input Properties		💷 Select Material 📃 🗖 🗙
Element Properties	Solid (CHEXA)		(
Action: Create	Property Name Value Value Value Type	3.	Select Existing Material
Object: 3D 🔻	Material Name m:ocel Mat Prop Name	XX 🐴	ocel
Type: Solid	[Mater. Orientation]		
Sets By: Name 🔻 📴	[Integration Network] String		
	[Integration Scheme] String	11	
	[Output Locations]		
	[Nonlinear Formulation(SOL400)] String		
Filter *	K	>	
Property Set Name			
telo_snimace 1.			
Options:			
Standard Formulation			
2.			
Input Properties	Enter the Material Name or select a material with the icon.	<u>^</u>	
Select Application Region		-	
G.			
	OK 5. Clear Cancel		
			Filter *
			External Materials
			Cancel
NUM CODE			

Obrázek 6.6 – Definování vlastností elementů

Dalším krokem při vytváření vlastností je selekce místa kde je přiřadit. Postupuje se stlačením tlačítka **"Select Application Region …"** (6.) Otevře se nová záložka. Pomocí myší se vybere tělo snímače, v položce **"Selected Members"** se objeví **"Solid 1"** (1). Selekce se potvrdí tlačítkem **"Add"** (2.). Do položky "Application Region" se přesune potvrzena položka. Pomocí tlačítka **"OK"** se vše potvrdí a záložka se automaticky uzavře.



Obrázek 6.7 – Selekce oblasti modelu při definování vlastností

Nyní je nutno ještě zmáčknout tlačítko **"Apply"** aby se vytvořená vlastnost přesunula do okna s názvem **"Sets By:"**, viz Obrázek 6.6.

Pozn.: Vlastnosti byly zadány na geometrický model. Výpočet však neprobíhá na geometrickém nýbrž na konečnoprvkovém modelu. Program Patran při generování vstupního souboru řešiče tyto vlastnosti automaticky převede. Někdy je výhodné zadávat vlastnosti přímo na uzly či elementy, ale pro tento úkon je třeba nejprve vytvořit síť konečných prvků.

6.4 Okrajové podmínky

Dalším krokem je vytvoření okrajových podmínek, tj. vytvoření vazeb a zatížení. V aplikačním menu se přepne záložka na **"Loads/BCs"**. Zmáčkne se tlačítko **"Displacement Constraint"** a můžou se zadávat data dle následujícího popisu.

Load/Boundary Conditions	Load/Boundary Conditions Input Data
Action: Create	Load/BC Set Scale Factor
Object: Displacement	1.
Trace (1997)	3.
iype. Nodal	
Option: Standard	Potations <p r2="" r3=""></p>
Current Load Case:	< >
Default	Trans Phase <tp1 tp2="" tp3=""></tp1>
Type: Static	< > Rotation Phase < Ro1 Ro2 Ro3>
Evipting Sata	Spatial Fields
	X
	EEU Daarastast Data
	PEM Dependent Data
	Analysis Coordinate Frame
	Coord 0
\sim	OK
New Set Name 1.	CK Reset
pevna_vazba	4.
	· · · · · ·
2.	
Input Data	
Select Application Region	
-Apply-	
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	

Obrázek 6.8 – Zadávání okrajových podmínek na model

31

V prvním kroku se vytvoří pevná vazba (vetknutí) v místech děr pro šrouby. Úkony při zadávání se provádí následovně dle Obrázek 6.8. Do položky **"New Set Name"** se zadá název vazby, zde např **"pevna_vazba"** (1.). Stlačí se tlačítko **"Input Data …"** (2.). Otevře se nová záložka, kde se vyplní položka **"Translations <T1 T2 T3>"**. Protože budou vázány všechny stupně volnosti, tedy posuvy ve směrech x, y a z, musí se zadat do textového okna zápis **<0, 0, 0>**, (3.). Ten znamená, že jsou zachyceny všechny stupně volnosti. Místo čárek je možno použít i mezery. Zápis se vztahuje k souřadnému systému označenému v **"Analysis Coordinate Frame"**, zde **"Coord 0"**. Vše se potvrdí tlačítkem **"OK"** (4.). Záložka se uzavře, pokračuje se tlačítkem **"Select Application Region …"** (5.). Otevře se nová záložka, viz Obrázek 6.9.



Obrázek 6.9 – Selekce oblasti zájmu při definování okrajových podmínek

Provede se selekce oblasti, na kterou se mají zadat okrajové podmínky. Vyselekují se otvory (1.). Pro jednodušší selekci je možno zapnout filtr na selekování pouze povrchů (2.). Výběr se potvrdí tlačítkem "Add" (3.). Po jeho stlačení se vybrané položky přesunou do okna s názvem "Application Region". Záložka se uzavře tlačítkem "OK" (4.). Vše se potvrdí, po návratu do předchozí záložky, tlačítkem "Apply". Vytvořená vazba se automaticky přesune do okna s názvem "Existing Sets".

Obdobným způsobem se vytvoří druhá vazba, tedy místo kde leží snímač na podložce, viz Obrázek 6.1. Zde již nebudou kroky rozepisovány podrobně, takže stručně. Zadá se jméno vazby, zde: **"ulozeni"**. V položce **"Translations <T1 T2 T3>"** se zadá **<, 0, >** což znamená, že se odebírají stupně volnosti ve svislém směru. Okrajová podmínka se aplikuje na požadovanou plochu. Vše se potvrdí tlačítkem **"Apply"**. V okně **"Existing Sets"** jsou nyní obě dvě definované vazby.

Obdobným způsobem se zadá zatížení. Pomocí ikony v aplikačním menu se spustí funkce **"Total Load"**. Kroky zadávání jsou velice podobné jako v případě zadávání vazeb. Prvním krokem je zadání názvu zatížení, zde **"zatizeni"** (1.). Dále se zmáčkne tlačítko **"Input Data …"** (2.), otevře se nová záložka. Zde se do položky **"Load <F1 F2 F3>"** zadají hodnoty **<0 -500 0>**, viz (3.). Vše se potvrdí tlačítkem **"OK"** (4.).

Load/Boundary Conditions	Load/Boundary Conditions Input Data
Action: Create	Load/BC Set Scale Factor
Object: Total Load 🔻	1.
Type: Element Uniform	Load <f1 f2="" f3<br="">< 0 -500 0 ></f1>
Current Load Case:	3.
Type: Static	
	<
Existing Sets	Spatial Fields
	FEM Dependent Data
	Analysis Coordinate Frame Coord 0
	OK Reset
New Set Name 1.	
zatizen	
Target Element Type: 3D	
Select Application Region	
-Apply- 5.	

Obrázek 6.10 – Zadání zatížení pomocí funkce Total Load

V předchozí záložce se zmáčkne tlačítko **"Select Application Region …"** (5.). Opět se otevře nová záložka, viz Obrázek 6.11. Vyselekuje se potřebná plocha (1.), potvrdí se tlačítkem "Add" (2.) a záložka se uzavře pomocí tlačítka "OK". Vše se opět potvrdí tlačítkem "Apply". Tímto postupem jsou zadány okrajové podmínky na model. V grafickém okně je možno si prohlédnout zadané okrajové podmínky.



Obrázek 6.11 – výběr místa pro zadání zatížení

Pozn.: Okrajové podmínky byly zadány na geometrický model. Výpočet však neprobíhá na geometrickém nýbrž na konečnoprvkovém modelu. Program Patran při generování vstupního souboru řešiče tyto okrajové podmínky automaticky převede. Někdy je výhodné zadávat okrajové podmínky přímo na uzly či elementy, ale pro tento úkon je třeba nejprve vytvořit síť konečných prvků.

6.5 Tvorba sítě konečných prvků

Dalším krokem je generování sítě. Pomocí myši se program přepne do položky "Meshing". Protože se jedná o první model, využijeme zde služeb automatického generátoru sítě. Pomocí položky v menu (1.) se přepneme do okna pro vytváření sítě na objemových entitách, viz Obrázek 6.12. Pomocí myši se vyselekuje geometrický model (2.). Kvalita výsledků závisí na kvalitě sítě. Velikost elementu se dá nastavit v položce "Global Edge Length", zde se zadá hodnota 15, viz (3.). Další nastavení sítě lze najít pod tlačítkem "TetMesh Parameters …". Vše se potvrdí tlačítkem "Apply" (4.).

