



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Optimalizace konstrukčního řešení vícepodlažní budovy

Studijní program: Architektura a stavitelství

Studijní obor: Architektura a stavitelství

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Vladimír Žďára, CSc.**

Jakub Truneček

Praha 2016



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Truneček Jméno: Jakub Osobní číslo: 410612

Zadávací katedra: K124

Studijní program: Architektura a stavitelství

Studijní obor: Architektura a stavitelství

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Optimalizace konstrukčního systému vícepodlažní budovy

Název bakalářské práce anglicky: Optimizing structural system of multi-storey building

Pokyny pro vypracování:

Analýza vlivu rozponu na cenu nosné konstrukce vícepodlažní budovy

Seznam doporučené literatury:

Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. ing. Vladimír Žďára CSc.

Datum zadání bakalářské práce: 26.2.2016 Termín odevzdání bakalářské práce: 22.5.2016

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)



Prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci na téma „Optimalizace konstrukčního systému vícepodlažní budovy“ vypracoval samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací vedoucího bakalářské práce. A uvedl jsem veškerý seznam použité literatury a informačních zdrojů. Vše v souladu s Metodickým pokynem č. 1/2009 O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských státních závěrečných prací. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti užití této bakalářské práce, či její části.

V Praze dne

.....

Jakub Truneček



Poděkování

Děkuji doc. Ing. Vladimíru Žďárovi CSc., vedoucímu mé bakalářské práce za rady, připomínky a pomoc při vypracovávání této práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Haně Hanzlové CSc. za konzultace při tvorbě statických výpočtů a ing. Ivetě Střelcové Ph.D. za pomoc s oceňováním konstrukcí.



Anotace

Tato práce se věnuje optimalizaci konstrukčního systému vícepodlažní budovy. Posuzuje železobetonové konstrukce tvořené jednosměrně pnutými deskami, průvlaky a sloupy. V práci jsou posuzovány variace těchto konstrukcí, výsledky jsou porovnávány a analyzovány. Práce se snaží stanovit vztah mezi rozpony a cenou konstrukce. Výstupem práce je analytický program, který může pomoci architektům či projektantům s volbou optimální konstrukce.

Klíčová slova

Optimalizace, konstrukční systém, předběžné posouzení, železobeton, rozpon, cena



Abstract

The focus of this bachelor's thesis is the optimization of a structural system of a multi-storey building. Reinforced concrete structures consisting of unidirectional tension slab, girder and columns are evaluated. Different variations of these structures are assessed and the results are compared and further analyzed. The main goal is to determine the relationship between span and the overall cost of the structure. The result is an analytical software that can help architects choose the optimal variation of the structure.

Key words

optimization, structural system, draft proposal, reinforced concrete , span, cost



Obsah

1. Úvod	8
1.1 Cíle a motivace bakalářské práce	8
1.2 Optimalizace	8
2 Předběžný návrh konstrukčního systému	9
2.1 Využití empirických vzorců	9
2.2 Pomůcky pro návrh rozměrů	10
2.3 Inspirace realizovanou konstrukcí	11
3 Tvorba řešení	Chyba! Záložka není definována.
3.1 Posouzení dílčích prvků	13
3.1.1 Deska	13
3.1.2 Viditelný průvlak	13
3.1.3 Skrytý průvlak	13
3.1.4 Sloup	13
3.1.5 Zadávání prvků	14
3.2 Optimalizační metoda	15
3.2.1 Databáze	15
3.2.2 Ukládání dat do databází	17
3.2.3 Práce algoritmů a jejich vazby na databáze	18
3.2.4 Generování dat pro grafy	19
3.2.5 Grafické rozhraní a práce s daty	21
4 závěr	22
Použitá literatura	24
Seznam obrázků	25
Seznam Příloh	26



1. Úvod

1.1 Cíle a motivace bakalářské práce

Téma bakalářské práce vychází ze zkušeností z předchozího studia. Při navrhování větších administrativních budov všichni řešili zásadní otázku: „Jak daleko mohou být sloupy od sebe?“ Nikdy se nám nedostalo jasné odpovědi. Se spolužáky jsme došli k univerzální odpovědi „Jde skoro všechno, ale bude to drahý!“. Během studia jsme se však o cenách konstrukcí dozvídali jen minimálně. Tímto se dostávám k tématu optimalizace konstrukčního systému.

Konstrukční systém je základní částí každé budovy. Parametry konstrukčního systému ovlivňují většinu dalších vlastností budovy. Změna konstrukčního systému v pozdější fázi projektu by vedla k mnoha komplikacím. Proto je vhodné věnovat návrhu konstrukčního systému velkou pozornost již při prvotní fázi návrhu.

Cílem bakalářské práce je vytvořit pomůcku pro návrh konstrukčního řešení, použitelnou i pro studentské projekty.

1.2 Optimalizace

Optimalizace je výběr řešení, které nejlépe splní podmínky. Pro zvolený problém vždy existují různé možnosti – Alternativní řešení. Pomocí parametrů jako jsou tloušťka desky, vyztužení, typ betonu a dalších vznikají dílčí varianty těchto řešení.

Vzniklé varianty porovnáme pomocí Existencionálních a Optimalizačních podmínek. Existencionální jsou dané například normou. Říkají, zda konstrukce vyhoví, či nikoliv. Existencionální podmínky tedy vyřadí dílčí varianty, které použít nelze.

Optimalizační podmínky představují požadavky na konstrukci. Zvolená konstrukce by měla být kompromisem mezi těmito podmínkami. Toho dosáhneme pomocí multikriteriálního hodnocení. Nejdůležitější optimalizační podmínky u stropních konstrukcí jsou rozpon a cena. Vztahem těchto dvou hodnot se zabývá tato práce.



2 Předběžný návrh konstrukčního systému

Při navrhování konstrukčního systému vycházíme z vlastních zkušeností. Pokud máme nedostatek vlastních zkušeností, použijeme odborné odhady. Ty můžeme čerpat z různých zdrojů.

