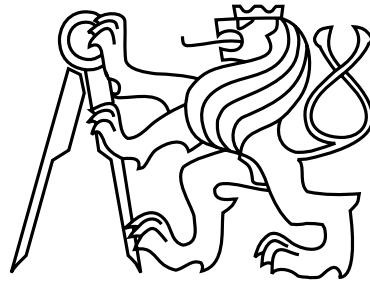


České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební
Katedra konstrukcí pozemních staveb



Optimalizace nosné konstrukce železobetonového skeletového systému

Disertační práce

Ing. Michal Ženíšek

Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Pozemní stavby
Vedoucí: prof. Ing. Petr Hájek, CSc., FEng.

Praha, únor 2021



PROHLÁŠENÍ

Jméno doktoranda: Ing. Michal Ženíšek

Název disertační práce: Optimalizace nosné konstrukce železobetonového skeletového systému

Prohlašuji, že jsem uvedenou disertační práci vypracoval/a samostatně pod vedením školitele prof. Petra Hájka, CSc., FEng.

Použitou literaturu a další materiály uvádím v seznamu použité literatury.

Disertační práce vznikla v souvislosti s řešením projektu:

DG18P02OVV063 - Vývoj progresivního sanačního postupu pro restaurování a konzervaci vojenských pevnostních objektů z 30. let 20. století

TAČR TH02030649 - Environmentálně efektivní stavební a demoliční odpad do konstrukcí (EESDOK)

TAČR TA03010501 - Optimalizovaný subtilní skelet pro energeticky efektivní výstavbu budov

SGS16/131/OHK1/2T/11 - Experimentální fasádní panely z UHPC jako podklad pro LED obrazovky

SGS14/116/OHK1/2T/11 - Optimalizace složení směsi UHPC a alternativní druhy vyztužení

V Praze dne 26. 2. 2021

.....
podpis

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi s dokončením disertační práce pomohli.

Na prvním místě děkuji mému školiteli prof. Petru Hájkovi za všechny odborné rady i vedení během mého doktorského studia. Dále děkuji Ing. Janu Peštovi za poskytnutí cenných informací v oblasti environmentálního hodnocení staveb a také Ing. Martinu Típkovi za konzultace v oblasti vyztužování železobetonových konstrukcí.

Velký díky patří mé rodině, která mě silně podporovala po celou dobu mého studia. Bez jejich pomoci, zvláště pak ke konci studia, bych nemohl tuto práci nikdy dokončit.

V neposlední řadě děkuji také mému Bohu. Za ochranu mého zdraví, zdraví mé rodiny i mých blízkých, za psychickou, fyzickou i duševní podporu a rovněž i za možnost studovat na vysoké škole.

Abstrakt

Železobetonové konstrukce jsou ve vyspělých zemích světa dlouhodobě jedním z nejvíce rozšířených stavebních systémů. Jejich velkou výhodou je široká rozmanitost tvarových řešení a výhodné statické parametry umožňující realizaci staveb o mnoha podlažích a s velkým zatížením. Z toho vyplývá, že tvar konstrukce i dimenze jednotlivých průřezů lze ve fázi návrhu optimalizovat z různých hledisek. Tato disertační práce se věnuje optimalizaci železobetonové skeletové konstrukce z hlediska finančních nákladů a environmentálních dopadů. Optimalizace je prováděna změnou dimenzí konstrukčních prvků (v tomto případě sloupů a desek) včetně jejich vyztužení. Výsledkem optimalizace jsou takové rozměry a vyztužení konstrukčních prvků, pro které jsou celkové finanční náklady a environmentální dopady nejnižší.

Součástí disertační práce jsou dvě případové studie, které dokládají možnosti optimalizace železobetonové skeletové konstrukce. Obě studie jsou formulovány stejným způsobem a je použito i stejného způsobu jejich optimalizace. Finanční náklady stavby byly hodnoceny položkovým rozpočtem s využitím cenové soustavy ÚRS pro oceňování stavební produkce a environmentální dopady byly analyzovány pomocí metody LCA (Posuzování životního cyklu). Pro posuzování environmentálních dopadů byl použit charakterizační model dle metodiky ReCiPe verze 1.08. Provedené případové studie ukázaly možnosti optimalizace nosné konstrukce nejenom ze statického hlediska, ale i z hledisek ekonomických a environmentálních. Prezentované závěry odpovídají konkrétní konstrukci skeletového systému a nelze je obecně generalizovat. Nicméně i tak ukazují na určité trendy a zákonitosti využitelné i při návrzích jiných železobetonových konstrukcí.

Klíčová slova: železobetonový skelet, případová studie, finanční náklady, environmentální dopad, položkový rozpočet, LCA.

Abstract

Reinforced concrete structures represent one of the most widespread building systems in developed countries around the world. The great advantage is a wide variety of shape solutions and structural parameters which allow the application for multi-storey buildings and enabling heavy load. The shape of the structure and dimensions of individual cross-sections can be optimized in the design phase from various perspectives. This dissertation deals with the optimization of the load-bearing RC structure in terms of cost and environmental impact. Optimization is performed by changing the dimensions of structural elements (in this case columns and floor slabs) and their reinforcement. The result of the optimization are dimensions and reinforcement of structural elements for which the total construction costs and environmental impacts are the lowest.

The dissertation includes two case studies that demonstrate the possibilities of optimizing the reinforced concrete structure. Both studies are formulated in the same way and are also optimized in the same way. The construction cost was evaluated by an itemized budget using the national price system. The environmental impact was analysed using the life cycle assessment (LCA) method. A characterization model according to the ReCiPe methodology version 1.08 was used to assess environmental impacts. The case study showed the possibilities of multi-criteria optimization of the load-bearing structure not only from a structural point of view, but also from economic and environmental points of view. The presented conclusions correspond to this specific construction of the RC structure used in a case study and cannot be generalized. Nevertheless, they point to certain trends and patterns that can also be used in the design of other reinforced concrete structures.

Keywords: reinforced concrete frame, case study, construction costs, environmental impacts, itemized budget, LCA.

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Původní název	Český ekvivalent
CIB	International Council for Research and Innovation in Building and Construction	Mezinárodní organizace pro výzkum a inovaci stavebních konstrukcí
COM	Component object model	
CML	Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden	
LCA	Life cycle assesment	Hodnocení životního cyklu
SNCR	Selective non-catalytic reduction	Selektivní nekatalická redukce
UHPC	Ultra-high performance concrete	Ultra-vysokohodnotný beton
UNCED	United Nations Conference on Environment and Development	Konference OSN o životním prostředí a rozvoji
VBA	Visual Basic for Applications	
FDP	Fossil depletion potential	Potenciál spotřeby fosilních paliv
FEP	Freshwater eutrophication potential	Potenciál eutrofizace sladkovodního prostředí
GWP	Global warming potential	Potenciál globálního oteplování
MDP	Metal depletion potential	Potenciál spotřeby kovů
ODP	Ozone depletion potential	Potenciál úbytku stratosférického ozónu
PMFP	Particulate matter formation potential	Potenciál tvorby prachových částic
POFP	Photochemical oxidant formation potential	Potenciál tvorby fotochemických oxidantů
TAP	Terrestrial acidification potential	Potenciál okyselování půdy