V grafickém okně si lze prohlédnout vytvořenou síť. O kvalitě sítě, jejich úpravách se bude hovořit v pozdějších kapitolách. Pro tuto úlohu vezmeme vytvořenou síť. Tímto krokem je tvorba modelu v Patranu hotová a je možno vygenerovat vstupní soubor pro řešič, v tomto případě se jedná o soubor pro program Nastran.

Patran 2011 64-Bit		
Eile Group Viewport Viewing Display Preferences Tools Help Utilities	X	
Home Geometry Properties Loads/BCs Meshing Analysis Results Durability		
Image: Control Image	Image: second	
□ ≝ ≤ 0 🟑 🖡 🖶 🕸 இ 🔊 🕃 ≒ 🗉 🛱 ≒		
🗈 snimac.db - default_viewport - default_group - Entity	G	
to the second se	✓ Action: Create → Object: Mesh ■ Type: Solid ■ Output ID List Node 4787 Element 2727 ⑦ Element 2727 ⑦ Element 2727 ⑦ TetMesh Parameters Node Coordinate Frames Node Coordinate Frames Node Coordinate Frames Node Coordinate Frames Node Coordinate Frames Input List 2. Solid 1 2. Global Edge Length ✓ Automatic Calculation Value 15	
	Assembly Parameters Prop. Name: - None - Prop. Type: - N/A - Select Existing Prop Create New Property 4.	

Obrázek 6.12 - Tvorba sítě konečných prvků na modelu

6.6 Spuštění programu Nastran, vlastní výpočet

V aplikačním menu se přepne do záložky "Analysis". V aplikačním formuláři se nemusí nic vyplňovat (u jednoduché úlohy) a stačí analýzu spustit pouze tlačítkem "Apply".



Obrázek 6.13 – Okno programu Nastran při výpočtu.

Otevře se okno Nastranu, viz Obrázek 6.13, a proběhne výpočet. Konec výpočtu je oznámen zapípáním. Nastran během výpočtu vygeneruje množství souborů. Nejdůležitější je výstupní soubor je soubor F06, tj. výstupní soubor. V něm se kromě výsledků můžou objevit chybové hlášky. K souboru je možno se dostat buď přímo s adresáře, nebo pomocí akce ",Monitor", objektu "Job". Pokud se zde, v souboru F06, nevyskytují žádné chyby (fatal error) výpočet proběhl a je možno načíst do programu patran výsledky.

6.7 Načtení výsledků a jejich analýza

Pomocí položky "Access Results" a tlačítka "XDB" (1.), je možno se dostat k výsledkům. Na aplikačním formuláři se zmáčkne tlačítko "Apply" (2.), viz Obrázek 6.14. O průběhu načítání je možno se přesvědčit v okně historie.

Approvise Results Durability	Analysis
xdb op2 ffg fig XDB Gutput2 MASTER/ DBALL t16/t19 d3plot ize Access Results	Action: Access Results Object: Attach XDB Method: Result Entities
	Code: MSC.Nastran Type: Structural
	Available Jobs
	SUBTITLE LABEL Select Results File Translation Parameters 2. Apply

Obrázek 6.14 – Načtení výsledku do programu Patran
V aplikačním menu se přepne do záložky "**Results**". Nejjednodušší cestou k získání výsledků je položka "**Quick Plot**", viz Obrázek 6.15. Vybere se položka "**Stress Tensor**" v okně "**Select Fringe Result**" (1.) a položka "**Displacement, Translation**" v okně "**Select Deformation Results**" (2.). Vše se potvrdí tlačítkem "**Apply**" (3.).

Results					
Action:	Create	-			^
Object:	Quick Pl	ot 🔻			
	V		477	A	
Select Res	sult Cases				
Default, A	A1:Static S	ubcase;-	MSC.N	AST	
<	ш			>	
Select Frin Stress In Stress In Stress In Stress Te	nge Result variants, M variants, M variants, V ensor,	lajor Prin lean Pres 'on Mises	cipal ssure sinal		_
Select Frin Stress In Stress In Stress In Stress Te Stress Te Quantity:	nge Result variants, M variants, M variants, V ensor,	lajor Prin lean Pres ion Mises Mises	cipal ssure cipal s		
Select Frin Stress In Stress In Stress In Stress In Stress In Quantity:	nge Result variants, M variants, M variants, V ensor, m variants, V ensor, m variants, V ensor, m variants, V ensor,	lajor Prin lean Pres Von Mises Mises	cipal ssure cinal s		
Select Frin Stress In Stress In Stress In Stress In Stress In Quantity: Quantity: Select Def	ige Result variants, M variants, M variants, V ensor, m variants, V ensor, m von	lajor Prin lean Pres von Mises Mises lesult Rotationa	cipal ssure cinal s		
Select Frin Stress In Stress In Stre	ige Result variants, M variants, M variants, V ensor, in variants, V ensor, in von formation R tormation R tormation R tormation R tormation R tormation R tormation R tormation R tormation R tormation R	lajor Prin lean Pres in Ris Mises Mises lesult Rotational recognitional	cipal ssure cinal s T		 ►
Select Frin Stress In Stress In Stre	ige Result variants, M variants, M variants, V ensor, with variants, V ensor, won formation R it Forces, F theorem, Rota ments, Rota ments, Tran	lajor Prin lean Pres lon Mises Mises desult Rotationa recelational	cipal ssure oinal s		
Select Frin Stress In Stress In Stress In Stress In Stress Te Quantity: Select Def Constrain Constrain Displacer	ige Result variants, M variants, M variants, V ensor. (variants, V ensor. (von formation R at Forces, F at Forces, F at Forces, Tran	lajor Prin lean Pres lon Mises Mises Mises Lesult Rotationa recognational Islational	cipal ssure oinal s		
Select Frin Stress In Stress In Stress In Stress In Stress In Cuestin Cuestin Constrain Constrain Constrain Displacer	e Result variants, M variants, M variants, V ensor, variants, V ensor, von	lajor Prin lean Pres on Mises Mises lesult Rotational hslational	cipal ssure oinal s		
Select Frin Stress In Stress In Stress In Stress In Stress Te Quantity: Select Def Constrain Constrain Displacer	ige Result variants, M variants, M variants, V ensor. variants, V ensor. von formation R it Forces, F it Forces, F it Forces, Tran ments, Tran	lajor Prin lean Pres Von Mises Mises Mises Result Rotational Islational	cipal ssure cinal s		

Obrázek 6.15 – Získání výsledků přes funkci "Quick Plot"

V grafickém okně je možno si prohlédnout výsledky, viz Obrázek 6.16. Teď je možno vyzkoušet i vykreslení dalších průběhů, např. posuvy, aj. Po prohlédnutí výsledků je možno program ukončit, např. přes hlavní menu položka **"File > Quit"**.



Obrázek 6.16 – Výsledné napětí na modelu

7 ZÁKLADNÍ KROKY PŘI TVORBĚ MODELU



Patran kombinuje topologické struktury pro definování geometrie. Topologické struktury jsou znázorněny na Obrázek 7.1. Všechny topologické entity mohou být vybrány pro provedení potřebné operace.



Obrázek 7.1 – Topologické struktury

	Seznam bodů 0D	Seznam křivek 1D	Seznam ploch 2D	Seznam objemů 3D
Bod (Point)	Point 123			
Křivka (Curve)	Curve 11.1 (Vertex)	Curve 11		
Plocha (Surface)	Surface 25.2.1 (Vertex)	Surface 25.2 (Edge)	Surface 25	
Objem (Solid)	Solid 33.3.2.1 (Vertex)	Solid 33.3.2 (Edge)	Solid 33.3 (Face)	Solid 33

V následující tabulce jsou uvedeny jednotlivé asociace pro různé typy geometrií, viz Tabulka 7.1. Čísla v udávané tabulce jsou jen pro ilustraci a nevážou se k žádnému obrázku.