2.1 Využití empirických vzorců

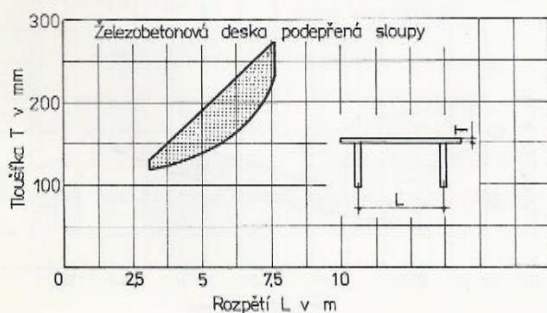
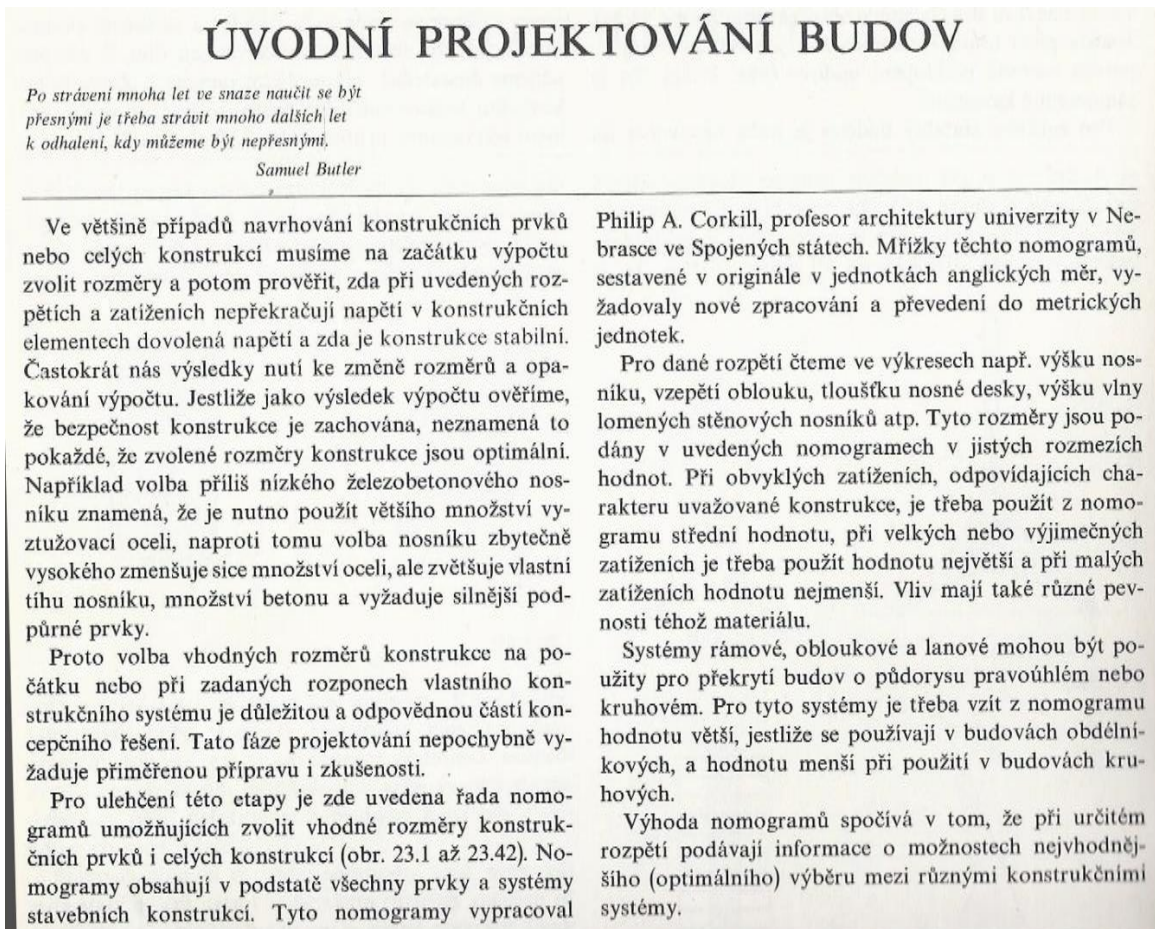
Empirické vzorce slouží pro předběžný návrh rozměrů. Jsou tvořeny odborníky, na základě jejich zkušeností. Výhodou empirických vzorců je jejich jednoduchost. V betonových konstrukcích se empirické vzorce vyjadřují jako závislost výšky průřezu prvku na jeho rozponu. U spojitého trámu bychom výšku průřezu navrhovali jako $1/15$ až $1/17$ rozponu. Pro návrh šířky průřezu slouží vzorec $2/3$ až $1/2$ výšky průřezu. Pro tloušťku desky se navrhuje jako $1/25$ rozponu.

Návrhy pomocí empirických vzorců jsou na straně bezpečnosti. I přesto je nutno posoudit důkladnějším výpočtem.

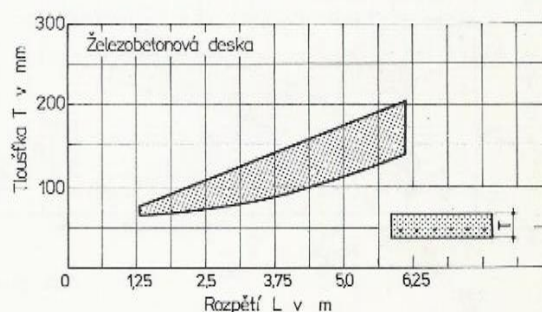


2.2 Pomůcky pro návrh rozměrů

Další možností jak využít zkušeností odborníků je použití nomogramů. Práce s nimi je vysvětlena v knize stavební mechanika pro architekty (obr. 1).



OBR. 23.5



OBR. 23.4

Obr. 1 OLENDOWICZ, Prof. dr. hab. inž. Tedeusz a ing. Jiří MUK, CSC. Stavební mechanika pro architekty. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1984, s. 282-283.



2.3 Inspirace realizovanou konstrukcí

Zkušenosti odborníků lze čerpat i z již postavených konstrukcí. Nalezneme-li stavbu se stejným řešením konstrukce, můžeme použít shodné dimenze prvků. Při inspiraci podobnou stavbou (například stejný typ konstrukce, rozdílný rozpon), je třeba dimenzi prvků ekvivalentně upravit.



3 Návrh programu

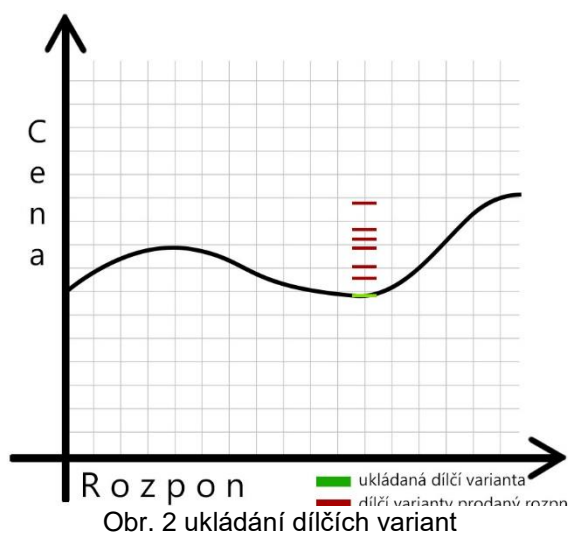
Tato práce by měla sloužit jako pomůcka při procesu optimalizace konstrukčního systému. Nemůže ho zcela nahradit, pomůže však při stanovení závislosti optimalizačních parametrů. Práce se snaží definovat vztah mezi cenou a rozponem konstrukce.

Pro práci je třeba zvolit vhodný nástroj. Ruční výpočet by byl velice neefektivní a zdouhavý. Proto volím pro výpočet Microsoft Excel. Po zjednodušení a zrychlení práce budu využívat programovací jazyk Visual Basic for Application (VBA), který běží v pozadí Excelu.

Předmětem optimalizace je železobetonový skelet, stropní konstrukce je tvořena deskou s viditelným průvlakem. V druhé optimalizované variantě je stropní konstrukce tvořena deskou se skrytým průvlakem.

Tyto konstrukční systémy jsou charakterizovány dílčími parametry, jsou to: tloušťka desky, rozměry prvků, vyztužení prvků a typ betonu. Kombinováním hodnot těchto parametrů vznikají dílčí varianty konstrukčních systémů.