Obsah

Abstrakt	7
1 Úvod	14
1.1 Motivace	14
1.2 Zaměření práce	16
1.3 Cíle práce	16
2 Optimalizace	18
2.1 Úvod do optimalizace	18
2.2 Základní pojmy z optimalizace	19
2.3 Klasifikace optimalizačních úloh	20
2.4 Optimalizace ve stavebnictví	22
2.4.1 Optimalizace konstrukce	23
2.4.2 Optimalizace betonu	24
3 Optimalizační nástroj	26
3.1 Formulace úlohy	26
3.1.1 Optimalizační proměnné	26
3.1.2 Účelové funkce	27
3.2 Implementace úlohy	29
3.3 Návrh nosné konstrukce	31
3.4 Posouzení finančních nákladů	34
3.5 Posouzení environmentálních dopadů	37
4 První případová studie	41
4.1 Charakteristika konstrukce	41
4.2 Výsledky a diskuze	42
4.2.1 Optimální rozměry nosných prvků	42
4.2.2 Posouzení finančních nákladů	43
4.2.3 Posouzení environmentálních dopadů	44
5 Druhá případová studie	47
5.1 Charakteristika konstrukce	47
5.2 Výsledky a diskuze	50
5.2.1 Optimální rozměry nosných prvků	50
5.2.2 Posouzení finančních nákladů	53
5.2.3 Posouzení environmentálních dopadů	55

6	Vyhodnocení případových studií	64
6.1	Zjištěné poznatky	64
6.2	Směrování navazujícího výzkumu	67
7	Závěry a doporučení	69
	Bibliografie	71
	Seznam obrázků	78
	Seznam tabulek	79
	Publikace autora	80
A	Podklady k případovým studiím	86
B	Rozbory směrných cen	88
C	Výsledky 1. případové studie	107
C.1	Finanční náklady dle kalkulovaných položek	107
C.2	Kompletní výsledky optimalizace	107
D	Výsledky 2. případové studie	111
D.1	Varianta se 4 podlažími a osovou vzd. sloupů 4 m	111
D.2	Varianta se 4 podlažími a osovou vzd. sloupů 8 m	115
D.3	Varianta s 8 podlažími a osovou vzd. sloupů 4 m	119
D.4	Varianta s 8 podlažími a osovou vzd. sloupů 8 m	123
D.5	Varianta s 12 podlažími a osovou vzd. sloupů 4 m	127
D.6	Varianta s 12 podlažími a osovou vzd. sloupů 8 m	131

Kapitola 1

Úvod

1.1 Motivace

Beton¹ je nejpoužívanější stavební materiál dnešní doby. Od počátku průmyslové výroby cementu v 19. století [1, 2, 3] až do dnešní doby, produkce betonu téměř nepřetržitě roste [4]. V posledních několika desetiletích se tempo růstu navíc významně zrychlilo vlivem prudkého ekonomického rozvoje Číny. Podle statistik se roční výroba cementu² na celém světě pohybuje okolo 4 miliard tun [5, 6] a je tak pro srovnání více než dvojnásobná oproti produkci oceli [7]. S ohledem na současný strmý růst světové populace lze očekávat, že i v budoucnu bude tento trend nadále pokračovat nebo bude přinejmenším stagnovat okolo současných hodnot, což potvrzuje i řada vědeckých modelů [8, 9].

Masivní využití betonu je z velké míry způsobeno jeho univerzálními vlastnostmi. Beton je pevný, odolný a trvanlivý materiál, který je možné připravit jednoduchým postupem bez náročného a drahého vybavení, a to i v domácích podmínkách. Z betonu je možné bez problémů vytvořit stavby malé, velké i monumentální (přehradní nádrže, mrakodrapy, jaderné elektrárny, apod.), které svým tvarem a chováním kládou velmi rozdílné konstrukční i materiálové požadavky. Díky tomu, že beton je kompozitní materiál, jehož materiálové vlastnosti lze úpravou složení vhodně měnit, je možné připravit takový typ betonu, který bude svými vlastnostmi dané konstrukci nejvíce vyhovovat. Kromě stavebnictví nachází beton uplatnění také v oblasti architektury. Zde je využíván zejména díky jeho přednosti dosáhnout prakticky jakéhokoli tvaru, který je omezen pouze možnostmi daného bednění [10]. V neposlední řadě je beton využíván i na nejrůznější designové prvky, nábytek, sochy a další tvůrčí díla [11]. Z uvedených příkladů je zřejmé, že použití betonu, resp. železobetonu, je skutečně široké.

V roce 1992 proběhla v brazilském Rio de Janeiru konference UNCED (známá též jako Summit Země), ze které vyplynulo několik dokumentů týkajících se ochrany životního prostředí. Jedním z nich je Agenda 21 [12], která patří mezi základní texty trvale udržitelného rozvoje. V tomto dokumentu jsou na globální úrovni definovány cíle pro sladění civilizačního a hospodářského rozvoje při současné ochraně životního prostředí. Na Agendu 21 dále navazují další dokumenty a úmluvy, z nichž pro

¹Rozumí se cementový beton neboli směs cementu, kameniva, vody, příměsí a přísad.

²Většina statistik sleduje právě produkci cementu, nikoliv betonu.

stavebnictví významná je zejména zpráva organizace CIB pod názvem Agenda 21 pro udržitelnou výstavbu [13, 14]. V této zprávě jsou definovány základní principy udržitelné výstavby, mezi které patří zejména efektivní využívání surovin (omezení spotřeby primárních surovin, využití obnovitelných a recyklovatelných surovin), minimalizace spotřeby energie a vody, minimalizace produkce odpadu, efektivní využití půdy, ekonomická efektivnost, naplnění potřeb uživatelů budov, vytvoření zdravého životního prostředí v interiéru a další. Z uvedených principů je zřejmé, že udržitelná výstavba se netýká pouze ochrany životního prostředí, ale bere v potaz i ekonomické a sociální požadavky. Udržitelná výstavba je proto kompromisem mezi environmentálními, ekonomickými a sociálními požadavky, čímž se odlišuje od tradičního přístupu, který sleduje především ekonomické zájmy výstavby.

Z pohledu udržitelné výstavby jsou železobetonové konstrukce poměrně problematické. Na jedné straně sice vynikají svou odolností, trvanlivostí, ekonomickou efektivitou, atd., na straně druhé však spotřebovávají významné množství surovinových a energetických zdrojů, jsou zdrojem emisí a také se významnou měrou podílejí na vytváření odpadu. Z tohoto pohledu je na vině především výroba cementu, která je energeticky velice náročná a zároveň při ní dochází k uvolnění značného množství emisí CO₂. To je také důvod, proč je cement pod drobnohledem mnoha vědců, politiků i ekologických organizací a podle většiny statistik je cementářský průmysl odpovědný za zhruba 4 až 5 % z celkově vypouštěných emisí CO₂ [15, 16]. V reakci na tento fakt vznikají v posledních desetiletích různá řešení, jak tento negativní environmentální dopad cementu zmírnit nebo jej dokonce zcela zastavit [17].

Přestože výroba cementu doznala za poslední desetiletí velkých změn a cementárny jsou dnes čistším provozem než tomu bylo v minulosti, vyrobit cement zcela bez emisí CO₂ nelze. Důvodem je hlavní část procesu výroby cementu nazývaná jako kalcinace. Při tomto procesu dochází nejprve k výpalu surovinové moučky až na teplotu okolo 1450 °C (mez slinutí), při které vznikají slínkové minerály a následně prudkému ochlazení a ke vzniku slínku. Surovinová moučka je směsí vápence a dalších minerálů vhodných pro tvorbu slínku. Právě vápenec se již zhruba při 900 °C rozkládá na oxid vápenatý a oxid uhličitý ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$). Tomuto chemickému procesu se nelze nijak vyhnout ani ho omezit a většina úsilí ve snaze snížit emise CO₂ jde proto jinými cestami.

