



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

MOŽNOSTI OPTIMALIZACE
VE STAVEBNICTVÍ

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Fyzikální a materiálové inženýrství

Vypracovala: Ing. Markéta Kočová

Praha 2015



OBSAH:

1. ÚVOD	2
2. ZÁKLADNÍ KATEGORIE OPTIMALIZACÍ	3
2.1. TOPOLOGICKÁ OPTIMALIZACE	3
2.2. OPTIMALIZACE TVARU	4
2.3. ROZMĚROVÁ OPTIMALIZACE	5
2.4. OPTIMALIZACE SKLADBY	5
3. OPTIMALIZAČNÍ METODY.....	5
3.1. DETERMINISTICKÉ METODY	6
3.1.1. Hill-Climbing	6
3.1.2. Branch & Bound.....	6
3.2. STOCHASTICKÉ METODY.....	7
3.2.1. Simulated annealing	7
3.2.2. Tabu search.....	8
3.3. SMÍŠENÉ METODY	8
3.3.1. Ant Colony Optimization	8
3.3.2. Genetic algorithm	9
4. ZÁVĚR	9
5. CITOVANÁ LITERATURA	10
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	11
SEZNAM TABULEK	11

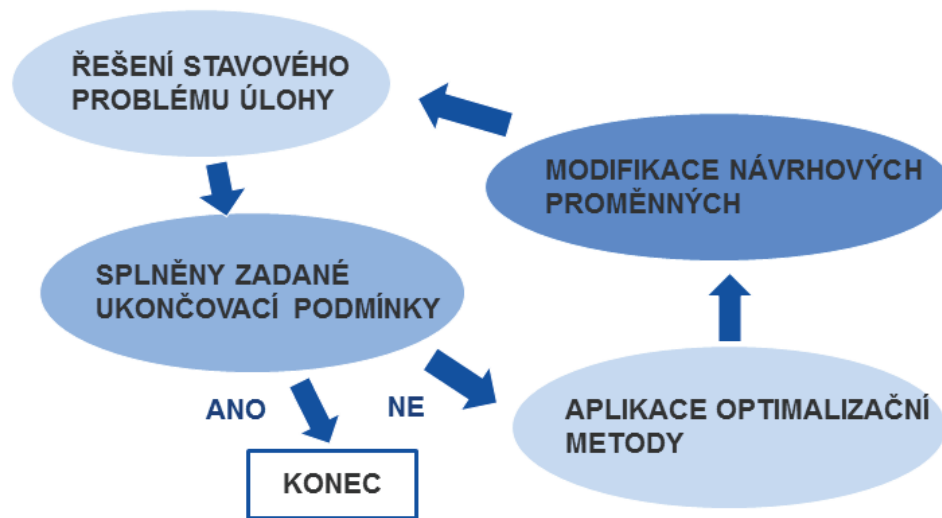


1. ÚVOD

V současnosti se optimalizace využívá již ve většině odvětví díky snaze maximálně zefektivnit procesy či výrobu. Ve stavebnictví je kladen pak důraz zejména na tzv. hospodárnost návrhu což znamená, optimalizovat návrh tak, aby došlo k co největší úspoře materiálu a maximálnímu využití pevnostních charakteristik prvků. S úsporou materiálu dosáhneme úspory hmotnosti a ceny konstrukce s jejím maximálním využitím. Další příčinou optimalizace je snaha omezit zatížení životního prostředí v důsledku snížení spotřeby neobnovitelných surovinových a energetických zdrojů, snížení spotřeby energie, snížení produkce škodlivých emisí a to především CO_2 a SO_2 , snížení množství odpadů po dožití konstrukce a zkvalitnění funkčních vlastností. Významný rozvoj optimalizačních metod nastal však jako mnoho jiných metod s rozvojem výpočetní techniky v 60. letech 19. století. Díky počítačům bylo možné numerické řešení praktických úloh optimalizačními metodami provést v relativně krátkém čase.