Dílčí varianty jsou posuzovány a pro každou kombinaci rozponu průvlaku, rozponu desky a typu zatížení jsou nejlevnější varianty ukládány do databáze (obr. 2). Databáze slouží pro tvorbu grafu závislosti rozponu na ceně. Uživatel může zvolit, pro jaký typ konstrukce bude graf generován. Je možno volit typ zatížení, počet podlaží budovy a světlou výšku podlaží.





3.1 Posouzení dílčích prvků

V této kapitole je popsáno, jakým způsobem jsou konstrukce oceňovány a posuzovány. Konstrukce je posuzována dle ČSN EN 1992-1-1. Jednotlivé konstrukční systémy můžeme rozdělit na dílčí prvky a každý posuzovat zvlášť. Jsou to: sloupy, desky, viditelný průvlak a skrytý průvlak.

3.1.1 Deska

Desková konstrukce je posuzována na ohyb, průhyb a šířku trhliny. Podrobný popis posouzení je popsán v 2. příloze. Její cena je počítána z objemu použitého betonu, bedněné plochy a z váhy výztuže. Objem je vynásoben cenou betonu zahrnující i zabudování betonu do konstrukce. Plocha je násobena souhrnnou cenou zahrnující zřízení bednění, odstranění bednění, zřízení a odstranění podepření. Váha výztuže je násobena jednotkovou cenou zahrnující cenu materiálu i práce.

3.1.2 Viditelný průvlak

Viditelný průvlak je také posuzován na ohyb, průhyb a šířku trhliny. Podrobný popis posouzení je popsán v 2. příloze. Spolupůsobení s deskou v tlačené oblasti je pro zjednodušení zanedbáno. Ocenění průvlaku probíhá stejným způsobem jako u desky, pouze s jinými hodnotami jednotkových cen.

3.1.3 Skrytý průvlak

Skrytý průvlak je posuzován stejným způsobem jako viditelný průvlak. Jeho cena je zahrnuta v ceně desky, pouze je nutné spočítat váhu výztuže a tu přenásobit jednotkovou cenou.

3.1.4 Sloup

Sloup je posuzován na dostředný tlak. Výpočet je popsán v příloze XX. Jeho cena je počítána z plochy sloupu, objemu použitého betonu a váhy výztuže. Vypočtena je podobným způsobem jako u předchozích prvků.



3.1.5 Zadávání prvků

Jednotlivé prvky jsou definovány proměnnými. Například u sloupu jde o výšku sloupu, zatížení, typ betonu, procento vyztužení a plocha sloupu. Každá proměnná je definována třemi hodnotami (obr. 3). První dvě udávají minimální a maximální hodnotu a třetí číslo určuje minimální změnu proměnné (krok). Tyto hodnoty je potřeba volit ve vhodném rozmezí. Při zadání nevhodných hodnot (například plocha sloupu od 0,001m² do 0,002m²) by mohlo dojít k situaci, kdy nevyhoví ani jedna varianta prvku. Také je třeba vhodně zvolit minimální změnu. Při volbě malého čísla by vznikalo mnoho téměř shodných variant a takové množství by zpomalovalo program.

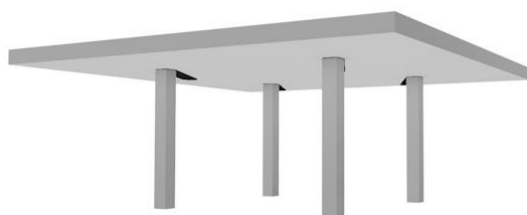
S_VSTUP	od	do	krok	počet	
výška sloupu	1	4	0,15	21,00	
zatížení	200	8000	100	79,00	
typ betonu	1	6	1	6,00	
% vyztužení	2	4	0,2	11,00	
plocha sloupu	0,04	0,5	0,05	10,00	
				1094940	

Obr. 3 Proměnné sloup

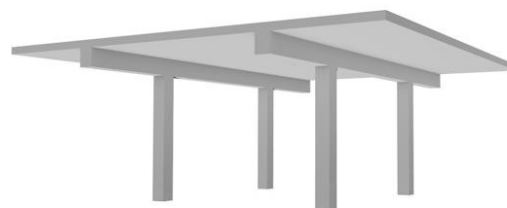
Varianty sloupů jsou tvořeny kombinováním každé hodnoty jedné proměnné s ostatními. Proto ze zadaných proměnných můžeme spočítat i počet definovaných sloupů.

Takovýmto souborem proměnných jsou v programu definovány desky, průvlaky i sloupy. Kombinováním těchto prvků jsou definovány dílčí varianty. Jsou to:

- Jednosměrně pnutá deska s viditelným průvlakem (obr. 5)
- Jednosměrně pnutá deska se skrytým průvlakem (obr. 4)



Obr. 4 Deska se skrytým průvlakem



Obr. 5 Deska s viditelným průvlakem



Pro oba typy konstrukcí posuzují pouze střední pole, které se v konstrukci vyskytuje nejčastěji. Z tohoto důvodu vypočtené ceny za m^2 plně neodpovídají reálné ceně. Slouží primárně k vzájemnému porovnávání konstrukcí, které je pro návrh konstrukčního systému nejdůležitější.

3.2 Optimalizační metoda

Z důvodu velkého množství dílčích variant je zapotřebí zvolit strategii pro práci s daty. Byla zvolena tak, že program předpočítává jednotlivé varianty, uloží vypočtené hodnoty a až na vyžádání uživatele zobrazí požadované grafy.

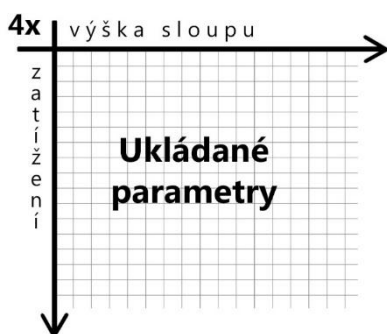
Před zahájením výpočtu má uživatel možnost změnit některé konstanty ovlivňující výpočet. Jedná se o objemovou hmotnost skladby podlahy, nahodilé zatížení od příček a jednotkové ceny. Změnou jednotkových cen může uživatel například zohlednit cenu dopravy materiálů na stavenišť.

Program byl rozdělen na dvě části. První část slouží pro předpočítávání. V této části jsou vytvořeny databáze stropních konstrukcí a sloupů. Tato fáze trvá 10 – 20 min v závislosti na typu počítače.

V druhé části, program podle volby uživatele kombinuje stropní konstrukce a sloupy. Tímto vytvoří kompletní konstrukční systémy, které ocení a ceny konstrukcí promítne do grafu. Graf slouží jako pomůcka pro optimalizaci.

3.3 Databáze

Každá databáze je definována několika souřadnicemi. Ty definují prostor pro ukládání dat. Například databázi sloupů definují dvě souřadnice – zatížení a výška sloupu (obr. 6). Lze do ní uložit jeden sloup pro každou kombinaci zatížení a výšky.