Výrobci cementu reagují na poptávku po snížení emisí CO₂ z cementu dvěma hlavními způsoby. První způsob, používaný již dlouhou dobu, je výroba směsných cementů [18]. Díky náhradě Portlandského slínku vhodnými příměsemi (vysokopecní granulovaná struska, vápenec a dříve také popílek³) dochází k menšímu využití Portlandského slínku a tím také k úspoře emisí. Druhým způsobem je využívání alternativních paliv pro výpal slínku. Tato metoda byla postupně zaváděna v 90. letech a dnes se namísto fosilních paliv (uhlí, zemní plyn) v hojné míře využívají různé průmyslové odpady nebo materiály, které již nelze dále recyklovat (zbytky plastů, papíru, pneumatik, biomasy, apod.). Kromě výrazné úspory fosilních paliv (přes 90 %) a úspory emisí CO₂ vzniklých při spalování, je tato metoda výhodná i ekonomicky a v neposlední řadě také dochází k energetickému využití odpadů při jejich likvidaci.

³Po zavedení metody SNCR pro snížení emisí oxidů dusíku NO_x je popílek kontaminován amoniakem a od jeho používání jako příměsi v betonu se ustupuje.

Strategií či metod, jak snížit emise CO₂ je celá řada [19], ne všechny jsou však kvůli technologickým a především ekonomickým důvodům vhodné pro praktické použití. Například práce vědců z MIT dokládá, že pomocí modifikace chemického složení cementu je možné zvýšit jeho pevnost a tím vyrobit beton s nižším obsahem cementu [20]. Patent firmy SolidiaTech [21] používá zase k vytvrzení betonu přímo sycení CO₂. Tyto a další metody jsou zatím ve fázi vývoje či přípravy a nebyly zatím plně převedeny do praxe. Jak ale vyplývá z velkého množství odborných textů, snížení environmentálního dopadu betonu a železobetonových konstrukcí je celosvětově věnována velká pozornost.

1.2 Zaměření práce

Jak už název napovídá, tato disertační práce se věnuje optimalizaci nosné konstrukce železobetonového skeletového systému ve fázi výstavby. Optimalizace byla prováděna s ohledem na finanční náklady a environmentální dopad nosné konstrukce. Obě tato kritéria jsou v dnešní době velice důležitá a optimalizace konstrukce jen na základě jednoho z nich by neměla patřičnou vypovídající hodnotu. Navíc jak se ukázalo v průběhu práce, je mezi oběma kritérii velmi silná pozitivní korelace. Nebylo proto nutné provádět vícekritériální optimalizaci, ale stačilo nalézt optimální řešení pouze pro jedno z kritérií.

První kritérium, finanční náklady, bylo považováno za klíčové z hlediska převedení závěrů této práce do praxe. Autor je toho názoru, že zavádění nových postupů či technologií v praxi je možné jen za příznivých ekonomických podmínek. Proto byla tomuto kritériu věnována náležitá pozornost. Finanční náklady nosné konstrukce byly stanoveny pomocí podrobného položkového rozpočtu s využitím směrných cen cenové soustavy ÚRS [22].

Druhé kritérium, environmentální dopad, představuje naopak důležité kritérium z hlediska celospolečenské poptávky. Jak bylo ukázáno výše, emise CO₂, ale i další environmentální hlediska, jsou v dnešním světě velice důležitým tématem. Environmentální dopady byly analyzovány pomocí metody LCA s následnou charakterizací pomocí metodiky ReCiPe [23].

1.3 Cíle práce

Disertační práce měla tři cíle, které byly určeny na základě výzkumné otázky. Tu lze formulovat takto:

„Je finančně a environmentálně výhodnější postavit nosnou konstrukci železobetonového skeletu z betonu nízké, střední nebo vysoké pevnosti?“

Odpověď na tuto otázku vyžaduje komplexní analýzu se zahrnutím všech významných technologických procesů během výstavby. Jestliže bude například nosná konstrukce vytvořena z vysokopevnostního betonu, bude jistě celkově subtilnější a lehčí než nosná konstrukce z obyčejného betonu s nízkou pevností. Stejně tak náklady na přepravu, bednění a přesuny hmot na staveništi budou celkově menší. Na druhou

stranu však finanční náklady i environmentální dopady spojené s využitím vysoko-
pevnostního betonu jsou podstatně větší. Rovněž i procento vyztužení je u subtilních
prvků vyšší a tedy i spotřeba ocelové výztuže bude u této konstrukce vyšší. Při op-
timalizaci konstrukce je proto všechny tyto věci vzít do úvahy.

Prvním cílem disertační práce bylo vytvořit výkonný optimalizační nástroj, který
by bral do úvahy všechny výše popsané skutečnosti. Konkrétně tedy objem použi-
tého betonu, hmotnost výztuže, plochu bednění, náklady na přepravu a přesuny
hmot na staveništi. Důležitým požadavkem optimalizačního nástroje také bylo, aby
umožňoval optimalizaci libovolné skeletové konstrukce. Proto bylo zapotřebí využít
některý ze statických softwarů ke stanovení vnitřních sil na nosných prvcích a nadi-
menzování výztuže.

Druhým cílem bylo použití optimalizačního nástroje v praktické úloze. Součástí
disertační práce jsou proto dvě případové studie, na kterých byla provedena opti-
malizace nosné konstrukce. V první případové studii byl na malé konstrukci ukázán
princip optimalizace a získány první poznatky. Ve druhé případové studii, která byla
již většího rozsahu, byla provedena optimalizace pro 6 variant nosné konstrukce.
Hlavním smyslem bylo ověřit poznatky z první případové studie a vyvodit případné
závěry a doporučení.

Třetím cílem bylo zodpovězení výzkumné otázky a poskytnout tak doporučení
určené všem statickým a stavebním inženýrům zabývajících se tvorbou nosné železo-
betonové konstrukce. Přestože si nelze myslet, že závěry plynoucí z této disertační
práce se budou vztahovat obecně na všechny železobetonové skeletové konstrukce,
mohou být přinejmenším určitým vodítkem při zpracování reálných projektů.

Kapitola 2

Optimalizace

2.1 Úvod do optimalizace

V reálném světě jsme čas od času postaveni před rozhodnutí, kdy máme na výběr z několika různých variant. Může se jednat o zcela běžné situace jako například jakou školu studovat, jaké auto koupit nebo jak investovat volné finanční prostředky. I když jsou taková rozhodnutí jistě důležitá, obvykle pro ně nemá smysl provádět optimalizaci. Většinou se totiž jedná o několik málo variant, ve kterých se dokážeme snadno zorientovat a řídíme se následně naším vkusem či osobními preferencemi. Na druhé straně však existuje celá řada problémů, kdy je optimalizace velmi užitečná a někdy dokonce nezbytná. Většinou se jedná o problémy z inženýrské praxe či přírodních věd, kdy máme na výběr z velkého počtu možných řešení a nezřídka je těchto řešení i nekonečně mnoho. Právě v takových případech je vhodné provést optimalizaci a pokusit se nalézt nejlepší (optimální) řešení daného problému.