Optimalizaci lze definovat jako postup, kterým se snažíme dosáhnout nejlepšího možného řešení konkrétní úlohy. Pomocí optimalizace můžeme reálné problémy řešit pomocí matematických modelů jako tzv. optimalizační úlohy. Samotná optimalizace je v podstatě iterační proces Obr. 1. Proces konstrukční optimalizace se skládá z několika kroků, které zahrnují definování všech vnějších podmínek a kritérií pro stanovení optimálního řešení. Optimální řešení konstrukce je takové řešení, které je topologicky tvarově a rozměrově dle zvoleného hlediska to nejlepší možné uspořádání, za daných omezení a podmínek pro splnění daného účelu. Další fáze procesu je specifikace topologie a tvaru. Tato je z hlediska aplikace analytického postupu pravděpodobně nejobtížnější. Po výběru těchto specifik konstrukce se sestaví její matematický model a poté je nutné provést volbu návrhových proměnných. Zároveň souběžně po celý proces probíhá stanovení vedlejších podmínek, jako jsou pevnost, tuhost, geometrie apod. Tyto fáze se mohou být shrnuty a označeny jako technická formulace konstrukčních cílů a sestavení matematického modelu fyzikální zjednodušené technické úlohy. Poté následuje vlastní optimalizace.

Pro samotnou optimalizaci je stěžejní vybrat vhodnou matematickou optimalizační metodu. Matematických optimalizačních metod je velké množství, ale vhodná pro danou úlohu může být však pouze malá část z nich. [1] [2] [3]



Obr. 1. Iterační proces optimalizace

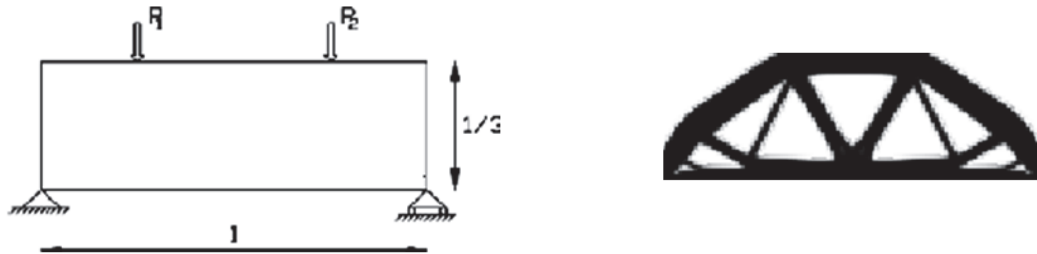
2. ZÁKLADNÍ KATEGORIE OPTIMALIZACÍ

Rozlišujeme několik základních typů optimalizace. Ne vždy jde však řešená úloha striktně zařadit do jedné z kategorií. V následujících kapitolách budou stručně popsány základní charakteristiky jednotlivých kategorií a principy, na kterých jsou založeny.

2.1. TOPOLOGICKÁ OPTIMALIZACE

Topologická optimalizace hledá nejefektivnější variantu tvaru a topologie konstrukce neboli rozložení materiálu. Prostředí je předem dané, a rozumíme jím materiál, podpory a zatížení. Nejčastěji se u tohoto typu optimalizuje hmotnost z důvodu úzké souvislosti s cenou jednotlivých prvků a v konečném důsledku celého díla. Tato optimalizace je používána převážně ve strojírenství, zejména v dopravních odvětvích, které se zabývají výrobou automobilových a leteckých součástí, kde jakákoliv hmotnost navíc snižuje výkonost těchto strojů. Topologická optimalizace však nachází uplatnění i ve stavebnictví a to při návrhu výztuže do železobetonu, kde se zabýváme polohou a plochou výztuže se známým objemem

betonu nebo také např. optimalizace příhradových konstrukcí, kde se hledá ideální rozmístění styčníků a topologie jednotlivých prutů Obr. 2. Metod, které se zabývají topologickou optimalizací, existuje několik. [4] [5]



Obr. 2. Topologické optimalizace příhradového nosníku

2.2. OPTIMALIZACE TVARU

Při optimalizaci tvaru rozlišujeme dva hlavní směry. Jedním je lokální optimalizace na několika vybraných místech se značně vysokým napětím. Druhým je optimalizace globální, ve které se optimalizuje tvar celého dílu či konstrukce. Známé jsou v tomto případě stejné jako u topologické optimalizace avšak navíc se zde objevuje ještě parametrický popis geometrie. Hledá se tedy opět minimální hmotnost či cena a maximální napětí zde figuruje jako omezující podmínka. Jako příklad můžeme uvést tvar klíče Obr. 3.