Obr. 6 Databáze sloupů



Hlavní databáze jsou: (v podbodech jsou uvedeny souřadnice definující databáze)

- Databáze stropů s viditelným průvlakem
 - Rozpon průvlaku
 - Rozpon desky
 - Typ zatížení
- Databáze stropů se skrytým průvlakem
 - Rozpon průvlaku
 - Rozpon desky
 - Typ zatížení
- Databáze sloupů
 - Zatížení
 - Výška sloupu

Pro ukládání mezivýpočtů používá program tyto dvě databáze:

- První databáze deskových konstrukcí
 - Rozpon desky
 - Typ zatížení
 - Typ betonu
- Druhá databáze deskových konstrukcí
 - Rozpon desky
 - Typ zatížení
 - Typ betonu
 - Tloušťka desky

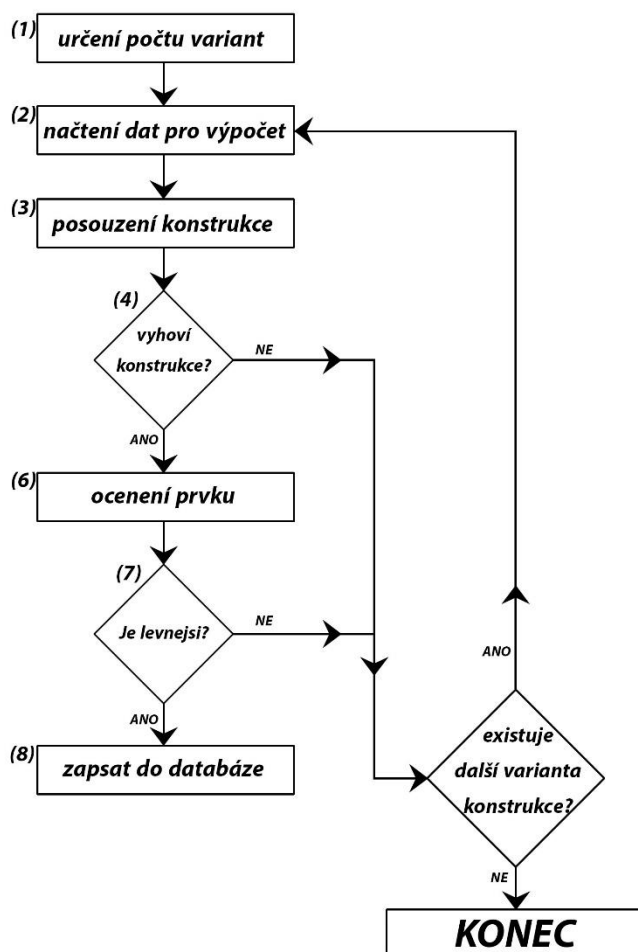
Pro jednu pozici v každé databázi je definováno více prvků, algoritmy z nich vyberou ten nejlevnější a ten do databáze uloží. Ukládání probíhá u všech algoritmů podle následujícího schématu:



3.3.1 Ukládání dat do databází

Všechny algoritmy pracují podle stejného schématu (obr. 7). V první fázi (1) algoritmus načte vstupy konstantní i hodnoty definující proměnné. Následně algoritmus spočítá, kolik variant bude posuzováno. Program bude postupně posuzovat všechny tyto varianty prvku.

Algoritmus zvolí jednu z variant (2) a načte vlastnosti použitých materiálů v této variantě. Následuje posouzení, zda posuzovaný prvek vyhoví existenčním podmínkám (3). Jestliže prvek podmínkám nevyhoví, (4) program začne posuzovat další variantu, pokud je k dispozici (5). Pokud prvek vyhoví podmínkám (4), program stanoví jeho cenu (6). Poté program načte cenu uloženou ve výsledné databázi z pozice posuzovaného prvku. Pokud je tato cena vyšší než cena posuzovaného

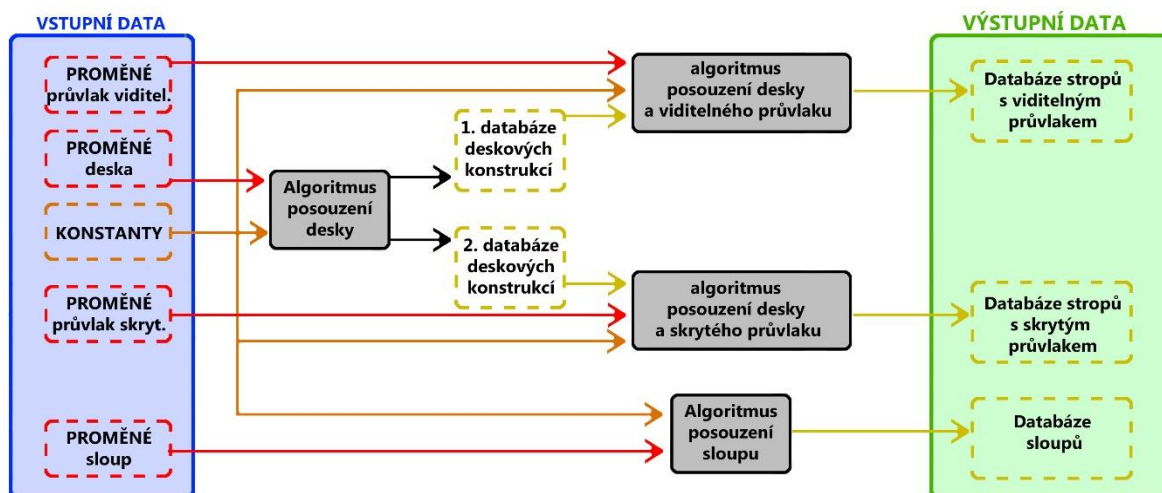


Obr. 7 Schéma algoritmu



prvku (7) vymaže z této pozice parametry původního prvku a nahradí je parametry nového (8). Poté začne algoritmus posuzovat další variantu (5) pokud je k dispozici. Tímto způsobem se naplní databáze pouze nejlevnějšími prvky a pouze s nimi je dále pracováno.

3.3.2 Práce algoritmů a jejich vazby na databáze



Obr. 8 Schéma programu

3.3.2.1 Algoritmus posouzení sloupu

Algoritmus posouzení sloupu posoudí každý sloup definovaný tabulkou proměnných. Pokud sloup splní existencionální podmínky, program tento sloup ocení. Do každé pozice v databázi sloupů uloží nejlevnější vyhovující sloup, který této pozici odpovídá.

3.3.2.2 Algoritmus posouzení desky

Algoritmus posouzení desek posoudí každou desku definovanou tabulkou proměnných. Desky splňující existencionální podmínky zapisuje, na rozdíl od algoritmu posouzení sloupu, do dvou databází – první a druhá databáze deskových konstrukcí. Zapisovány jsou pouze nejlevnější varianty desek.

Takto vytvořené databáze slouží jako vstup pro algoritmy posouzení stropních konstrukcí.



3.3.2.3 Algoritmus posouzení desky a viditelného průvlaku

Tento algoritmus se odlišuje od ostatních hlavně na úrovni vstupů. Prvním vstupem je tabulka proměnných definující průvlaky. Druhým vstupem je první databáze desek. Těmito vstupy je definován soubor průvlaků a soubor desek. Algoritmus vytvoří stropní konstrukce z těchto dvou souborů. Stropní konstrukce jsou tvořeny principem „každý s každým“.