Ačkoli se první optimalizační úlohy objevili již ve starověku (úloha princezny Dido) a během historických epoch přibývali další (Keplerův problém vinných sudů, Bernoulliho úloha o brachystochroně, Fermatova úloha o lomu světla, atd.), za počátek moderního rozvoje optimalizace bývá označováno teprve období 30. a 40. let 20. století. Hlavními dvěma průkopníky se stali George Dantzig [24] a Leonid V. Kantorovich, pozdější nositel Nobelovy ceny za ekonomii. Další rozvoj optimalizace pak nastal během 2. světové války díky tzv. operačnímu výzkumu¹, který aplikoval matematické metody na řešení některých rozhodovacích procesů. Tento výzkum probíhal ve Velké Británii od roku 1937, poté se přidaly další země jako Francie, Austrálie, Kanada a USA. Původním záměrem operačního výzkumu tedy bylo zvýšení efektivity vojenských operací, především v letecké a námořní oblasti (např. efektivní využití radaru k lokalizaci nepřátelských letadel, optimální způsob zaminování Japonského moře, atd. [25, 26, 27]). Po skončení války, během poválečné obnovy se metody operačního výzkumu začaly uplatňovat i v civilní oblasti, zejména v ekonomii a logistice. Tento proces byl také významně podpořen rozvojem výpočetní techniky v 50. letech, kdy se počítače začaly postupně dostávat ze specializovaných pracovišť do běžného života lidí (obchody, administrativa, komunikace,

¹Optimalizace a operační výzkum jsou termíny, které se významově značně překrývají. Operační výzkum je však zaměřený více na praktické řešení složitých rozhodovacích problémů, zatímco optimalizace spíše na efektivní nalezení extrému účelové funkce.

atd.).

V dnešní době jsou optimalizační metody či operační výzkum součástí mnoha oblastí běžného života. Typické oblasti využití lze nalézt ve výrobě, logistice, ekonomii, řízení, komunikacích, plánování, při rozvrhování lidských zdrojů, při návrhu hardwaru, apod. Ve většině případů souvisí proces optimalizace s úsporou nákladů (finančních, materiálních či jiných) nebo s úsporou času (zrychlení výpočtů, zkrácení doručení zásilky, apod.).

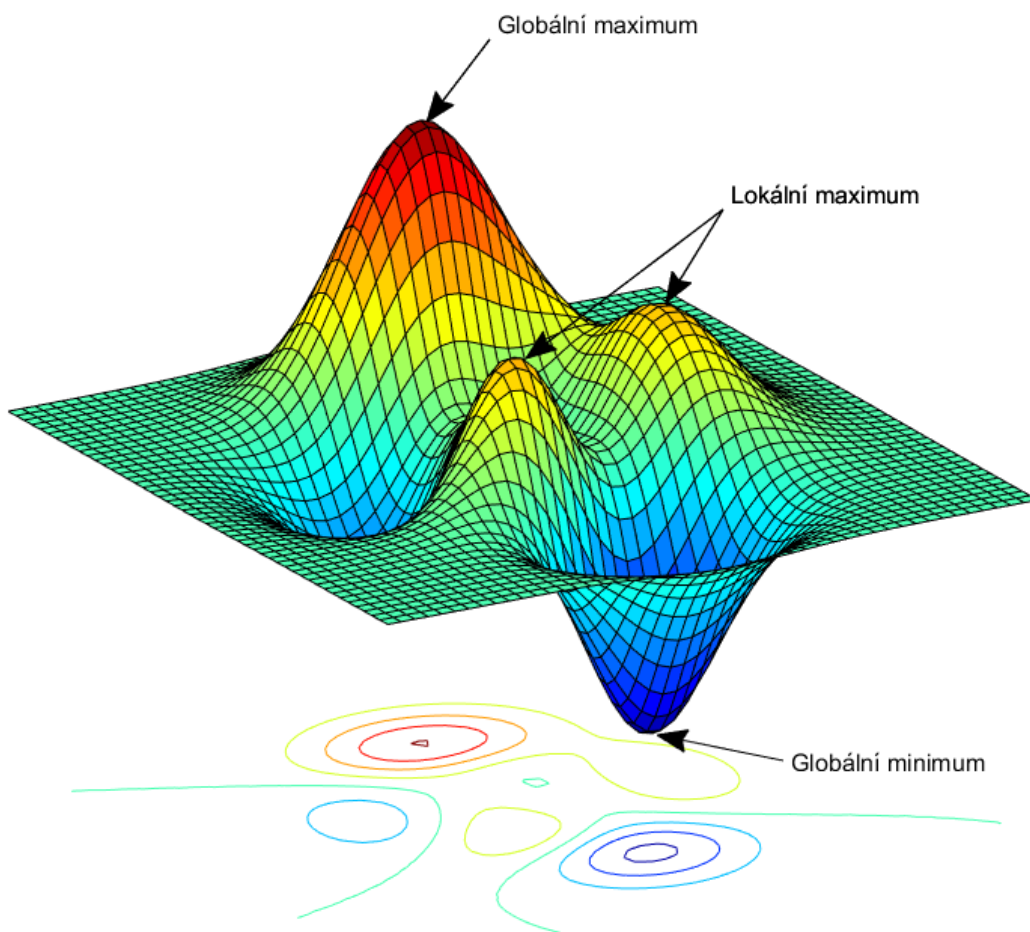
Optimalizací se však nezabývají pouze lidé, ale s trochou nadsázky lze říci, že optimalizuje i sama příroda. Tato skutečnost je dobře viditelná v mnohých zákonech fyziky, chemie a dalších přírodních vědách. Např. termodynamická soustava přirozeně usiluje o rovnovážný stav, který nastává v případě dosažení minima potenciální energie. Ve stavební mechanice je v tomto směru dobře znám Lagrangeův princip minima celkové potenciální energie, který stručně řečeno říká, že těleso se účinkem vnějších sil zdeformuje tak, aby jeho potenciální energie byla minimální. Kromě „neživé přírody“ je optimalizaci k vidění i v říši živočichů a rostlin, kde si jednotlivé organismy (včetně člověka) vybírají minimální cestu či minimální námahu k dosažení svého cíle.

2.2 Základní pojmy z optimalizace

Optimalizace je definována jako proces hledání optimálního řešení z množiny přípustných řešení. Jinými slovy, v rámci možností se snažíme dosáhnout co nejlepšího výsledku. Aby mohla být optimalizační úloha řešitelná, je nutné ji nejprve převést z běžného jazyka do jazyka matematiky a vytvořit odpovídající matematický model. To v první řadě znamená správně identifikovat problém a vystihnout jeho důležité rysy. Ve většině případů totiž nelze vytvořit přesný popis reality pomocí matematického modelu, a proto je zapotřebí provést větší či menší idealizaci problému. Dále je nutné zvolit optimalizační proměnné a určit jejich hranice (umožňuje-li to charakter úlohy), následně definovat účelovou funkci a nakonec přidat případné omezující podmínky. Nalezení optimálního řešení je tak převedeno na nalezení extrému (maxima či minima) účelové funkce.

Účelová funkce (nebo také cílová funkce, cenová funkce, kritériální funkce, aj.) je funkce více proměnných, která jednotlivým řešením přiřazuje jejich hodnotu. Optimální řešení je pak maximum, respektive minimum účelové funkce, které zároveň splňuje omezující podmínky. Účelová funkce nemusí mít v prohledávané oblasti pouze jedno maximum či minimum, ale hned několik. Příkladem může být dobře známá funkce dvou proměnných z knihoven Matlabu [28] na obrázku 2.1. Tato funkce má celkem 6 extrémů, které se mezi sebou liší svou hodnotou. Jako lokální maximum, resp. minimum se označuje bod funkce, který ve svém okolí nabývá největší, resp. nejmenší hodnoty. Globální maximum, resp. minimum je potom bod, ve kterém má funkce největší, resp. nejmenší hodnotu z celého definičního oboru. Analogicky k těmto dvěma pojmy se řešení úlohy nazývají lokální a globální řešení.