Obr. 3. Příklad tvarové optimalizace klíče



2.3. ROZMĚROVÁ OPTIMALIZACE

U rozměrové optimalizace je předem definováno prostředí a tvar. Hledáme opět minimální hmotnost popřípadě cenu a omezujícími podmínkami jsou maximální napětí a vzpěr. Rozměrovou optimalizaci využívá například Autodesk u statických softwarů jako je FEAT, SCIA Nemetech a Dlubal. Principem je tedy, že z dané knihovny průřezů dostupné programem nebo postupnými iteracemi dospěje k nejefektivnější variantě. Rozměrová optimalizace pak může probíhat buď s diskrétní proměnnou, kterou je profil vybíráný z dostupné knihovny daného programu nebo se spojitými proměnnými jako např. délka svaru. Aplikace je tedy možná na jakékoliv prutové konstrukce.

2.4. OPTIMALIZACE SKLADBY

Optimalizace skladby nebo také topografická se liší od předchozích metod tím, že průřez může mít nulovou plochu. Znamená to tedy, že nezátížené části konstrukce jsou eliminovány. Důležité u této metody je vyspecifikovat co nejpřesněji základní konstrukci. Tento druh optimalizace nachází uplatnění u mostů vedených terénem se značnými výškovými rozdíly a další aplikace je možná u všech prutových konstrukcí.

3. OPTIMALIZAČNÍ METODY

Optimalizační problém se dá v podstatě řešit dvěma možnými způsoby. Je možné využití analytického postupu nebo je zde možnost využití optimalizačních algoritmů. V praxi lze u některých případech využít analytickou cestu, ale řešení pak bývá zpravidla zdlouhavé či ne zcela vhodné. Z důvodu složitějších optimalizačních problémů inženýrských činností, a již zmíněné nevhodnosti analytického postupu, volíme optimalizační algoritmy.

Optimalizační metody můžeme rozlišovat a dělit do skupin dle různých kritérií, požadavků, využití či principu činnosti. Rozdělení dle principu činnosti je uvedeno v tabulce Tab. 1.



Tab. 1. Optimalizační metody dle principu činnosti

DETERMINISTICKÉ METODY	STOCHASTICKÉ METODY	SMÍŠENÉ METODY
GREEDY	RANDOM WALK	MATEMATICAL PROGRAMMING
HILL-CLIMBING	SIMULATED ANNEALING	ANT COLONY OPTIMIZATION
BRANCH & BOUND	MONTE CARLO	IMMUNE SYSTÉM METHODS
DEPTH-FIRST	TABU SEARCH	MEMETIC ALGORITHMS
BROADTH-FIRST	EVOLUTIONARY COMPUTATION	SCATTER SEARCH & PATH REL.
BEST-FIRST	STOCHASTIC CLIMBING	PARTICLE SWARM
CALCULUS BASED		GENETIC ALGORITHMS
		DIFERENTIAL ALGORITHMS
		SOMA

3.1. DETERMINISTICKÉ METODY

(Heruistiky)

Deterministické metody jsou založeny na principu výpočtu optimálních řešení pomocí technik lineárního programování a patří mezi metody řízené. Metody je nevýhodné použít při větším počtu proměnných z důvodu možné časové náročnosti výpočtu. Další nevýhodou těchto metod je, že nedokáží řešit nespojitě problémy. Níže zde budou uvedeny některé příklady deterministickým optimalizačních metod.