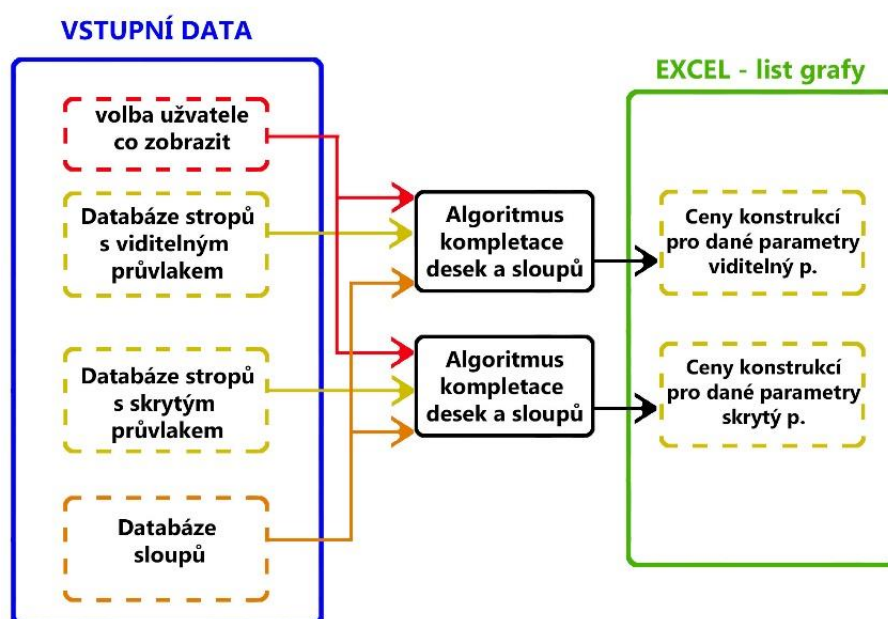
Konstrukce, které vyhoví existencionálním podmínkám, jsou zapisovány do databáze stropů s viditelným průvlakem. Pro každou pozici je vždy uložena nejlevnější varianta.

3.3.2.4 Algoritmus posouzení desky se skrytým průvlakem

Tento algoritmus pracuje stejným způsobem jako algoritmus posouzení desky viditelného průvlaku, pouze s jinými vstupními daty. Tedy s druhou databází desek a s tabulkou proměnných definující skryté průvlaky.

3.3.3 Generování dat pro grafy

Aby získal uživatel informace, je v programu nutné data zobrazit. K tomuto slouží algoritmus kompletace desek a sloupů. Jako vstup používá již vytvořené databáze. Páruje k sobě typy konstrukcí, které si uživatel zvolil.



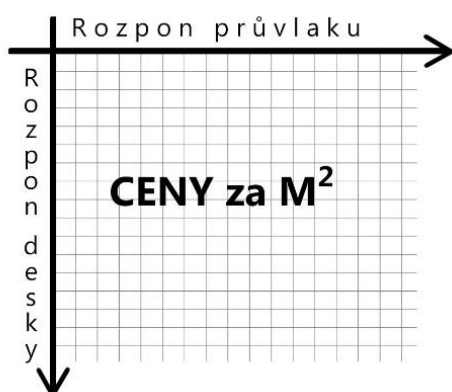
Obr. 9 Schéma programu



Vstupní data od uživatele obsahují počet podlaží, typ zatížení a světlou výšku nosné konstrukce. Výstupem budou data pro tvorbu prostorového grafu. Program vyplní cenami tabulku (obr. 10). Do ceny za m^2 je započítána cena za stropní konstrukci a sloupy ve středním poli.

Pro každou kombinaci rozponů (pro každou buňku na obr. 10) program načte z databáze odpovídající stropní konstrukci. Poté postupuje od nejvyššího patra a postupně přiřazuje do každého patra nejvhodnější sloup z databáze sloupů. Po komplekaci konstrukce program spočítá cenu jednoho m^2 užité plochy. Tuto hodnotu zapíše na příslušné místo v tabulce (obr. 10). Hodnotu tloušťky stropní konstrukce a procento využití plochy zapíše do nově vytvořené databáze. Tyto hodnoty je možno zobrazit v programu po dvojkliku na příslušnou část grafu.

Tento algoritmus proběhne dvakrát, pokaždé s jinými vstupem. Takto vzniknou dva grafy, pro každý konstrukční systém jeden. Data se vygenerují do oblasti sešitu, která není uživateli přístupná.



Obr. 10 Prostor grafu

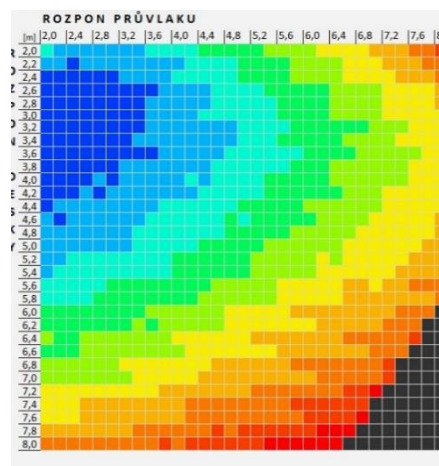


3.3.4 Grafické rozhraní a práce s daty

Pomocí funkcí Excelu se zkopírují do viditelné oblasti data, která uživatel zvolí v bočním ovládacím panelu (obr. 11). Pomocí podmíněného formátování buněk se vytvoří v grafu barevné oblasti. Ze zobrazených hodnot program najde minimální a maximální cenu. Oblast mezi těmito hodnotami program rozdělí na 5 až 10 sektorů a každý sektor obarví jinou barvou. Díky barevnému rozlišení je možné se v grafu

PRÁCE S DATY	
Typ grafu?	skrytý průvlak
Počet barev v grafu	10
zamčení rozponu	2,4 m průvlak

Obr. 11 Uživatelské rozhraní



Obr. 12 ukázka výstupů

lépe orientovat (obr. 12).

Druhý graf v programu je spojnicový. Je tvořen funkcí graf v Excelu. Co se zobrazí, volí uživatel v posledním řádku grafického rozhraní (obr. 11). Spojnicový graf je řezem grafy prostorovými. V tomto grafu je možno porovnávat obě posuzované varianty.

Uživatel má možnost volby, zda uzamkne rozpon prův laku či rozpon desky. Uživatel zvolí také hodnotu, na které daný rozpon uzamkne. Na osách grafu se nachází cena a rozpon, který uživatel nezvolil.



4 závěr

V této bakalářské práci byla vytvořena pomůcka pro optimalizaci konstrukčního systému vícepodlažní budovy. Posuzované konstrukční systémy byly jednosměrně pnutá deska podepřená viditelným průvlakem a jednosměrně pnutá deska podepřená skrytým průvlakem. Byl vytvořen interaktivní graf závislosti rozponů na ceně m^2 užitné plochy.

Program posuzoval konstrukce s rozpony od 2m do 8m pro průvlak i desku. Svislé nosné konstrukce tvoří sloupy od 2m do 4m. Maximální počet pater je 20.

Rozsah všech vypočtených cen je v **rozmezí od 2250kč do 4300kč za m^2** .

Výška sloupu a počet podlaží nemá na umístění optimální varianty zásadní vliv. Navyšování obou hodnot pouze znevýhodňuje varianty s malými rozpony (2m až cca 3m). A to z důvodu velkého množství sloupů v konstrukci.