Tabulka 7.1 – Asociace pro jednotlivé typy geometrií

7.1 Základní stavební prvky geometrie

Mezi základní stavební prvky geometrie v Patranu patří:

- 1. Bod (Point)
- 2. Křivka (Curve)
- 3. Plocha (Surface)
- 4. Objem (Solid)

Bod - je "nula" dimenzionální entita, která reprezentuje místo v prostoru. Při vytváření geometrií v Patranu, tj. křivek, ploch a objemů, jsou body tvořeny automaticky. Při vytváření vyšších entit není nutné vytvářet nejprve body. Při vytváření sítě se na uzlech dají generovat 0D prvky (např. osamělé hmoty).

Křivka – je jednorozměrná entita. Křivka je popsána obecnou vektorovou funkcí s jednou parametrickou proměnnou. Tato funkce může být vyjádřena v matematickém tvaru následovně:

$$(X,Y,Z)=f(\xi_1),$$

kde *X*, *Y*, *Z* jsou místa v prostoru a ξ_1 je parametrická proměnná. Křivka má dva body, každý na jednom konci. Parametrická proměnná se mění od 0 v bodě P1 (počátek) do hodnoty 1 v bodu P2. Při vytváření sítě se na křivce generují jednorozměrné prvky (bar).

Plochy - v programu Patran se rozeznávají dva základní typy ploch. Jedná se o jednoduché plochy (simple surface), zobrazují se zeleně a o plochy komplexní (komplex surface), které se zobrazují fialově. Rozdíl se projeví pro uživatele v době generování sítě. Jednoduchá plocha může být síťována libovolným způsobem, tj. IsoMesh, Paver a Hybrid.

Naproti tomu komplexní plocha může být síťována pouze posledními dvěma způsoby. Více o vytváření sítě nalezne čtenář v příslušné kapitole.

Jednoduchá plocha se dá popsat obecnou vektorovou funkcí dvou parametricky proměnných ξ_1, ξ_2 . Popis této plochy může být vyjádřen v matematickém tvaru:

$$(X,Y,Z) = f(\xi_1,\xi_2).$$

Jednoduchá plocha může mít pouze 3 nebo 4 hrany. V případě 3 hran se jedná o plochu se čtyřmi hranami, kdy jedna je degenerována. Parametrický počátek je v bodě P1 a obě parametrické souřadnice se mění od 0 do 1.

Komplexní plocha (complex surface, nebo také označovaná trimmed surface) je zobrazena fialově. Může mít více než čtyři hrany a navíc může mít vnitřní hranice (otvory, dutiny, atd.). Při definici této plochy nejsou použity parametrické souřadnice.

Objem – Obdobně jako v případě ploch existují dva základní typy objemových entit – jednoduchý (simple) a komplexní (komplex) objem. Liší se barvou. Jednoduchý objem je zobrazen v základním zobrazení modře, komplexní objem bíle. Rozdíl se projeví pro uživatele v době generování sítě. Na jednoduchém objemu může být síť vytvořena libovolným způsobem, tj. IsoMesh, TetMesh. Můžou být tedy generovány prvky ve tvaru čtyř- pěti- a šestistěnů. Naproti tomu komplexní objem může být síťován pouze metodou TetMesh. Více o vytváření sítě nalezne čtenář v příslušné kapitole.

Jednoduchý objem je definován parametrickou funkcí o třech proměnných ξ_1, ξ_2, ξ_3 . Může mít od 4 do 6 vnějších ploch. Počátek je opět v bodě PA a parametrické souřadnice se mohou měnit od 0 do 1. V případě 4 a 5 hraničních ploch jsou 2 nebo 1 plocha degenerovány.

Komplexní objem může mít libovolný počet hraničních povrchů. V Patranu se objevuje pojmenování "boundary representation" nebo taky B-rep. Komplexní solid může být vytvořen v nativním Patranovském formátu nebo může být reprezentován v parasolid formátu.

Kromě výše zmíněných entit lze při modelování použít **roviny**, **vektory** a uživatelsky definované **souřadné systémy**.

7.2 Tvorba geometrie

Geometrie může být v Patranu konstruována přímo, nebo může být naimportována z externího CAD systému a poté upravena. Postup importu byl dostatečně ilustrován v předchozím příkladu. Možnosti importu do Patranu jsou rozsáhlé a překračují možnosti tohoto kurzu. Pro detailní nastudování je možno použít dokumentaci Patranu.

Při modelování geometrie existují dva přístupy. Jedním je možnost použití standardních funkcí *Patranovského modeléru*, druhý přístup je použít *Parasolid jádro*. Standardní funkce využívají unikátní kód (knihovny). Jejich vývoj má za sebou dlouhou historii. Druhou možností je využití parasolid jádra v Patranu. Nevýhodou tohoto přístupu je nutnost mít zakoupenou separátní licenci pro použití této knihovny. Tento druhý přístup je zvláště pro "moderního" uživatele příjemnější.

Funkce, určeny pro modelování jsou umístěny v aplikačním menu pod záložkou "Geometry", viz Obrázek 7.2 – Nabídka aplikačního menu při tvorbě Geometrie.



Obrázek 7.2 – Nabídka aplikačního menu při tvorbě Geometrie

Tato záložka obsahuje jednak funkce pro vytváření výše zmíněných entit, jednak funkce pro manipulaci s entitami jako jsou posuvy, zrcadlení, atd. (ikonky v podokně "Transform") jednak funkce pro měření, editaci již hotových entit, verifikaci, mazání atd. (ikony v podokně "Geometry action").

Je zbytečné zde popisovat jednotlivé funkce, ty jsou dokumentovány v dostupném helpu a jejich názvy v aplikačním formuláři jsou dostatečně intuitivní. Zde bude popsán obecný postup při práci s aplikačním formulářem při modelování. Postup v aplikačním formuláři (nejen při vytváření geometrie) je ve smyslu "shora dolů", jak ilustruje Obrázek 7.3.



Obrázek 7.3 – Postup při generování geometrických entit

Prvním krokem je vybrání akce. V případě tvorby geometrie se jedná o položku "Create", při mazání "Delete", atd. (1.). Dalším krokem je výběr objektu, se kterým se bude pracovat (2.). Poslední je metoda (3.). Výše zmíněná nastavení ovlivní vzhled dolní části panelu (4.). Jsou zde zobrazeny jednak vstupní okna, jednak další zatržítka a tlačítka. Na Obrázek 7.3 je zobrazená funkce pro vytvoření bodu v prostoru. Ve většině funkcí je dostupná položka automatického vykonání funkce po zadání parametrů ("Auto Execute"). Tato funkce velice pomáhá při modelování nejen geometrie, ale je nutno mít na paměti, že při zatržení této funkce se daná operace provede automaticky a není nutno zmáčknout potvrzovací tlačítko "Apply". Po jeho zmáčknutí by se daná entita vytvořila znovu.

7.3 Vlastnosti a materiály

Pro popsání fyzikálního chování modelu je nutno zadat jednak materiálový model chování materiálu, jednak správně nastavit vlastnosti chování jednotlivých elementů. Využívají se funkce skryté v záložce "Properties", viz Obrázek 7.4.

Home	Geometry	Properties	Lo	ads/BCs	Meshing	Analysis	Results	Durability				
888			٨	1	22	1		s* 🔊 🚶		0	***	
Isotropio			Fluid	22	8 <u>8</u> <u>8</u>	🔊 👎	•	a y s) 	Solid	🏩 🖾 💥	1
Isotropi	Orthotropic	Anisotropic	Fluid	Co	mposite	OD Properties	1D P	roperties	2D Properties	3D Properties	Property Actions	Fields

Obrázek 7.4 – Vzhled aplikačního panelu při zadávání materiálů a vlastností

Pro popis jednotlivých elementů a jejich vlastností je vhodné prostudovat manuál dodávaný s řešičem, v našem případě program Nastran. V případě tohoto produktu se jedná o dokumentaci v manuálech, které jsou dodaný přímo v instalaci, s názvy "*Guick Reference Guide", "Getting Started User's Guide" a "Linear Static User's Guide"*. Zde jenom uveď me nejzákladnější, často užívané, elementy, viz Tabulka 7.2. Ukázka zadání vlastností pro trojrozměrné prvky byla ukázána v úvodním příkladu. Pro delší typy elementů se jedná o obdobný postup.