3.1.1. Hill-Climbing

Horolezecký algoritmus s náhodnými restarty. Metoda je založena na prohledávání svého okolního prostoru a dle něho volí směr nejvhodnějšího postupu. Nejprve se určí počáteční bod řešení a poté se prohledá a zhodnotí jeho okolí. Z okolí je vybráno nejvhodnější možné další řešení a takto se postupuje až k bodu, kdy je okolí zhodnoceno hůře. Problém nastává tehdy, pokud metoda uvízne v lokálním extrému, což je u těchto metod velmi časté. [4]

3.1.2. Branch & Bound

Metoda větvení a mezí je iterační metoda pro hledání globálního extrému funkce na množině přípustných řešení. Metoda spočívá v opakování dvou operací. Větvení, při kterém se



množina a popřípadě později podmnožina se rozkládá na další podmnožiny a omezování, které určí těmto podmnožinám mezní hodnoty funkce. Rozklad množiny si můžeme představit jako strom, jehož uzly značí jednotlivé podmnožiny. Pro další rozklad se vybírá podmnožina s maximální mezí. Cílem metody je najít optimální přípustné řešení, pro které hodnota funkce nepřekročí danou mez nerozložených podmnožin. Existuje zde také strategie výběru uzlů, kterou rozlišujeme na prohledávání do hloubky a prohledávání do šířky. Prohledávání do hloubky znamená, že potomci rodičovského řešení jsou prohledáni v určitém pořadí a prohledávání do šířky je založeno na principu prohledání z doposud neprohledaných řešení, kdy je vždy vybráno to s minimální dolní mezí.

3.2. STOCHASTICKÉ METODY (Metaheuristiky)

Stochastické metody mají od deterministických metod jednu zásadní odlišnost, do výpočtu jsou zaváděna náhodná čísla, což simuluje náhodné chování. Fungují na principu změny existujícího řešení změnou lokální.

3.2.1. Simulated annealing

Metoda simulovaného žíhání založená na principu fyzikálních procesů při žíhání kovů, kde je cílem odstranit defekty krystalické mřížky. Žíháním za vysoké teploty odstraníme defekty krystalické mřížky a postupným ochlazováním minimalizujeme vznik nových defektů a materiál tak dostaneme na jeho energeticky nejnižší hodnotu, která odpovídá globálnímu minimu.

Algoritmus simulovaného žíhání tedy náhodně vytvoří počáteční populaci, parametr, kterým je teplota je nastaven na první počáteční hodnotu a je náhodně vytvořeno řešení. Pokud je z pohledu síly získané řešení vhodnější než předchozí, je nově získané automaticky přijato do populace. Pokud je nově získané řešení méně vhodné než předchozí může i nemusí být nahrazeno předcházející řešení tímto nově získaným. To závisí na stavu populace a aktuální teplotě, která umožní řešení uniknout z lokálního minima. Proces se opakuje několikrát při stále teplotě, poté je teplota snižována až do předepsaného minima. [6]



3.2.2. Tabu search

Metoda zakázaného prohledávání vychází ze zásad horolezeckého algoritmu a přidává k němu krátkodobou paměť, čímž se omezí možnost zacyklení v lokálních minimech. Tato krátkodobá paměť si pamatuje určitý interval z předchozího algoritmu inverzní transformace k lokálně optimálním transformacím řešení.

Část algoritmu „Tabu list“ se řadí do stochastických metod. Tabu list obsahuje inverzní transformace, které jsou zakázané při tvorbě nového okolí pro aktuální nové řešení. Tabu list je na začátku při spuštění výpočtu prázdný a postupně se pak začíná plnit. V určité fázi iterací se začne nahrazovat nejstarší transformace tou nejaktuálnější, což zaručí cyklickou obnovu Tabu listu. Velikost Tabu listu je klíčový parametr metody, pokud by měl totiž malou kapacitu, mohlo by to znamenat častější zacyklení algoritmu. Pokud má seznam nadměrnou kapacitu dochází k přeskočení významných lokálních a možných globálních extrémů. Tabu search může být spojeno i s jinými algoritmy jako je např. genetickými algoritmy nebo simulovaným žíháním. V těchto případech však dochází k neefektivnímu vyhledávání extrému. [4]

3.3. SMÍŠENÉ METODY

3.3.1. Ant Colony Optimization

Metoda mravenčí kolonie vychází z přírodních principů přirozeného chování mravenců, kteří svým chováním pouze reagují na ostatní mravence a své okolí. Celé kolonie mravenců pak ale dokáží řešit složité problémy jako je v jejich případě nalezení neoptimálnější cesty k potravě. Pokud po cestě narazí na překážku, hledají opět další neoptimálnější cestu. Neoptimálnější cestu, kterou doposud našli, si různou intenzitou značkují. Pokud se mravenci dostanou na rozcestí jejich rozhodování jakou cestou se vydat je zcela náhodné. Ti, kteří najdou kratší cestu, ji označují a po téže se pak vrací zpět do mraveniště.