Optimální varianta (10% nejlevnějších variant) z hlediska ceny se pro obytné budovy nachází **mezi 3m až 5m rozponu desky a 2,8m až 4,6m rozponu průvlaku**. Pro obchodní plochy, pro které uvažujeme nahodilé zatížení cca 3x větší se tato rozmezí nachází **2,6 až 4,8m rozponu desky a 2,4 až 4m rozponu průvlaku**. Z dispozičního hlediska je u většiny budov třeba volit větší rozpon. Je vždy vhodné najít kompromis, který splní požadavky na rozpon i cenu.

Při kombinování menších rozponů (3m – 5m) je výhodnější varianta s větším rozponem desky a menším rozponem průvlaku. U rozponů větších (5m – 8m) je vhodnější volit větší rozpon u průvlaku. Rozdíly v cenách jsou však zanedbatelné.

Rozdíl cen variant skrytý//viditelný průvlak je velmi závislý na rozponech. Pro zjednodušení můžeme prohlásit, že u kombinací rozponů 4m až 5m je varianta se skrytým průvlakem zhruba o 8% dražší. Při extrémních rozponech se však můžeme dostat i na hodnoty blízké se 20%.

Vytvořený program by bylo možné nadále vylepšovat. Prvním možným vylepšením je zrychlení programu. Čas nutný pro tvorbu databáze je 10 – 20min. Tvorbou algoritmu pro uložení vypočtených dat například do textového souboru by tento čas



odpadl při opakovaném zpuštění programu. Nebyl by však eliminován úplně. Toho by se dalo dosáhnout použitím jiného, pokročilejšího programovacího jazyka.

Za předpokladu přepsání do jiného programovacího jazyka by se dalo uvažovat o rozšíření programu. Například o další konstrukční varianty jako jsou křížem pnuté desky. Porovnání jednosměrně pnuté a křížem pnuté desky by bylo velice zajímavé. Dalším možné rozšíření se naskytuje u svislých konstrukcích přidáním zděné podpory. Takovýmto rozšířením by se zvýšila možnost využití programu i jeho informační hodnota.



Použitá literatura

PROCHÁZKA, CSC., A KOL., Prof. Ing. Jaroslav. *NAVRHOVÁNÍ BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ 1: prvky z prostého a železového betonu*. 3. 2009.

DRBOHLAVOVÁ, ING, Ing. Lucie a Ing. Hana HANZALOVÁ, CSC. *BETONOVÉ A ZDĚNÉ KONSTRUKCE V ARCHITEKTUŘE 1: Komentované příklady*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04888-7.

KOLENDOWICZ, Prof. dr. hab. inž. Tedeusz a Ing. Jiří MUK, CSC. *Stavební mechanika pro architekty*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1984. ISBN 04-712-84.

VÉGH, DRSC. A KOL, Prof. Ing. Ledevít. *Betonové konstrukce*. 2. Brno: Ediční středisko VUT Brno, 1988. ISBN 80-214-0216-4.

VANĚK, DRSC., prof. Ing. Tomáš, doc. Ing. Vlastimil KUKAŇ, CSC. a ing. Josef BULVAS, CSC. *Betonové konstrukce*. 2. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 1995. ISBN 80-0101373-1.

PROCHÁZKA, CSC., Prof. Ing. Jaroslav, Doc. Ing. Alena KOHOUTKOVÁ, CSC. a Ing. Jitka VÁŠKOVÁ CSC. *PŘÍKLADY NAVRHOVÁNÍ BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ 1*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2007. ISBN 978-80-01-03675-4.



Seznam obrázků

Obr. 1 OLENDOWICZ, Prof. dr. hab. inž. Tedeusz a ing. Jiří MUK, CSC. Stavební mechanika pro architektky. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1984, s. 282-283.....	10
Obr. 2 ukládání dílčích variant.....	12
Obr. 3 Proměnné sloup	14
Obr. 4 Deska se skrytým průvlakem	14
Obr. 5 Deska s viditelným průvlakem.....	14
Obr. 6 Databáze sloupů	15
Obr. 7 Schéma algoritmu	17
Obr. 8 Schéma programu.....	18
Obr. 9 Schéma programu.....	19
Obr. 10 Prostor grafu	20
Obr. 12 Uživatelské rozhraní.....	21
Obr. 11 ukázka výstupů	21



Seznam Příloh

1. příloha – strana 28.....Uživatelský manuál k programu
2. příloha – strana 30.....Statické výpočty
3. příloha – CD.....optimalizační program a manuál



1. PŘÍLOHA - UŽIVATELSKÝ MANUÁL

Úvod

Program slouží pro optimalizaci návrhu skeletového konstrukčního systému vícepodlažní budovy. Ceny zobrazované programem neodpovídají ceně celé konstrukce, program zohledňuje pouze střední pole konstrukce. Pro vzájemné porovnávání variant jsou ceny zcela dostatečné. V programu lze porovnávat dvě varianty konstrukčního systému.

- Železobetonový monolitický strop s viditelnými průvlaky
- Železobetonový monolitický strop se skrytými průvlaky

Tvorba Databáze

Přejděte do listu „VYPOCET“. Zde je možno zvolit zatížení od podlahy a zatížení od příček. Dále můžete upravit jednotkové ceny. Lze zde zohlednit například cenu za dopravu na stavenišť. Poté, co jste správně zvolili data, klikněte na tlačítko „POČÍTEJ“. Tato akce zablokuje Excel (i ostatní otevřené soubory v Excelu) na 10 – 20 min v závislosti na výkonosti počítače.