Je zřejmé, že při optimalizaci je žádoucí nalézt globální řešení, neboť právě to je optimální řešení úlohy. Naprostá většina optimalizačních metod však poskytuje nalezení pouze lokálního řešení, resp. nezaručuje, že nalezené řešení je skutečně globálním řešením. To lze nalézt jen v určitých speciálních případech, např. je-li účelová



Obrázek 2.1: Globální vs. lokální extrémy funkce

funkce a množina přípustných řešení konvexní (konvexním programování). Metody pro nalezení globálního řešení sice existují, nejsou však robustní a nehodí se pro vícedimenzionální problémy. Často jsou založeny na systematickém prohledávání definičního oboru, což je obvykle velice časově náročné. V drtivé většině případů se proto musíme spokojit s řešením, které nám poskytují běžné optimalizační metody.

2.3 Klasifikace optimalizačních úloh

Optimalizační úlohy se mohou klasifikovat na mnoho kategorií podle různých hledisek. Určení správné kategorie optimalizační úlohy je přitom důležitým krokem optimalizačního procesu, který následně rozhoduje o způsobu řešení úlohy. Metody řešení jsou totiž často ušité na míru pro konkrétní typ úlohy a pro nasazení správné metody je proto potřeba znát typ úlohy.

Jedním ze základních hledisek, podle kterého je možné optimalizační úlohy klasifikovat, je dle množiny přípustných řešení. Jestliže $f : A \rightarrow \mathbb{R}$ je účelová funkce a úlohou optimalizace je nalézt minimum funkce $f(x)$, kde $x \in M$ a množina pří-

pustných řešení $M \subseteq A$, pak v závislosti na charakteru této množiny se rozlišují dva základní typy úloh:

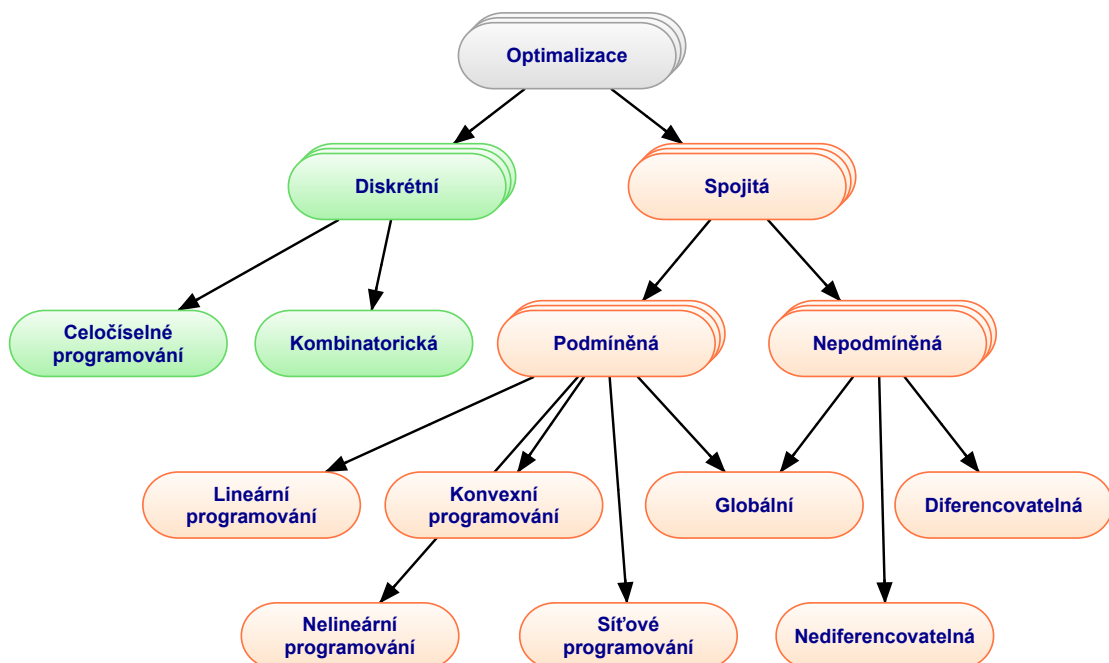
- **Diskrétní optimalizace**

Množina M je konečná, prvky této množiny jsou obvykle tvořeny celými čísly. Mezi typické úlohy diskrétní optimalizace patří např. hledání minimální cesty (problém obchodního cestujícího [29], úloha čínského listonoše [30]), maximální toky v síti, hledání minimální kostry grafu, problém batohu, apod. Velkou řadu těchto úloh řeší teorie grafů [31], která je jednou z disciplín diskrétní matematiky [32].

- **Spojité optimalizace**

Množina M je nekonečná, proměnné jsou z nespočetných množin. Tyto úlohy bývají paradoxně snadněji řešitelné než úlohy diskrétní optimalizace, neboť spojitost funkce obvykle napoví o chování funkce v jejím okolí. Úlohy spojité optimalizace lze dále dělit podle omezení proměnných na podmíněnou (proměnné jsou omezeny) a nepodmíněnou optimalizaci (proměnné nejsou nijak omezeny).

Tato klasifikace je spolu s dalšími odvozenými kategoriemi zobrazena v diagramu na obrázku 2.2. Jedná se pouze o ukázkou možné klasifikace, neboť mezi některými úlohami je tenká hranice nebo jsou úlohy mezi sebou navzájem propojené [33]. Kromě toho existují i další hlediska jak optimalizační úlohy klasifikovat (deterministické \times stochastické, lineární \times nelineární, jednokriteriální \times vícekriteriální, aj.)



Obrázek 2.2: Rozdělení optimalizačních úloh dle množiny přípustných řešení

Podobně jako existuje mnoho optimalizačních úloh, existuje také mnoho optimalizačních metod (algoritmů) k jejich řešení [34]. Jejich klasifikace je však ještě

obtížnější než klasifikace optimalizačních úloh. Většina těchto metod je iteračních, tzn. z počátečního nástřelu se postupnými kroky snaží přiblížit k optimálnímu řešení. Využívají přitom různých informací, které je možné z dané úlohy získat, např. první či druhou derivaci (pokud existuje), hodnotu účelové funkce, omezující funkce, apod.

Jedno z možných rozdělení optimalizačních metod je na deterministické, stochastické a enumerativní:

- **Deterministické**

Jako deterministické se označují ty metody, které ze stejných výchozích podmínek dojdou vždy ke stejnému výsledku. Odtud název deterministické - předurčené či předvídatelné. Účelová funkce je obvykle v analytickém tvaru a vyžaduje omezující funkce. k hlavním zástupcům těchto metod patří Newtonova metoda a gradientní metody.

- **Stochastické**

Jsou opakem deterministických metod, jejich fungování je založeno na využití náhody. Velkou skupinu těchto metod tvoří heuristické a metaheuristické metody [35, 36], které jsou často inspirované přírodními jevy (Evoluční algoritmy, Simulované žíhání [37], Monte Carlo, optimalizace hejnem částic a další).

- **Enumerativní**

Tyto metody provedou výpočet všech možných kombinací dané úlohy a poté vyberou optimální řešení. Nutnou podmínkou je dostatečně malé množství kombinací a z tohoto důvodu je tato metoda vhodná zejména pro diskrétní typy úloh. Velkou výhodou této metody je bezpečné nalezení globálního řešení.