Při optimalizaci je intenzita značkování nahrazena vahou, která je přidělena dané cestě vedoucí k cíli, ke které je pak možno přidávat další váhu novými prošlými procesy. Je zde také možnost opačného působení takzvaného vypařování, kdy je váha ubírána. To má pak velmi pozitivní vliv na možnost vyskočení z lokálních extrémů. [7]



3.3.2. Genetic algorithm

Genetické algoritmy jsou velmi adaptabilní metody. Základní princip se opět inspirovuje u genetických procesů živých organismů. Jde o základní principy přírody a zákon o přežití, kdy jedinci soupeří o zdroje potravy či moc nad ostatními. Úspěšnější jedinci produkují větší množství potomstva, zatímco slabší jsou potlačeni a eliminováni. Takto se přenášejí kvalitní geny. Ty nejlepší vlastnosti se dostávají do dalších generací a výsledkem je rychlá adaptace na okolní prostředí. Jedinec je ohodnocen vahou či silou úměrně jeho úspěchu. Jedinci s větší silou a mocí mají větší pravděpodobnost k výběru do procesu křížení, díky tomu pak vzniká nová generace potomků s výběrově kvalitními vlastnostmi. Jedince může ovlivnit náhodná mutace. Ty nejlepší vlastnosti se kombinují, doplňují a prorůstají celou populací, až vývoj jedinců dospěje k optimálnímu řešení. Tyto numerické algoritmy se tedy řídí dle principů Darwinovy teorie evoluce. [6]

Tato metoda se uplatňuje v mnoha oblastech. Genetický algoritmus se využívá například určení vhodných tvarů, parametrů mechanických součástí, při skládání hudby či ve speciálních filmových efektech. [4]

4. ZÁVĚR

V současnosti při problematice hledání optima existuje velké množství optimalizačních metod. Každá z těchto metod má jasné požadavky a funguje na jiném principu. Velkou pozornost je třeba věnovat už přípravě na samotný proces optimalizace. Předem se musí pečlivě vyspecifikovat známé charakteristiky, parametry a podmínky ovlivňující proces optimalizace a charakteristiku, kterou chci optimalizovat. Pro určitý typ úlohy je tedy velmi důležité zvolit vhodnou optimalizační metodu.

Tato seminární práce poskytuje úvod do problematiky optimalizace a obsahuje stručný přehled a charakteristiku jednotlivých kategorií optimalizací a jejich optimalizačních metod.



5. CITOVANÁ LITERATURA

- [1] **Mareš, Tomáš.** *Základy Konstrukční Optimalizace.* Praha : Vlastním nákladem, 2006.
- [2] **Žouželková, Alena.** *Matematická optimalizace.* Brno : VUTBR, 2003.
- [3] **Sobotková, Michala.** *Studie omezujících podmínek v evolučním návrhu ocelových rámových konstrukcí.* Praha : ČVUT, 2009.
- [4] **Šedlbauer, David.** *Optimalizace podrobného návrhu železobetonového skeletu.* Praha : ČVUT, 2010.
- [5] **Kopřiva, Lubomír.** *Optimalizace žebra na křídle letounu.* Brno : VUTBR, 2008.
- [6] **Lepš, Matěj.** *Optimalizace železobetonového spojitého nosníku.* Praha : ČVUT, 2006.
- [7] **Krömer, Pavel.** *Optimalizace pomocí mravenčích kolonií.* místo neznámé : VSB, 2012.



SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Iterační proces optimalizace	3
Obr. 2. Topologické optimalizace příhradového nosníku	4
Obr. 3. Příklad tvarové optimalizace klíče	4

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Optimalizační metody dle principu činnosti.....	6
---	---