PARAMETRY KONSTRUKCE												
potřebné pro výpočet databáze			objemová hmotnost podlahy				gp=	1,8	kN/m2			
			nahodilá zatížení od příček				qp=	1,2	kN/m2			
spuštění tvorby databáze (15 min)						POČÍTEJ						
TŘÍDY BETONU												
	onazčení betonu	fck Mpa	fck,cube Mpa	fcu Mpa	ftm Mpa	fctk0,05 Mpa	fctk0,95 Mpa	Ecm Gpa	Ecu 0%	cena deska [k€/m3]	cena průvlak [k€/m3]	cena sloup [k€/m3]
1	C 12/15	12	15	20	1,6	1,1	2	27	3,5	2530	2520	2830
2	C 16/20	16	20	24	1,9	1,3	2,5	29	3,5	2660	2650	2970
3	C 20/25	20	25	28	2,2	1,5	2,9	30	3,5	2740	2730	3050
4	C 25/30	25	30	33	2,6	1,8	3,3	31	3,5	2850	2840	3160
5	C 30/37	30	37	38	2,9	2	3,8	32	3,5	3160	3140	3460
6	C 35/45	35	45	43	3,2	2,2	4,2	34	3,5	3320	3300	3620
TABULKY PRO OCEŇOVÁNÍ KONSTRUKCE												
	DESKA	Váha pro přesun [t]		CENA								
1	deska - zřízení bednění	0,002		369	k€/m2							
2	deska - odstranění bednění	0		112	k€/m2							
3	deska - zřízení podepření	0,007		214	k€/m2							
4	deska - odstranění podepření	0		42,9	k€/m2							
5	deska - cena ocel	1,055		38100	k€/t							
	PRŮVLAK	Váha pro přesun [t]		CENA								
6	průvlak - zřízení bednění	0,001		384	k€/m2							
7	průvlak - odstranění bednění	0		80,9	k€/m2							
8	průvlak - zřízení podepření	0,0012		574	k€/m2							
9	průvlak - odstranění podepření	0		124	k€/m2							
10	průvlak - ocel	1,055		37500	k€/t							
	SLOUP	Váha pro přesun [t]		CENA								
11	sloup - zřízení bednění	0,01		402	k€/m2							
12	sloup - odstranění bednění	0		54,2	k€/m2							
13	sloup - ocel	1,052		37100	k€/t							
	OSTATNÍ	Váha pro přesun [t]		CENA								
14	vnitrostaveništní přesun			262	k€/t							
TYPY ZATÍŽENÍ												
	typ zatížení	ψ0	ψ1	ψ2	zatížení							
1	A - Obytné plochy	0,7	0,5	0,3	1,5							
2	B - kancelářské plochy	0,7	0,5	0,3	2,5							
3	C1 shromažďovací plochy	0,7	0,7	0,6	3							
4	C2 shromažďovací plochy	0,7	0,7	0,6	4							
5	C3/C4/C5 shromažďovací plochy	0,7	0,7	0,6	5							
6	D1/D2 obchodní plochy	0,7	0,7	0,6	5							
VLASTNOSTI BETONÁŘSKÉ OCELE												
	V_OCEL	Fyk(Mpa)	Fyd(Mpa)	Es(Gpa)	ob.hmot							
1	ocel B500	500	435	200	7850							

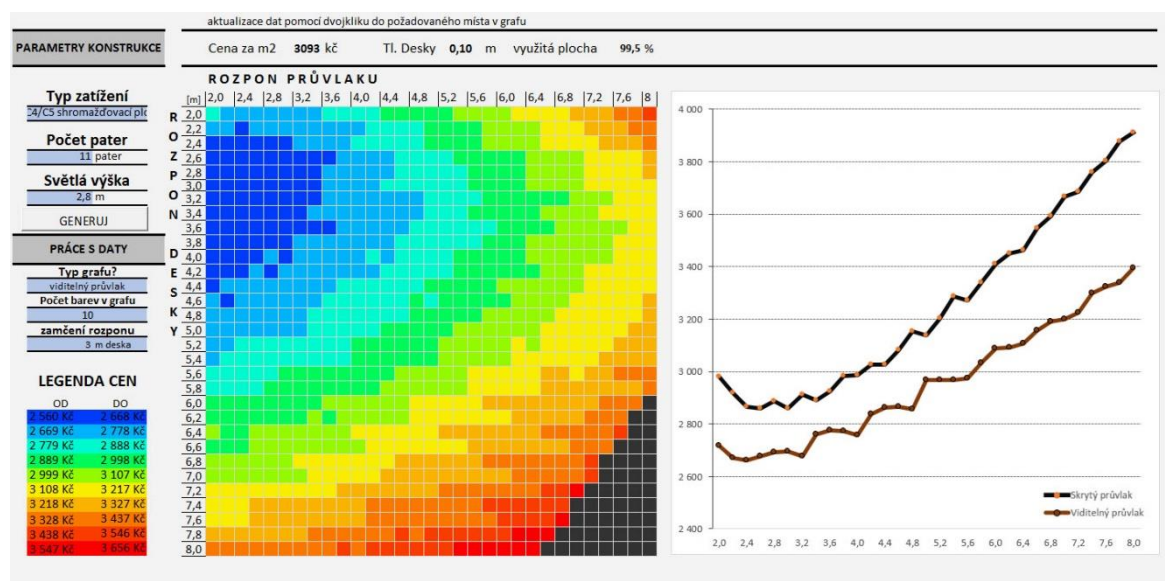


Data pro zobrazení

Po dokončení výpočtu přejděte do listu „GRAFY“. Zde je potřeba zvolit Typ zatížení, počet pater a světlou výšku konstrukčního systému. Data volíme v nabídce v levé části obrazovky. Po zvolení vámi požadovaných hodnot klikněte na tlačítko „GENERUJ“. Generování dat zabere maximálně 5s. Tyto data můžete změnit kdykoliv v průběhu práce s programem, je však nutné volbu potvrdit kliknutím na tlačítko „GENERUJ“.

Práce s daty

Následně si můžete zvolit, jaká data budou zobrazena. První možností v nabídce je **typ grafu**. Zde zvolte, které z konstrukčních variant má prostorový graf odpovídat (skrytý/viditelný průvlak). Dále můžete zvolit na kolik barevných částí se graf rozdělí. Legenda k barvám je umístěna pod nabídkou. Dvojklikem do oblasti prostorového grafu se zobrazí v horní části displeje informace o dané konstrukční variantě. Jde o cenu za m² užité plochy, tloušťku desky a procentuální využití plochy. Procentuální využití plochy udává kolik % plochy je zabráno svislými konstrukcemi.





2. PŘÍLOHA – STATICKÉ VÝPOČTY

posouzení sloupu

A_c – plocha výztuže sloupu

A_s – plocha průřezu sloupu

f_{cd} – návrhová pevnost betonu v tlaku

f_{yd} – charakteristická hodnota meze kluzu betonářské oceli

návrhová únosnost sloupu

$$N_{Rd} = (0,8 * A_c * f_{cd} + A_s * f_{yd}) * 0,8$$

l_d – rozpon desky

l_p – rozpon průvlaku

zatížení sloupu

$$N_{ed} = f_{m^2} * l_d * l_p$$

Posouzení

$N_{Rd} \geq N_{ed} \rightarrow$ pokud neplatí, sloup nevyhoví



Posouzení jednosměrně pnutých prvků

VÝPOČET ZATÍŽENÍ

h_d = výška průřezu desky

l_d = rozpon desky

h_p = výška průvlaku

b_p = šířka průvlaku

q_p = objemová hmotnost m^2 skladby podlahy

$g_{\text{zatížení}}$ – charakteristické nahodilé zatížení od příček

$g_{\text{zatížení}}$ – charakteristické nahodilé zatížení dané typem provozu

charakteristické stálé zatížení pro desku, skrytý průvlak a viditelný průvlak

$$q_k = h_d * 25 + q_p$$

$$q_k = (h_d * 25 + q_p) * l_d$$

$$q_k = (h_d * 25 + q_p) * l_d + (h_p - h_d) * b_p * 25$$

charakteristické nahodilé zatížení pro desku a pro průvlak

$$g_k = g_{\text{zatížení}} + g_{\text{příčka}}$$

$$g_k = (g_{\text{zatížení}} + g_{\text{příčka}}) * l_d$$

celkové návrhové zatížení na m prvku

$$(g_n + q_n)_d = 1,35 * g_k + 1,5 * q_k$$

l – rozpon posuzovaného prvku

$\psi_1; \psi_2$ – koeficienty dle typu zatížení

návrhový moment

$$m_{ed} = (g_n + q_n)_d * l_d^2 / 12$$

moment od kvazistálého zatížení

$$m_{ek,qp} = (g_k + \psi_2 * q_k) * l_d^2 / 12$$

moment od častého zatížení

$$m_{ek,čast} = (g_k + \psi_1 * q_k) * l_d^2 / 12$$



POSOUZENÍ PRŮŽEZU NA OHYB

c – krycí vrstva pro desku uvažována 0,03m

A_s – plocha ohybové výztuže

účinná výška průřezu

$$d = h_d - c$$

poloha neutrální osy

$$x = \frac{A_s * f_{yd}}{0,8 * b * f_{cd}}$$

Posouzení výšky tlačené oblasti

$$\frac{x}{d} < \xi_{bal,1} \rightarrow \text{pokud neplatí, posuzovaná konstrukce nevyhoví}$$

rameno vnitřních sil

$$z = d - 0,4 * x$$

moment únosnosti

$$m_{Rd} = A_s * f_{yd} * z$$

Posouzení průhybu

$$m_{Rd} \geq m_{ed} \rightarrow \text{pokud neplatí, posuzovaná konstrukce nevyhoví}$$