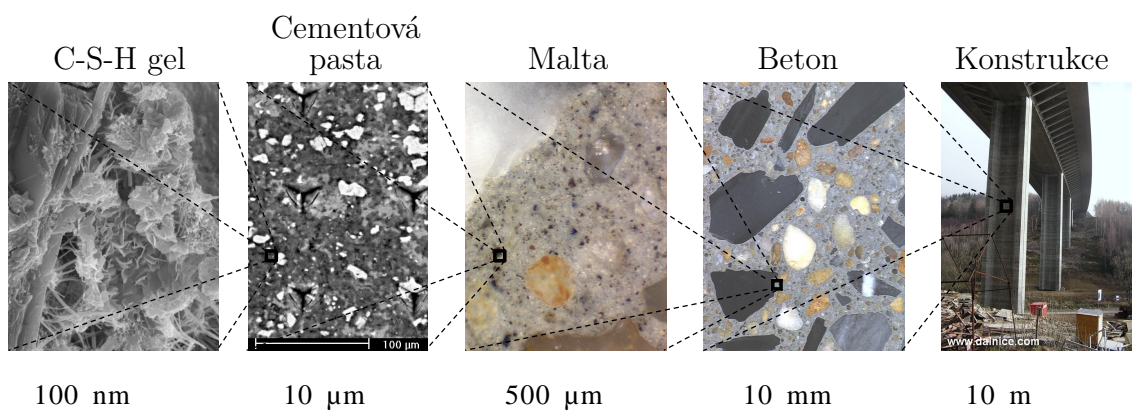
Optimalizační úloha řešená v této práci je z pohledu této klasifikace diskrétní optimalizací. Množina přípustných řešení je konečná a relativně malá. Proto mohla být úloha řešena enumerativně a optimální řešení následně vybrat ze spočtených výsledků. Zároveň také nebylo nutné procházet celou tuto množinu, protože některá řešení nemohla být z logiky věci optimální. Část těchto řešení byla proto vyloučena, čímž se podstatně zmenšila složitost úlohy.

2.4 Optimalizace ve stavebnictví

Optimalizaci má smysl provádět pouze tehdy, jestliže je díky ní dosaženo vyšší efektivity nebo úspory nákladů. Velký význam má například u sériové výroby, kdy je obvykle vyráběno velké množství výrobků po dlouhou dobu. V takových případech může optimalizace značně zvýšit efektivitu vlastní výroby i konečného produktu. Z tohoto úhlu pohledu se může zdát, že optimalizace ve stavebnictví nemá místo, neboť naprostá většina stavební výroby je unikátní². Avšak právě železobetonové konstrukce, které jsou často využívány pro stavbu velkých budov, dávají dostatek prostoru pro využití optimalizace. Na jejich výstavbu je potřeba velké množství materiálu a energie, které mohou být s využitím optimalizace významně redukovány.

²Stavební výrobou je myšleno provádění stavebních prací na stavbě. Na rozdíl od průmyslové výroby je stavební výroba typická zejména individuálním charakterem stavby.

Stavební konstrukce je možné optimalizovat na dvou základních úrovních – úroveň konstrukce a úroveň materiálu. V prvním případě je předmětem optimalizace samotná nosná konstrukce, ve druhém pak materiál, ze kterého je konstrukce stavěna. V případě železobetonu, jenž je kompozitním materiálem a sám je tedy složen z více materiálů, lze optimalizaci provádět na dalších čtyřech úrovních – beton, malta, cementová pasta a C-S-H gel. Všechny tyto úrovně mají zásadní vliv na výsledné vlastnosti betonu. V celkovém srovnání lze jednotlivé úrovně mezi sebou dobře rozlišit pomocí měřítka, jak je znázorněno na následujícím obrázku [38].



Obrázek 2.3: Víceúrovňová povaha železobetonu

2.4.1 Optimalizace konstrukce

Optimalizace konstrukce se zabývá geometrickým návrhem konstrukce. Jednou z takových úloh je například optimalizace nosné konstrukce vzhledem ke své hmotnosti či celkovým finančním nákladům. Jiným příkladem může být optimalizace obálky budovy z hlediska oslunění vnitřních prostor, uživatelského komfortu, apod. V posledních zhruba 20 letech se však odborná literatura věnuje optimalizaci ze dvou hlavních hledisek. Tím prvním je optimalizace konstrukce z hlediska environmentálních dopadů [39, 40, 41], zejména pak z hlediska energetické náročnosti [42, 43, 44] a emisí CO₂ [15, 19]. Tím druhým pak hledisko finančních nákladů [45]. Obě tato hlediska jsou v dnešní době velice důležitá a jsou proto řešena i v této práci.

Podle toho, jakou část geometrie optimalizace řeší (topologii, tvar či rozměry), se rozlišují jednotlivé druhy optimalizace [46]. V této práci jsou řešeny rozměry nosných prvků (sloupů a stropních desek) a jedná se proto o rozměrovou optimalizaci. Rozdíly mezi jednotlivými typy jsou uvedeny na následujících řádcích.

Topologická optimalizace

Konstrukce je optimalizována v té nejobecnější formě. Většinou je zadán pouze omezující prostor, ve kterém je cílem nalézt optimální uspořádání konstrukčních prvků. Tento druh optimalizace není ve stavebnictví natolik rozšířený, neboť celkový návrh budovy je zpravidla určen architektem nebo projektantem a z něho následně vyplyne i samotná konstrukce. Přesto existují aplikace, kde je topologickou optimalizací možné využít [47, 48].

Optimalizace tvaru

V tomto případě je topologie konstrukce určena a optimalizuje se pouze tvar jednotlivých prvků. Smyslem je najít takový tvar konstrukce, který bude nejlépe vyhovovat cílům optimalizace. Jestliže je například cílem optimalizace nosná konstrukce z hlediska únosnosti, pak je dobré některá místa v konstrukci posílit a jiná naopak oslabit podle konkrétního namáhání. Tím je dosaženo lepšího roznosu napětí a v důsledku také menšího namáhání jednotlivých prvků.

Rozměrová optimalizace

V tomto posledním druhu optimalizace je již známa poloha i tvar nosných prvků a řeší se pouze jejich rozměry (dimenze). V tomto případě je optimalizace většinou diskrétní kvůli dostupným průřezům či omezeným možnostem bednění. Rozměrová optimalizace bývá často k dispozici ve statických softwarech (Scia Engineer, RFEM, apod.), kde dochází k výběru optimálních rozměrů z databáze průřezů.

2.4.2 Optimalizace betonu

Jak je znázorněno na obrázku 2.3, optimalizace betonu může probíhat na více úrovních. Rovněž způsoby optimalizace se mohou velmi lišit, a to od poměrně jednoduchých až po velmi sofistikované [49]. V následujícím textu je zmíněna pouze optimalizace složení betonu, která je mezi všemi druhy optimalizace nejvíce používána.

Beton nebo také umělý kámen je dle betonářské normy ČSN EN 206+A1 [50] definován jako:

„Materiál ze směsi cementu, hrubého a drobného kameniva a vody, s přísadami, příměsemi nebo s vlákny nebo bez nich, který získá své vlastnosti hydratací cementu.“

Z této poměrně rozsáhlé definice vyplývá, že složení betonu může být dosti variabilní. Pro návrh betonu o určité pevnosti existuje několik návrhových metod (dle Kenedyho, Bolomeye, apod.), jejichž cílem je stanovit správný poměr jednotlivých složek betonu [51, 52]. Tyto metody jsou však pouze prvním krokem k určení poměru složek a pro dosažení optimálních vlastností betonu je velmi často potřeba směs odladit na větším množství pokusných směsí. V praxi se tedy pak většinou přistupuje k metodě „pokus-omyl“ a postupnými kroky je dosahováno požadovaných vlastností. Typickým příkladem může být určení správné kombinace cementu a plastifikačních přísad, což je velmi důležité pro udržení potřebné délky zpracovatelnosti betonu. Kromě těchto pokusů existují ale i způsoby, jak nastavit poměry složek trochu více vědecktěji. Například pro určení poměru jednotlivých frakcí kameniva existuje několik způsobů, které je možné využít [53]. Všechny se ale snaží dosáhnout stejného cíle – co nejvyšší hutnosti výsledné zrnité soustavy.