Kategorie	Pružina	1D Elementy	2D Elementy	3D Elementy	Tuhé (Rigid) Elementy
Fyzikální chování	Jednoduchá pružina	Tyčový nebo nosníkový element	Tenká deska, skořepina, membrána	Trojrozměrné pružné těleso	Absolutně tuhé tyče
Jméno v Nastranu	CELAS2	CONROD CROD CBAR	CQUA4 CTRIA3	CHEXA CPENTA CTETRA	RBE2
Vlastnost i	Nejsou potřebné	PROD PBAR	PSHELL	PSOLID	Nejsou potřebné
Obrázek	•-///-•	• •			••
			\bigtriangleup	$\bigtriangledown \diamondsuit$	

Tabulka 7.2 – Základní typy elementů v programu Nastran

7.4 Okrajové podmínky

V předchozích podkapitolách byly zmíněny základní funkce pro tvorbu geometrie a konečnoprvkové reprezentace modelu. Pro unikátní řešení je nutno zadat potřebné okrajové podmínky. Vazební (kinematické) okrajové podmínky musí být v případě statické analýzy zadány tak, aby nemohlo dojít k posuvu tělesa jako tuhého celku. Pro silové okrajové podmínky je k dispozici velká paleta funkcí, např. osamělá síla, tlak, zrychlení, aj. Postup zadávání byl uveden v úvodním příkladu.



Obrázek 7.5 – Aplikační pruh a nabídka funkcí pro zadání okrajových podmínek

Kromě zadání okrajových podmínek je zde možnost vytvořit případy zatížení (zátěžné stavy), tzv. **"Load Cases"**. Jedná se o to, že jeden model může být zatížen více způsoby. Např. v prvním případě most může být zatížen jen vlastní váhou vozovky, v druhém případě na něj působí zatížení od projíždějícího auto, dále pak povětrnostní vlivy, atd. Z každého zatížení je možno vytvořit jeden zátěžný stav a provést potřebné simulace. V případě lineární analýzy platí princip superpozice a lze separátní výsledky sčítat. Toto je možno provést při zpracování výsledků a analyzovat jednotlivé kombinace bez nutnosti počítání.

Jak zadávat okrajové podmínky bylo dostatečně ilustrováno v předchozí kapitole. Postup při tvorbě dalších typů okrajových podmínek je velmi podobný.

7.5 Tvorba sítě

Konečnoprvkový model součásti či systému je matematická reprezentace, která reprezentuje součást či systém pomocí malých, jednoduše tvarovaných entit, které jsou nazývány konečné prvky. Obecněji o MKP viz úvodní kapitoly. Konečné prvky mohu mít různý tvary, podle toho na jakou reprezentaci se mají použít. Základní tvary jsou znázorněny na obrázku Obrázek 7.6.

Kromě tvaru musí být element popsán z pohledu jeho fyzikálního chování. To je zadáváno pomocí vlastností ("properties").

Kromě toho se ještě rozeznávají prvky s lineární či kvadratickou aproximací. Zjednodušeně řečeno prvky, které mají pouze uzly v rozích, jsou lineární, prvky které mají tzv. meziuzly (uzly umístěné např. uprostřed hrany či plochy) jsou kvadratické. Pro prostorový prvek jsou zobrazeny na Obrázek 7.7.

Konečné prvky se dají vytvářet přímo, tj. manuálně se v nějakém umístění vytvoří uzly a mezi tyto uzly se umístí daný prvek. Tento způsob síťování se již moc často nevyužívá, spíše se využívá druhý způsob, při kterém se síť nechá automaticky generovat na předem připraveném geometrickém modelu. Při síťování se tedy postupuje následnými kroky:

- 1. Vytvoří se, nebo se importuje geometrie. Při importu se dále vyčistí nepotřebné části (např. malá sražení, otvory, atd., tedy z pohledu výpočtu nepodstatné části).
- 2. Zvolí se topologie elementu (např. čtyřstěn, lineární, kvadratický, aj.).
- 3. Vybere se typ síťovacího algoritmu ("mesher", např. Paver)

- 4. Nastaví se parametry sítě (např. velikost elementu, pokrytí oblouků, atd.)
- 5. Provede se vlastní síťování. Pokud vzniklá síť (na její kvalitě záleží přesnost výsledků) nesplňuje podmínky, může se celý proces od bodu 2. opakovat až do dosažení požadované hustoty a kvality sítě.



Obrázek 7.6 – Základní tvary elementů v programu Patran (barvy odpovídají drátovému zobrazení v programu a základnímu nastavení).



Obrázek 7.7 – Lineární vs. kvadratické prvky

7.5.1 Způsoby generace sítě

Nutno na tomto místě podotknout, že ač program Patran má poměrně velkou škálu postupů a funkcí (převážně pro dvojrozměrné sítě), jak vytvořit potřebnou síť na zvolené entitě, tak existují i lepší programy. V programu jsou dostupné následující algoritmy pro automatickou tvorbu sítě:

- IsoMesh,
- Paver,
- Hybrid,
- TetMesh,
- Sweep.

Kromě těchto technik existují i následující postupy na generování sítí (převážně techniky generace sítě na plochách):

- Mesh on mesh,
- Sheet body,
- Advance surface, atd.

Jak již bylo zmíněno výše je možno také vytvářet síť přímo, tj. vygenerovat přímo uzly a mezi ně umístit příslušné prvky. Pro generování praktických úloh není tento způsob příliš vhodný. Naopak někdy je potřeba manuálně upravit polohu uzlů sítě. Pro tento způsob úpravy sítě poskytuje Patran dostatek funkcí.

✤ IsoMesh

IsoMesh (pro tvorbu mapované sítě) – 1D, 2D, 3D sítě. Vhodný pro síťování všech parametrických entit, tj. křivek (žlutá), jednoduchých ploch (zelená) a objemů (modrá). Jestliže je geometrie neparametrická nelze tento algoritmus použít.



Obrázek 7.8 – IsoMesh na parametrické ploše (jednoduché, zelené). Byly použity prvky s topologií QUAD a TRI



Obrázek 7.9 – IsoMesh na jednoduchém objemu (modrý). Je možno použít prvky s topologií TET, WEDGE a HEX

Pokud není základní geometrie parametrická (tedy jednoduchá plocha nebo jednoduchý objem) je nutno tuto geometrii upravit pro použití IsoMesh způsobu síťování. Možná úprava pro dvojrozměrnou úlohu je vidět na následujícím obrázku. Obdobně lze postupovat v případě prostorových úloh.



Obrázek 7.10 – Použití techniky IsoMesh pro neparametrickou plochu

\rm 🖊 Paver

Slouží pouze generování sítě na plochách, nelze použít pro generování objemových prvků. Je použitelný na jakoukoliv plochu tedy jak na jednoduchou (zelenou), tak na komplexní (fialovou). Algoritmus začíná při vytváření sítě na hranách a směřuje směrem do středu plochy.



Obrázek 7.11 – Použití techniky Paver a ovlivnění pomocí nastavení hustoty dělení (Mesh Seed) a použitím asociované geometrie.

\rm Hybrid

Stejně jako předchozí postup, lze hybridní síťař použít pouze pro generování sítě na plochách a to jak rovinných tak prostorových. Síť je vytvářená obdobně jako u Paver algoritmus, ale většinou vytváří lépe strukturovanou síť. Nutno konkrétně vyzkoušet. Při použití hybridního algoritmu není možno použít asociovanou geometrii (obdobně nelze využít u IsoMesh techniky). Asociovaná geometrie je ignorována.



Obrázek 7.12 – Porovnání technik Paver, Hybrid a IsoMesh. Byla volena stejná velikost elemntů. Při IsoMesh technice musela být plocha rozdělena na parametrické plochy (viz výše).

\rm TetMesh

Využívá se pro automatickou generaci objemových prvků. Použitelný na jakýkoliv typ objemu (bílý, modrý). Generuje síť tvořenou čtyřstěny (tetraedry). Využívá se tzv. Delauney algoritmus. Vytváření sítě je v následujících krocích: nejprve se vytvoří síť na povrchu (pomocí hybridního postupu, viz výše) a pak se generují z takovýchto prvků prvky do prostoru (objemu). Jedná se o robustní a rychlý algoritmus. Ukázka této techniky byla ilustrována v úvodním příkladu při řešení napjatosti smykového snímače, viz výše.