POSOUZENÍ VZNIKU TRHLIN

E_s – modul pružnosti betonářské oceli

E_{cm} – modul pružnosti betonu

f_{tm} – pevnost betonu v tahu

b – šířka průřezu – pro desku 1m, pro skrytý průvlak jako 0,4 kratšího rozponu

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$$

statický moment náhradního průřezu

$$A_i = A_c + \alpha_e * A_s$$



souřadnice těžiště náhradního průřezu

$$agi = (0,5 * b * h^2 + \alpha_e * A_s * d) / A_i$$

moment setrvačnosti průřezu

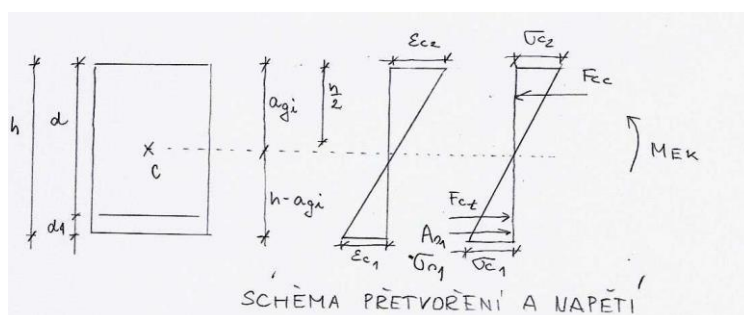
$$I_i = \frac{b * h^3}{12} + b * h * \left(\frac{h}{2} - agi\right)^2 - \alpha_e * A_s * (d - agi)^2$$

Ohybový moment při vzniku trhlin

$$m_{cr,st} = f_{tm} * \left[\frac{I_i}{h - agi} \right]$$

Posouzení vzniku trhlin

$m_{cr,st} \leq m_{ek,čast} \rightarrow$ Je li pravda trhliny vzniknou





PRŮŘEZ BEZ TRHLIN

φ_c – součinitel zohledňující dotvarování – uvažován 2,2

$$E_{ceff} = \frac{E_{cm}}{(1 + \varphi_c)}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{ceff}}$$

statický moment náhradního průřezu

$$A_i = A_c + \alpha_e * A_s$$

souřadnice těžiště náhradního průřezu

$$agi = (0,5 * b * h^2 + \alpha_e * A_s * d) / A_i$$

moment setrvačnosti průřezu

$$I_i = \frac{b * h^3}{12} + b * h * \left(\frac{h}{2} - agi\right)^2 - \alpha_e * A_s * (d - agi)^2$$

ohybová poddajnost průřezu bez trhlin

$$C_{l,qp} = \frac{1}{E_{ceff} * I_i}$$



PRŮŘEZ S PLNĚ ROZVINUTÝMI TRHLINAMI

$$E_{ceff} = \frac{E_{cm}}{(1 + \varphi_c)}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{ceff}}$$

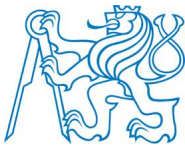
$$x_{ir} = \frac{\alpha_e * A_s}{b} * \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2 * b * d}{\alpha_e * A_s}} \right]$$

ohybová poddajnost průřezu oslabeného trhlinou

$$I_{ir} = \frac{b * x_{ir}}{3} + \alpha_e * A_s * (d - x_{ir})^2$$

moment setrvačnosti ideálního průřezu v trhlině

$$C_{II,qv} = \frac{1}{E_{ceff} * I_{ir}}$$



VÝPOČET PRŮHYBU

Rozdělovací součinitel zohledňující vliv betonu mezi trhlinami

$$\zeta = 1 - \beta * \left(\frac{m_{cr,st}}{m_{ek,čast}} \right)^2$$

výsledná křivost od kvazistálého zatížení

$$(1/r)_{gpq} = m_{ek,qp} * [(1 - \zeta) * C_{I,qp} + \zeta * C_{II,qp}]$$

Průhyb od smršťování

$$f_{cs} = 5mm$$

Výsledný průhyb

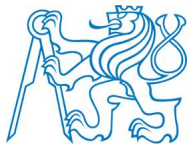
$$f_{g,qp} = \frac{1}{48} * \left(\frac{1}{r} \right)_{gpq} * l_d^2 + f_{cs}$$

limitní průhyb

$$f_{lim} = l_d/250$$

Posouzení průhybu

$f_{lim} \geq f_{g,qp} \rightarrow$ pokud neplatí, posuzovaná konstrukce nevyhoví



MEZNÍ OMEZENÍ NAPĚTÍ V BETONU A VÝZTUŽI

napětí v betonu

$$\sigma_{ek,qp} = m_{ek,qp} * \frac{x_{ir}}{I_{ir}}$$

maximální napětí v betonu

$$\sigma_c = 0,45 * f_{ck}$$

Posouzení napětí v betonu

$$\sigma_c \geq \sigma_{ek,qp}$$

napětí ve výztuži

$$\sigma_s = \alpha_e * m_{ek,qp} * \frac{d * x_{ir}}{I_{ir}}$$

Posouzení napětí ve výztuži

$$f_{yd} \geq \sigma_s \rightarrow \text{pokud neplatí, posuzovaná konstrukce nevyhoví}$$

MINIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE S OHLEDEM NA ŠÍŘKU TRHLINY

$$A_{ct} = b * (h - agi)$$

$$A_{s \min} = 0,4 * f_{ctm} * A_{ct} / \sigma_s$$

Posouzení minimální plochy výztuže

$$A_{s \min} \leq A_s \rightarrow \text{pokud neplatí, posuzovaná konstrukce nevyhoví}$$



ŠÍŘKA TRHLINY

$$h_{c,eff} = \min \left[2,5 * (h - d); \frac{h - x}{3}; \frac{h}{2} \right]$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{b * h_{c,eff}}$$

šířka trhliny

$$w_k = \left(3,4 * c + 0,8 * 0,5 * 0,425 * \frac{\varphi}{\rho_{p,eff}} \right) * \frac{1}{E_s} \left(\sigma_s - 0,4 * \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} * (1 + \alpha_e * \rho_{p,eff}) \right)$$

Posouzení šířky trhliny

$w_k \leq 0,4\text{mm} \rightarrow$ pokud neplatí, posuzovaná konstrukce nevyhoví