Čára zrnitosti

Čára zrnitosti je zejména díky své jednoduchosti oblíbeným nástrojem k určení vhodného poměru zrnitých materiálů (kamenivo, cement, příměsi). I proto vzniklo

hned několik pokusů o sestavení ideální čáry zrnitosti. však třeba poznamenat, že ideální čára zrnitosti, která by byla použitelná pro každý typ betonu, neexistuje.

Asi ta nejznámější čára zrnitosti byla sestavena již v roce 1907 a jejími autory jsou Fuller a Thomson [54]. Její podoba je

$$p_i = 100 \left(\frac{d_i}{d_{max}} \right)^n$$

kde p_i je celkový propad na sítu o jmenovitém rozměru d_i ,

d_{max} jmenovitý rozměr největšího síta,

n exponent, který je v původní verzi roven 0,5.

Podle jiných autorů, je však možné použít i jiné exponenty, které lépe vyhovují pro určitý druh kameniva či betonu. Například pro samozhutnitelný beton se osvědčil exponent 0,33, zatímco pro tradičně vibrované betony to je právě 0,5 [55].

Geometrické modely

Geometrické modely jsou ve srovnání s předchozí metodou již více sofistikované a dokáží zohlednit i tvar a drsnost zrn. K výpočtu stačí znát přitom pouze zrnitost jednotlivých materiálů (kamenivo, cement, příměsi) a změřit odpovídající parametry pro zohlednění tvaru a drsnosti zrn [56]. Výsledkem pak může být čára zrnitosti, která na rozdíl od ideálních čar zrnitosti nebude zcela plynulá, ale přesto bude mít beton s touto zrnitostí vyšší hutnost a tedy i lepší mechanické vlastnosti.

Diskrétní částicové modely

Posledním způsobem optimalizace zrnitosti je využití diskretních částicových modelů (DEM z angličtiny „discrete element models“). Tyto modely generují virtuální částicovou strukturu na základě známých čar zrnitosti materiálů [57]. Jedná se ale o podrobnější a dokonalejší popis zrnité soustavy než je tomu v případě geometrických modelů. Tyto modely počítají například s gravitací jednotlivých zrn a též uvažují i vzájemné srážky zrn (interakce) při míchání. Nevýhodou těchto modelů však je, že jsou velmi časově náročné a nemusí proto vést ani k nejvyšší dosažitelné hutnosti.

Kapitola 3

Optimalizační nástroj

Tato kapitola popisuje formulaci optimalizační úlohy a způsob jejího řešení. K úspěšnému provedení optimalizace a nalezení optimálního řešení bylo naprosto klíčové naprogramovat vhodný optimalizační nástroj, který by byl dostatečně obecný a umožňoval řešit libovolné skeletové konstrukce. Jeho implementace je rovněž součástí této kapitoly.

3.1 Formulace úlohy

3.1.1 Optimalizační proměnné

Optimalizace nosné konstrukce je přímo spojena s jejím hospodárným návrhem. Nosnou konstrukci je proto třeba dimenzovat tak, aby jednotlivé nosné prvky byly, co nejvíce využity. Významnou roli ale hraje i použitý materiál, neboť právě jeho pevnost rozhoduje o dimenzích nosných prvků. Vzhledem k tomu, že tato práce cílí především na optimalizaci skeletové konstrukce, byly jako optimalizační proměnné zvoleny tyto parametry: průřez sloupu, tloušťka stropní desky a pevnostní třída betonu. Všechny tyto optimalizační proměnné zásadním způsobem ovlivňují celkovou podobu nosné konstrukce. Průřez sloupu a tloušťka stropní konstrukce jsou určeny možnostmi dostupného bednění, pevnostní třída betonu vyplývá z normových požadavků. Ve všech třech případech se tedy jedná o diskrétní optimalizační proměnné s předem danou množinou hodnot:

1. Průřez sloupu: 200×200 , 250×250 , ... 800×800 mm (celkem 13 hodnot)
2. Tloušťka stropní desky: 120, 130, ... 320 mm (celkem 21 hodnot)
3. Pevnostní třída betonu: C20/25, C25/30, C30/37, C35/45, C40/50, C45/55, C50/60, C60/75, C70/85, C80/95 (celkem 10 hodnot)

První optimalizační proměnná, průřez sloupu, uvažuje čtvercový průřez s rozměry 200×200 až 800×800 mm. Rozměry průřezu menší než 200×200 mm nejsou vhodné z konstrukčních či technologických důvodů (problémy se štíhlostí, vyztužením, přesností výroby, apod.). Naopak průřez 800×800 mm je brán jako maximum z hlediska hospodárnosti. Mezi těmito hranicemi je průřez sloupu měněn s přírůstkem stran 50 mm, což odpovídá možnostem systémového bednění. Takto určený

průřez sloupu je stejný pro všechny sloupy v rámci jednoho podlaží, nikoliv však v celé budově. Vzhledem k tomu, že zatížení sloupu klesá s přibývajícými podlažími, byla tato skutečnost zohledněna zmenšením průřezu o 50 mm v každém lichém podlaží.

Druhá optimalizační proměnná, tloušťka stropní desky, předpokládá jako minimum hodnotu 120 mm. Menší tloušťka desky je sice teoreticky možná, ale opět bychom se dostali do technologických potíží s vyztužením, akustickými požadavky, deformacemi, apod. Naopak jako maximální tloušťka desky je stanovena tloušťka 320 mm. Je-li ze statických důvodů potřeba větší tloušťka desky, používá se v praxi často systém vylehčení pomocí vylehčovacích vložek.

Třetí optimalizační proměnná, pevnostní třída betonu, je určena technickými normami ČSN EN 1992-1-1 a ČSN EN 206. Třída betonu C20/25 je minimální pevnostní třídou pro stupeň vlivu prostředí XC1, což je beton, který odolává korozi výztuže vlivem karbonatace při nízké vlhkosti vzduchu (uvnitř budovy). Další betony až do pevnostní třídy C50/60 jsou označovány jako obyčejné betony a vyrábí je většina betonáren v ČR. Od třídy C55/67 až do C100/115 (nejvyšší pevnostní třída dle normy) se betony označují jako vysokopevnostní. Tyto betony vyrábí pouze omezená skupina betonáren a jsou k dispozici většinou až po předchozí domluvě. Betonárna se musí na jejich výrobu důsledně připravit, neboť jejich výroba je celkově náročnější. Nutnost použití kvalitního kameniva, příměsí, chemických přísad apod. prodražuje výrobní náklady a v důsledku toho je jejich pořizovací cena výrazně vyšší. Do této studie byly pro srovnání zahrnuty 3 třídy vysokopevnostního betonu, a to C60/75, C70/85 a C80/95.

Množina přípustných řešení, tvořená na základě těchto tří optimalizačních proměnných, obsahuje celkem 2 730 variant ($13 \times 21 \times 10$). Nalezení optimální varianty konstrukce z celé této množiny enumerativním způsobem by bylo časově náročné. Naštěstí není nutné procházet celou množinu přípustných řešení, ale pouze její část. Velmi totiž záleží na charakteru optimalizované konstrukce. Například pro budovu s malými rozměry stropních polí je vhodné nastavit optimalizované rozměry průřezu sloupu a stropní desky na minimální hodnoty a větší průřezy z optimalizace vyloučit. Větší průřezy prvků znamenají totiž více spotřebovaného betonu a ani z hlediska vyztuže nedojde k úspoře oceli, neboť z konstrukčních důvodů je vždy potřeba zajistit alespoň minimální vyztužení. Podobná situace nastává i v případě pevnosti betonu. Vyšší třídy betonu mají smysl jen pro více namáhané prvky a pro malé stavby není jejich potenciál plně využit. Tímto způsobem je možné pro konkrétní nosnou konstrukce nastavit přiměřené hranice optimalizačních proměnných, čímž dojde k významné redukci množiny přípustných řešení a tím i ke zrychlení výpočtu.