♣ Sweep mesh

Použitelný pro 2D a 3D sítě. Jedná se o metodu vytahování entit. Z jednorozměrné entity při vytahování vzniká entita dvourozměrná, z dvourozměrné entity pak entita trojrozměrná. Pomocí tohoto postupu se dají vytvářet velmi dobré sítě. Existuje několik možnosti vytahování (ve směru normály, rotace, podél křivky, atd.). Při vytahování nejsou vzniklé elementy asociovány s geometrií. Pokud se zadávají okrajové podmínky, popř. vlastnosti na solid entity, je nutno provést dodatečnou asociaci prvků s geometrií. Asociace se provádí pomocí příkazu "Associate". Potřebuje-li se oddělit síť od geometrie je toho možno dosáhnout funkcí "Disassociate".



Obrázek 7.13 – Síť vytvořená pomocí TetMesh a pomocí Sweep techniky

Pro pokrytí stejné oblasti pomocí TET prvků (čtyřstěnů) se potřebuje mnohem více prvků než v případě pokrytí řešené oblasti prvky ve tvaru HEX (krychle), popř. WEDGE (klíny). Při vytváření sítě se dává přednost HEX prvkům (krychličky) před prvky tvaru WEDGE (klíny). Obdobně se dává přednost prvkům WEDGE (klíny) před prvky TET (čtyřstěny). Co se týče volby, jestli se jedná o lineární nebo kvadratické prvky, je jasno u TET prvků, ty se využívají ve variantě s meziuzly, protože lineární varianta nedává dobré výsledky. Naproti tomu výsledky s prvky HEX jsou dostatečně přesné v obou dvou variantách. U lineárních prvků je však obvykle potřeba větší hustota sítě na stejně velkou oblast. Výše byly zmíněny i další techniky Mesh on mesh, Sheet body, Advance surface, atd. Tyto techniky slouží ke generování dvojrozměrných prvků. Zmíníme se zde i o technice Mesh on mesh. Při této technice se vygeneruje libovolná síť a po té se vezme za základ pro vygenerování nové sítě. Takto vytvořená síť již není vázána na původní plochy a může se dosáhnout velmi dobrých výsledků. Ukázka tohoto přístupu je zobrazena na následujícím obrázku. Opět, pokud to je potřeba se dá vytvořená síť asociovat s původními plochami, na kterých byla vygenerována původní síť.



Obrázek 7.14 – Ukázka techniky Mesh on mesh

Přístup k funkcím pro vytváření a editaci sítě jsou skryty v aplikačním menu v záložce "Meshing", viz Obrázek 7.15.

Home	Geometry Properti	es Loads/BCs	Meshing Analysis R	esults Durability				
	Z 🖂 🛂		1. 🔷 🖍 🖉 🖉	NC ~		RBE1 RBE2 RBE3	(1,2,3)	1 4
78	Surface Auto Hard Points	₽ ● 7	🔩 📓 🎴 🛋 💥 🗙	××ør	Edit SuperElement	◣▴◢◙∿≥	DOF List	Spot Fastener Weld
Mesh Se	eds Mesh Control	Meshers	FEM Actions	Node	Element	MPC	DOF List	Connector

Obrázek 7.15 – Nabídka funkcí pro vytváření sítě

7.6 Nastavení řešiče, vlastní řešení, datový soubor

K nastavení řešiče a k jeho spuštění se přistupuje přes záložku "Analysis". V případě, že pro výpočty je zvolený produkt Nastran, je aplikační formulář znázorněn na obrázku Obrázek 7.16. Při postupu shora formulář obsahuje následné prvky.

Dostupné úlohy (Available Jobs) – v tomto okně jsou dostupné již předem definované úlohy. V databázi může být více úloh.

Jméno úlohy (Job Name) – slouží k vytvoření jména pro novou úlohu, ve které budou uložena jednotlivá nastavení.

Další tři položky, tj. **Title, Subtitle, Label,** jsou nepovinné a slouží k vytvoření poznámek k dané úloze.

Analysis	
Action:	Analyze 🔻
Object:	Entire Model
Method:	Full Run
Code:	MSC.Nastran
Туре:	Structural
Available	Jobs
<	>
Job Name	•
Job Desc	cription (TITLE)
Sep-11	at 12:22:57
SUBTITLE	E
LABEL	
	Translation Parameters
	Solution Type
	Direct Text Input
	Select Superelements
	Subcases
	Subcase Select
	Apply

Obrázek 7.16 – Aplikační formulář pro nastavení řešiče Nastran

Tlačítko **"Translation parameters …"** otevře nové okno, ve kterém jsou nastavení určená pro generování kódu pro příslušný řešič.

Tlačítko "Solution Type …" otevře novou záložku, viz Obrázek 7.17, ve které je možno vybrat z typu analýzy (1.). V případě lineární statické analýzy se nechá zaškrtnuté

defaultní nastavení. Jedná se o sekvenci SOL101. Při výpočtech složitějších a větších úloh je výhodné upravit možnost zápisu výsledku do souboru F06. Zmáčknutím tlačítka "**Result Output Format …**" (2.) se otevře nové okno (3.) ve kterém je dobré odznačit položku "**Print**". V tomto případě se nebudou požadované výsledky tisknout do souboru F06 ale pouze ukládat do databáze "**XDB**". Všechny okna je pak nutno zavřít tlačítkem "**OK**".

Analysis Solution Type	Solution Parameters		💷 Results (Output For	mat	
MSC.Nastran	C Static Solution Parameters		OP2	XDB	Print	Punch
Solution Type	✓ Database Run					
Solution Type:	Cyclic Symmetry		MASTERO	inly	MASTER	DBALL
LINEAR STATIC			XDB Buffer Si	ze:	1024 🔻	
O NONLINEAR STATIC	Automatic Constraints					
O NORMAL MODES	Inertia Relief					
OBUCKLING	C Alternate Deduction					
COMPLEX EIGENVALUE	Alternate Reduction		ОК		Defaults	Cancel
O FREQUENCY RESPONSE	SOL 600 Run					
O TRANSIENT RESPONSE						
O NONLINEAR TRANSIENT		1700 Parameters				
O IMPLICIT NONLINEAR	Contact Parameters					
O DDAM Solution						
	Shell Normal Tol. Angle =					
SelectASE1/USE1	Mass Calculation:	Lumped 🔻				
	Data Deck Echo:	None 🔻				
Solution Parameters	Plate Rz Stiffness Factor =	100.0				
Solution Sequence: 101	Maximum Printed Lines =					
	Maximum Run Time =					
OK Cancel	WtMass Conversion =	1.0				
	Node i.d. for Wt. Gener. =					
	Default Initial Temperature =					
	Default Load Temperature =					
	Rigid Element Type:	LINEAR 🔻				
	Max p-Adaptive Cycles =	3				
	Results Output F	ormat 2.				
	OK Defaults	Cancel				

Obrázek 7.17 – Nastavení typu analýzy

Další tlačítko na základním panelu (Obrázek 7.16) je tlačítko **"Direct Text Imput** ...", které je určené pro přímé ovlivnění textového vstupního souboru Nastranu.

Tlačítko "Select Superelements …" je určeno pro konfiguraci tzv. superelementů.

Důležité je následné tlačítko s názvem "Subcases …". Při stlačení tlačítka se otevře nové okno, ve kterém se na základě zátěžných stavů, viz okrajové podmínky výše, dají definovat tzv. subceses, tedy nastavení jednotlivých zátěžných stavů.

Dalším důležitým je tlačítko s názvem "Output Requests …" (1.), viz Obrázek 7.18. Po jeho stlačení se otevře nové okno, ve kterém se dají zadat typy výsledků, které mají být ukládány do výsledkové databáze (2.). Okno se uzavře tlačítkem "OK" (3.). Na předchozím panelu se musí vše potvrdit tlačítkem "Apply" (4.). Okno se pak může uzavřít tlačítkem "OK" (5.).

Tlačítko **"Subcase Select …"**, viz Obrázek 7.16, je určeno k výběrům jednotlivých "Subcase" definovaných v předchozím kroku. Je výhodné do jedné úlohy umístit všechny zátěžné případy a nerozhazovat je do jednotlivých úloh (job). V případě vytvoření více úloh dochází v každém výpočtu k novému sestavování výpočtového modelu, což prodlužuje čas výpočtu. V případě umístění všech zatížení do jedné úlohy se pouze mění zátěžný vektor a z toho důvodu je řešeni rychlejší.

🖪 Subcases 📃 🗆 🗙	🖪 Output Requests
Solution Sequence: 101 Action: Create	SUBCASE NAME: Default SOLUTION SEQUENCE: 101 Form Type: Basic
Available Subcases	Select Result Type Displacements Element Stresses Constraint Forces Multi-Point Constraint Forces Element Forces Applied Loads Element Strain Energies Element Strains Image: Constraint Forces Applied Loads Element Strain Energies Element Strains Image: Constraint Forces Applied Loads Element Strain Energies Element Strains Image: Constraint Forces Applied Loads Element Strains Image: Constraint Forces Applied Loads Element Strains Image: Constraint Forces DispLACEMENT(SORT1,REAL)=All FEM SPCFORCES(SORT1,REAL,VONMISES,BILIN)=All FEM;PARAM,NC SPCFORCES(SORT1,REAL)=All FEM Image: Constraint Forces Image: Constraint Force
Subcase Options Subcase Parameters 1. Output Requests 1. Direct Text Input Select Explict MPCs Apply Cancel 4. 5.	 TITLE This is a default subcase. ✓ ✓ SUBTITLE Default LABEL This load case is the default load case that always appears 3. OK Defaults Cancel

Obrázek 7.18 – Definice a nastavení zátěžných kroků

Poslední tlačítko je tlačítko "**Apply**". Po jeho stisku dojde k vytvoření vstupního souboru pro Nastran a po jeho vytvoření k spuštění výpočtu. Během a po výpočtu je vhodné zkontrolovat, jak daná úloha proběhla. Dá se to provést způsobem popsaným v úvodním příkladu (Action: Monitor, Object: Job, zobrazit soubor F06). Pokud byla úloha vypočtena, je

nutno "natáhnout" získané výsledky zpět do Patranu. Postupuje se postupem v ukázkovém příkladu, viz předchozí kapitola.

7.7 Výsledky

Posledním krokem, a tím nejdůležitějším, je zobrazení výsledků a jejich zhodnocení. K výsledkům se lze dostat přes záložku "Results" v aplikačním menu, viz Obrázek 7.19.

Fringe/Deformation	Deformation	Fringe	→ Vector	at Tensor	K? Cursor	Contour	🥔 Isosurface	Freebody	Graph	Animation	Report	Derive		P Insight	k k k	Spectrums	Ranges	iitles	Colors	Toggle
Quick Plot	Result Plots R									Result Actions	Insight	XY Plots			Imaging					

Obrázek 7.19 – Aplikační pruh a nabídky pro práci s výsledky

V tomto menu je nepřeberné množství funkcí pro získání a zobrazení výsledků. Nejjednodušší je využití funkce **"Quick Plot"**, která byla dokumentována v ukázkovém příkladu. Dalšími položkami menu **"Results"** jsou nabídky pro vykreslení deformací, hodnot ve formě barevných map, vektorů tenzorů, kontur, tvorba grafů z načtených hodnot, generování reportů, možnosti výpočtů s vypočtených dat, atd.

Shrnutí pojmů

- 1. Základní stavební prvky geometrie: bod, křivka, plocha a objem.
- 2. Jednoduchá (parametrická) a komplexní plocha. První je v základním drátovém zobrazení modelu zelená, druhá je fialová.
- 3. Jednoduchý (parametrický) a komplexní objem. První typ objemu je v základním drátovém zobrazení modrý, druhý bílý.
- 4. Základní tvary elementů bar, tri, quad, tet, wedge a hex. Lineární a kvadratická formulace.
- 5. Manuální a automatická tvorba sítě.
- 6. Techniky IsoMesh, Paver, Hybrid, TetMesh a Sweep. Technika Mesh on mesh.
- 7. Funkce Quick Plot.

8 TÁHLO



Protože uživatel je již obeznámen s prostředím programu Patran nebude výklad probíhat tak detailně jako v případě předchozího příkladu.



Obrázek 8.1 – Základní geometrie modelu

8.1 Tvorba geometrie

8.1.1 Založení nové databáze a nastavení jejich parametrů

- Spustit program Patran, založit novou databázi.
- Při založení nastavit preferenci na řešič Nastran a velikost zvolit dle velikosti modelu na hodnotu 150.
- Po založení databáze spustit z hlavního menu položku "**Preferences** > **Geometry** … > **Geometry Scale Factor**" nastavit na milimetry. Potvrdit tlačítkem "**Apply**".

8.1.2 Tvorba geometrického modelu

- Přepnout se do záložky "Geometry" na aplikačním panelu.
- Nebude-li řečeno jinak, budou funkce označovány v pořadí Action > Object > Method, plus příslušná nastavení.
- **Create > Surface > XYZ**. Do položky "Vector Coordintes List" zadat "<100 40 0>". Potvrdit tlačítkem "Apply". V grafickém okně by se měl objevit zelený obdélník, pokud je zapnuto drátové zobrazení.



Obrázek 8.2 – Tvorba geometrie, krok 1

Edit > Surface > Add Fillet. Zadat 20 do položky "Fillet Radius". Zapnout položku "Auto Execute". Vybrat vytvořenou plochu, její název se objeví v položce "Surface to Fillet". Boxem vybrat pravý horní roh plochy. V položce "Vertex List" se objeví příslušný název a funkce zaoblí vybraný roh.





57

58

- Pomocí tlačítka "Point Size" v záložce "Home" na hlavním panelu zvizualizovat body. Vybrat funkci "Transform > Point > Translate". Zadat vektor "<0 -20 0>" do položky "Direction Vector". Pomocí myši vybrat pravý bod na horní hraně (místo kde hrana přechází v oblouk". Ten se přesune na pozici pro střed otvoru.
- Použitím funkce "Edit > Surface > Add Hole". Položka "Option" musí být zapnuta na hodnotě "Center Point". Zadat rádius v položce "Hole Radius", zadat 10. Zapnout funkci "Auto Execute". Vybrat plochu aby se zobrazila v položce "Surface" a vybrat v předchozím bodu vytvořený bod do "Center Point List". Vznikne otvor na požadovaném místě.



Obrázek 8.4 – Tvorba geometrie, krok 3

• Na aplikačním panelu v záložce "Home" zapnout zobrazení "Iso 1 View". Aplikovat funkci **"Create > Solid > Extrude"**. "Translation Vector" nastavit na hodnotu "<0, 0, 10>". Vybrat plochu do položky "Surface List". Vygeneruje se objem.



Obrázek 8.5 - – Tvorba geometrie, krok 4

 Pomocí funkce "Delete > Surface" smazat základní plochu z které byl generován objem. Pomocí "Edit > Solid > Edge Blenad" provést sražení hran. Vybrat pravou ikonku, do položky "Offset" zadat hodnotu 1. V položce "Edgeds to Blend" vybrat první ikonu a vybrat příslušné hrany.



Obrázek 8.6 - – Tvorba geometrie, krok 5

• Zrcadlení objemu. Využijeme funkci **"Transform > Solid > Mirror"**. Definujme zrcadlící rovinu do položky "Define Mirror Plane Normal" zadat hodnotu "Coord 0.2" buď manuálně, nebo pomocí selekčního filtru a selekce základního souřadného systému v okně geometrie. Vybrat objem a funkce se provede.



Obrázek 8.7 – Tvorba geometrie, krok 6

Sečteme vzniklé objemy a to přes funkci "Edit > Solid > Boolean". Zapnout první tlačítko pro součet. Do okna "Solid List" vybrat oba objemy a potvrdit tlačítkem "-Apply-". Tímto je dokončeno modelováni objemu.

59



Obrázek 8.8 – *Tvorba geometrie, krok* 7

Z cvičného důvodu je možno vyzkoušet export modelu do externího souboru např. v parasolid, iges, apod. Provede se to pomocí funkce z hlavního menu pomocí "File > Export …". Po stlačení tlačítka se objeví dialogové okno podobné tomu při importu a je možno provést příslušná nastavení a uložit soubor ve zvoleném formátu.

8.2 Tvorba konečno-prvkového modelu

Na začátku je nutno upozornit, že by šlo při modelování využít zjednodušení na úlohu dvojrozměrnou (rovinná napjatost), my však z cvičných důvodů provedeme analýzu na trojrozměrném tělese. Dále by šlo využít symetrie. Tyto postupy budou určeny pro samostatnou činnost.

8.2.1 Zjednodušení geometrického modelu

Na modelu se vyskytují zbytečné zkosy. Z pohledu výpočtu jsou zcela bezvýznamné a zbytečně by vznikaly v těchto místech malé elementy. Protože jsme vytvářeli daný model, vůbec jsme je nemuseli vytvářet. Protože se však jedná o cvičnou úlohu, jejímž úkolem je seznámení se s funkcionalitou Patranu, byl vytvořen celý geometrický model. Dále je možno si ukázat pomocníka na odstraňování nepotřebných částí geometrie. Tento pomocník se nachází v položce hlavního menu **"Tools > Modeling > Featrure Recognition …"**. Otevře se aplikační formulář ve kterém se vybere do položky "Solid List" objem a poté se klikne pomocí pravého tlačítka myši na položku stromu "Featur Tree" a z plovoucího menu se vybere položka "Recognize – Automatic." Po rozbalení stromu se objeví nalezené otvory, sražení a zaoblení. Pomocí myši se vyberou jednotlivé položky pro zrušení a pravým tlačítkem se zruší pomocí položky "Delete". V grafickém okně by měly zmizet všechna sražení.

Tento pomocník se také dá využit k editaci, např. zvětšení či zmenšení rádiusu děr, úpravě zaoblení, apod.

8.2.2 Tvorba sítě pomocí automatického generátoru sítě, metoda TetMesh

• Zapnout funkci pro tvorbu sítě konečných prvků. Přepnout se do záložky "Meshing" na aplikačním panelu. Použije se funkce "Create > Mesh > Solid". Topologii elementu zapnout na Tet10.



Obrázek 8.9 – Tvorba sítě, krok 1

• Vyzkoušet nastavení pod položkou "TetMesh Parameter". V daném okně nastavit parametr "Maximum h/L" na polovinu, tj. 0.05 a parametr "Minimum Edge Length" také na polovinu, tj. 0.1. Potvrdit tlačítkem "OK" a provést opět síťování s velikostí elementu 12.



Obrázek 8.10 – Tvorba sítě, krok 1

• Z předchozích obrázků jsou patrné rozdíly ve vytvořené síti hlavně v místech otvorů. Vyzkoušet si různá nastavení daných parametrů. Po vyzkoušení různých nastavení smazat síť konečných prvků příkazem "Delete >Mesh > Solid".

Fakulta strojní, VŠB-TU Ostrava

- Další krok je vyzkoušet metodu "Sweep" a metodu "Mesh on mesh". Prvním krokem při vytahování sítě je vytvoření (v případě vytahování prostorové sítě) elementů na jedné ploše. Může se využít libovolná metoda na tvorbu sítě na povrchu. Přepnout se na funkci "Create > Mesh > Surface". Vybrat položku "Elem Shape" na "Quad", "Mesher" na "Paver" a dále "Topology" na "Quad4". Vybrat jednu plochu solidu, ta co je nejblíže, nastavit položku "Value" na polovinu defaultně určené hodnoty, tj. přepsat na 6. Provést síťování.
- Vytvořenou síť jde pomocí funkce "Modify > Mesh > Surface" vyhladit.
- Vrátit se do položky "Create > Mesh > Surface" a vyzkoušet nastavení s parametry pod tlačítkem "Paver/Hybrid Parameters …". Položku "Max h/L" na polovinu, tj. 0.05. Následující obrázky ukazují obě možnosti.



Obrázek 8.11 – Tvorba sítě, krok 3



Obrázek 8.12 – Tvorba sítě, krok 4

- Obdobně vyzkoušet i jiná nastavení. Vše vyzkoušet i pro Hybridní síťař.
- Přepnout "Create > Mesh > On Mesh". Zapnout položku "Delete Elements" a "Iso Mesh". Zmáčknout tlačítko "Mesh Parameters …" a zapnout nastavení "Curvurature Check" a "Washers around Holes". Nechat defaultní nastavení. Potvrdit tlačítkem "OK". Vybrat všechny elementy a nastavit položku "Global Edge Length" na hodnotu 5. Potvrdit tlačítkm "-Apply-".





- Vyzkoušet i další nastavení, ale v závěru se vrátit do předchozího kroku a vygenerovat síť z předchozího kroku.
 - Vlastní vytahování. "Sweep > Element > Extrude". Stlačit tlačítko "Mesh Control …" a zapnout "Element Length (L)" a nastavit hodnotu "Length" na hodnotu 5. Vybrat položku "Direction Vector" a pomocí selekčního filtru "Base and tip points" vybrat dva uzly na horní hraně.



Obrázek 8.14 – Tvorba sítě, krok 6

Takto se nadefinuje vektor pro vytažení. Zapnout tlačítko "Delete Original Elements". Pomocí boxu vybrat všechny elementy a potvrdit tlačítkem "-Apply-". Vznikne síť prostorových prvků.



Obrázek 8.15 – Tvorba sítě, krok 7

- Posledním krokem je asociace vzniklých prvků k základnímu objemu. Provede se to funkcí "Associate > Element > Solid". Před použitím funkce je nutno nastavit globální toleranci na hodnotu např. 1. Ke konstantě tolerance se lze dostat přes položku hlavního menu "Preferences > Global …" a nastavit políčko "Global Model Tolerance". Po provedení asociační operace lze vrátit hodnotu na původní.
- Tímto krokem je dokončena tvorba sítě.

8.3 Zadání parametrů materiálů a nadefinování vlastností elementů

8.3.1 Zadání materiálu

Materiál budeme uvažovat homogenní a izotropní s elastickými konstantami: modul pružnosti 210 GPa a Poissonovo číslo 0,3. Materiál se zadá, tak jak bylo uvedeno v ukázkovém příkladu.

8.3.2 Zadání vlastností

Stejně jako pro předchozí bod. Využijte znalosti z ukázkového příkladu.

8.4 Okrajové podmínky

Dalším krokem je zadání okrajových podmínek. Budeme předpokládat zatížení a vazby dle následujícího obrázku.



Obrázek 8.16 – Okrajové podmínky, schéma

V levé části budeme předpokládat, že je součást uchycena bez možnosti jakéhokoliv pohybu (např. přivařena) a tím pádem můžeme předpokládat ideální vetknutí. To znamená, že musíme odebrat všechny stupně volnosti. U prostorových prvků jsou v každém uzlu tři stupně volnosti, pohyby ve směru os x, y a z.

V pravém horním otvoru budeme přepokládat působení zátěžné síly. V otvoru přepokládejme čep o stejné velikosti jako je otvor díry. V tomto případě je vhodné aplikovat na asi polovinu otvoru tlak než aplikovat osamělou sílu. Je nutno přepočítat aplikovanou sílu na tlak, tj. působící sílu vydělíme kolmým průmětem plochy čepu do roviny síly. Výsledná hodnota tlaku je tak 30 MPa. Kromě toho, že aplikujeme tlak na plochu, ještě tento zátěžný tlak rozložíme tak, aby největší tlak byl v ose působící síly a pozvolna klesal. Podlé jaké funkce, ale tento tlak klesá, je otázka. Osvědčilo se využít rozložení podle funkce sinus popř. kosinus.

Volba okrajových podmínek může velmi "rozhodit" výpočet a to až tak, že sice získáme nějaké výsledky, ale ty nebudou odpovídat realitě. Proto je nutno před každou aplikací okrajových podmínek správně pochopit funkci analyzované součásti.

Při aplikaci okrajových podmínek je v programu Patran možno tyto zadat buď na geometrický, nebo na konečno-prvkový model. Při aplikaci kinematické okrajové podmínky (vetknutí) využijeme první možnost, tj. budeme aplikovat okrajové podmínky na geometrický model. V případě aplikace silové okrajové podmínky využijeme druhou možnost a aplikujeme rozložení tlaku přímo na konečno-prvkový model.

8.4.1 Zadání kinematických okrajových podmínek (vazby)

• V aplikačním menu se přepnout do záložky "Loads/BCs".

- Vybrat funkci "Create > Displacement > Nodal". Do okna s názvem "New Set Name" zadat název, např. fix.
 - Stlačením tlačítka "Input Data …" se přepnout do další záložky a v položce "Translation <T1 T2 T3>" zadat hodnoty <0 0 0>. Tento předpis znamená, že byly odebrány všechny stupně volnosti. Vše se vztahuje k souřadnému systému Coord 0. Potvrdit tlačítkem "OK".
 - Po stlačení tlačítka "Select Application Region" se objeví nový formulář a pomocí myši, popř. s použitím filtru vybrat požadovanou oblast na kterou bude předepsaná okrajová podmínka aplikována. Přidat vyselekovanou plochu, pomocí tlačítka "Add" do okna "Application Region". Po té potvrdit tlačítkem "OK". Po zmáčknutí tlačítka bude uzavřena aktuální záložka a v aplikačním formuláři se objeví předchozí okno.



Obrázek 8.17 – Aplikace okrajových podmínek, krok 1

 Potvrdit tlačítkem "-Apply-". Název okrajové podmínky (zde fix) bude přesunuto do "knihovny" definovaných okrajových podmínek zobrazených v okně "Existing Sets".

8.4.2 Vytvoření pole pro definici rozložení tlaku

- **4** Definice uživatelského souřadného systému
 - V aplikačním menu se přepnout do záložky "Geometry".
 - Pomocí funkce "Create > Point > ArcCenter" vygenerovat v místě horního otvoru pomocný bod, do kterého bude umístěn souřadný systém.



Obrázek 8.18 – Aplikace okrajových podmínek, krok 2

Vybrat funkci "Create > Coord > Euler". Přepnout "Type:" na hodnotu "Cylindrical". V okně "Origin" vybrat vygenerovaný bod. V okně se automaticky vytvoří požadovaný souřadný systém (pokud je zapnuta funkce "Auto Execut", pokud ne potvrdit tlačítkem "-Apply-"). Že se jedná o cylindrický souřadný systém lze poznat dle popisku os T, R a Z.



Obrázek 8.19 – Aplikace okrajových podmínek, krok 3

Tvorba prostorového pole pro rozložení tlaku

- V aplikačním menu kliknout na ikonu s názvem "Create Spatial function" v položce "LBC Fields".
- V aplikačním formuláři nyní je možno definovat funkci "Create > Spatial > PCL Function". Do položky "Field Name" zadat název, např. rozlozeni_tlaku. "Field Type" zapnout na "Scalar". Vybrat do položky "Coordinate Systém" vytvořený souřadný systém Coord 1. Do položky "Scalar Function" zadat hodnotu cosr(`T). Proměnou `T je nutno vybrat z okna "Independent Variables". Vše potvrdit tlačítkem "-Apply-".
- Provést kontrolu definované funkce. Přepnout se do funkce "Show" v daném aplikačním formuláři. Vybrat v knihovně "Select Field To Show" definovanou funkci, tj. rozlozeni_tlaku. Zmáčknout tlačítko "Specity Range …". Otevře se nové okno a v položce "Maximum" zadat hodnotu 6.28 (tj. 360° v radiánech) a v položce "No. of Points" zadat hodnotu 20. Potvrdit tlačítkem "OK". Stlačit tlačítko "Apply". Otevřou se dvě nová okna, jedno je graf zobrazující danou funkci a druhé je tabulka s hodnotami. Zkontrolovat správnost. Tabulku zavřít tlačítkem "Cancel". Zmačknout tlačítka "Delete All Curves" a "Unpost Current XY Window.

\rm Zadání tlaku

- Zapnout funkci "Create > Pressur > Element Uniform". V položce "New Set Name" zadat název okrajové podmínky, zde např. tlak. "Target Element Type" přepnout na hodnotu "3D".
 - Zmáčknout tlačítko "Input Data …". Otevře se nová záložka. Vybrat myší položku "Pressure" a poté kliknout na námi definované pole v okně "Spatial Fields". V položce "Pressure" se objeví f:rozlozeni_tlaku. V položce "Load/BC Set Scale Factor" zadat hodnotu 30. Potvrdit tlačítkem "OK".



Obrázek 8.20 – Aplikace okrajových podmínek, krok 4

- Kliknout na tlačítko "Select Applicatio Region …". Zadat "Select:" na hodnotu "FEM". V selekčním filtru vybrat položku "Free face of element". V hlavním menu vybrat položku "Preferences > Picking …" a v otevřeném panelu vybrat položku "Rectangle/Polygon Picking" a nastavit ji na hodnotu "Enclose entire entity". Zavřít tlačítkem "Cancel". Pomoci myši a selekcí pomocí boxu vybrat požadované hrany elementů. Stlačit "Add", potvrdit "OK". Výběr viz Obrázek 8.21.
- Vše potvrdit tlačítkem "-Apply-". V grafické okně se zvizualizuje zadaný tlak.



Obrázek 8.21 – Aplikace okrajových podmínek, krok 5

Předchozími kroky byly zadány okrajové podmínky pro řešenou úlohu. Těmito kroky bylo dokončeno vytváření konečno-prvkového modelu a je možno přejít k vlastní analýze.

8.5 Vlastní řešení a zobrazení výsledků

8.5.1 Vlastní analýza, načtení výsledků

Dalším krokem je nastavení řešiče. Provede se kroky popsanými v příslušné kapitole, tj. kapitola 7.6

- V aplikačním menu se přepnout do položky "Analysis".
- V položce "Solution Type …" vypnout tisknutí výsledků do souboru f06, postup viz kapitola 7.6.
- V položce "Subcases …" vybrat "Grid Point Force Balance" pro zápis hodnot do výsledkového souboru, postup je opět zobrazen v kapitola 7.6.
- Spustit analýzu pomocí tlačítka "Apply".
- Provést kontrolu na chyby v souboru f06.

69

• Načíst výsledky do programu Patran, viz ukázkový příklad kapitola 6.7.

8.5.2 Zobrazení výsledků

- V aplikačním menu se přepnout do položky "Results".
- Použít funkci "Quick Plot". V položce "Select Result Case" vybrat danou položku. Vybrat vykreslovanou hodnotu v okně, Select Fringe Result" nyní "Displacent, Translational". V okně "Select Deforamtion Results" vybrat "Displacement, Translational". Potvrdit tlačítkem "Apply". V grafickém okně se zvizualizují požadované hodnoty.





- Z předchozího obrázku je možno usoudit, že model se chová reálně dle předpokladů na jeho chování.
- Použít funkci "Quick Plot". V položce "Select Result Case" vybrat danou položku. Vybrat vykreslovanou hodnotu v okně, Select Fringe Result" nyní "Stress Tensor". V okně "Select Deforamtion Results" vybrat "Displacement, Translational". Potvrdit tlačítkem "Apply". V grafickém okně se zvizualizují požadované hodnoty. Maximální hodnota napětí dle hypotézy HMH je 58,6 MPa.



Obrázek 8.24 – Napětí dle HMH [MPa], detail

- Takto by bylo možno pokračovat v dalších analýzách výsledků a vyvodit závěry. Pro posouzení kvality výsledků by bylo vhodné v místech s největší koncentrací provést zahuštění sítě (alespoň dvojnásobně) a provést přepočítaní výsledků. Pokud by se moc nelišily, mohly by být brány jako věrohodné. Zahuštění lze provést manuálně, nebo automaticky (viz nápověda dodávaná s programem Nastran).
- Posledním krokem je uložení databáze a ukončení programu.
9 ZÁVĚR

Předložený text se zabývá základní práci s programy Patran a Nastran od firmy MSC Software. Tato práce se zaměřuje pouze na základní poznatky, aby byl uživatel schopen rychle začít pracovat s danými produkty, a určitě si neklade za cíl projít všechny dostupné funkce a možnosti. K tomu slouží dokumentace dodávané s danými software, popřípadě tematicky zaměřené školení.

Současně je v úvodu textu zpracována problematika modelování a velice stručný nástin metody konečných prvků, tak aby uživatel nepřistupoval k problematice řešení lineárních úloh statiky jako k "černé skříňce".

Pokud se podařilo dosáhnout cíle, tj. uvést uživatele do "tajů" daného software a pochopení základních principů modelování, je autor spokojen.