3.1.2 Účelové funkce

Cílem práce je optimalizace nosné konstrukce železobetonového skeletového systému s ohledem na finanční náklady a environmentální dopad. Za normálních okolností by se jednalo o vícekritériální optimalizaci, kterou by bylo potřeba převést na jednokritériální (např. pomocí váhových koeficientů) nebo zvolit optimální řešení z Paretovy množiny. Jak už ale bylo naznačeno v úvodu, během optimalizace nosné konstrukce se ukázalo, že obě tato kritéria spolu výborně korelují. Úloha se tak v podstatě

sama redukuje na jednokriteriální optimalizaci, neboť optimalizací jednoho kritéria je optimalizováno i kritérium druhé.

Při sestavování účelových funkcí bylo snahou zahrnout všechny materiály a stavební práce, které jsou nutné pro výstavbu nosné konstrukce. Uvažovány byly čtyři druhy nosných prvků (základy, sloupy, stropní desky a stěny) a ke každému z nich odpovídající materiály a stavební práce. Konkrétně to byl objem beton, hmotnost výztuže, plocha bednění (u stropních desek navíc podpěrná konstrukce) a přepravní náklady. V případě základové konstrukce nebylo bednění započítáno, neboť byla předpokládána betonáž přímo do připravené stavební jámy.

První účelová funkce U_1 vyjadřuje potřebné finanční náklady na pořízení nosné konstrukce (viz podkapitola 3.4). Jedná se v podstatě o prostý součet všech použitých materiálů a stavebních prací, které jsou přenásobeny příslušnou jednotkovou cenou. Matematicky je účelovou funkci možné zapsat ve tvaru

$$U_1 = \sum_{i=1}^4 B_i b_i + \sum_{i=1}^4 V_i v_i + \sum_{i=1}^3 S_i s_i + P p_i + \sum_{i=1}^4 H_i h_i \quad (3.1)$$

kde i je prvek nosné konstrukce (základy, sloupy, stropní desky, stěny),
 B beton základů, sloupů, stropních desek nebo stěn v m^3 ,
 b jednotková cena betonu základů, sloupů, stropních desek nebo stěn,
 V výztuž základů, sloupů, stropních desek nebo stěn v tunách,
 v jednotková cena výztuže základů, sloupů, stropních desek nebo stěn,
 S bednění sloupů, stropních desek nebo stěn v m^2 ,
 s jednotková cena bednění sloupů, stropních desek nebo stěn,
 P podpěrná konstrukce stropních desek (zřízení a odstranění) v m^2 ,
 p jednotková cena podpěrné konstrukce stropních desek,
 H přesun hmot základů, sloupů, stropních desek nebo stěn v tunách,
 h jednotková cena přesunu hmot podle výšky nosné konstrukce.

Druhá účelová funkce U_2 hodnotí environmentální dopady nosné konstrukce (viz podkapitola 3.5). I zde se jedná o součet všech materiálů a stavebních prací přenásobených v tomto případě jednotkovými environmentálními daty. Ty jsou ale shodná pro všechny typy nosných prvků a je v nich navíc zahrnut i přesun hmot na staveništi. Výsledný tvar účelové funkce je pak

$$U_2 = b \sum_{i=1}^4 B_i + v \sum_{i=1}^4 V_i + s \sum_{i=1}^3 S_i \quad (3.2)$$

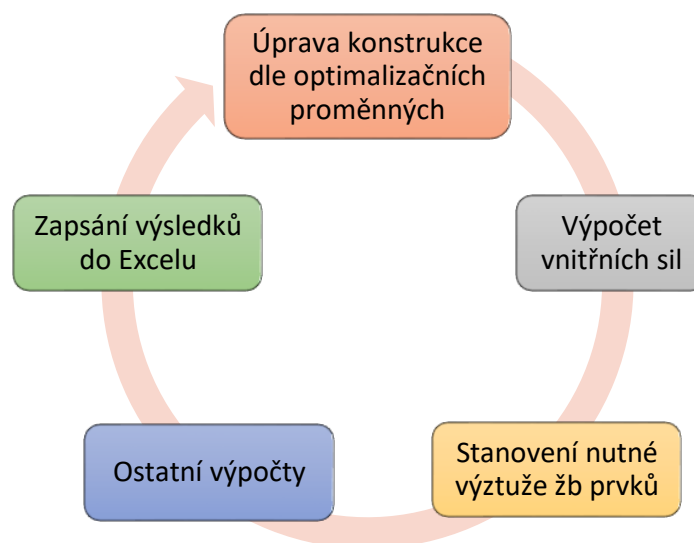
kde i je prvek nosné konstrukce (základy, sloupy, stropní desky, stěny),
 b jednotkové environmentální dopady betonu dané pevnostní třídy,
 B beton základů, sloupů, stropních desek nebo stěn v m^3 ,
 v jednotkové environmentální dopady výztuže,
 V výztuž základů, sloupů, stropních desek nebo stěn v tunách,
 s jednotkové environmentální dopady bednění,
 S bednění sloupů, stropních desek nebo stěn v m^2 .

3.2 Implementace úlohy

K nalezení optimální varianty nosné konstrukce bylo zapotřebí využít některý ze statických softwarů, který dovoluje vymodelovanou konstrukci skriptovat. Z tohoto důvodu byl vybrán software RFEM od společnosti Dlubal Software s.r.o. [58], jehož součástí je přídatné programovatelné rozhraní COM (component object model) využitelné v běžných programovacích jazycích. Program RFEM je určen pro statickou analýzu metodou konečných prvků a toto rozhraní poskytuje možnost vymodelovanou konstrukci opakovaně upravit, spustit výpočet a exportovat výsledky. Díky tomu bylo možné napsat poměrně komplexní optimalizační program a optimalizační úlohu tak plně automatizovat.

Optimalizační program byl naprogramován v jazyku Visual Basic for Applications (VBA), který je součástí tabulkového procesoru MS Excel. Kombinace VBA a programu Excel je výhodná z několika důvodů. Za prvé, jazyk VBA je určený pro psaní uživatelských maker a editor VBA je proto již součástí Excelu. Vývoj aplikací je tak značně zjednodušen, neboť výsledky optimalizace lze ukládat a dále zpracovávat přímo v Excelu. Odpadá tak potřeba exportu dat z jiných programů, což bývá mnohdy problém. V neposlední řadě je výhodou i vysoká přenositelnost, bez nutnosti instalace dalších programů. Program RFEM lze kompletně ovládat jen za pomoci programu Excel.

Postup optimalizace je následující. Konstrukci, která má být optimalizována, je potřeba nejprve klasicky vymodelovat v programu RFEM (včetně nastavení všech zatěžovacích stavů, kombinací, atd.). Dále jsou ve vytvořeném optimalizačním programu (Excel + VBA) nastaveny hranice pro jednotlivé optimalizační proměnné, dále jsou určeny optimalizované prvky a poté již spuštěn výpočet. Optimalizace probíhá cyklicky pro každou kombinaci optimalizačních proměnných, a to dle následujícího diagramu (obrázek 3.1). Nejprve jsou v programu RFEM provedeny modifikace podle aktuálních optimalizačních proměnných (tj. změna průřezu sloupů,



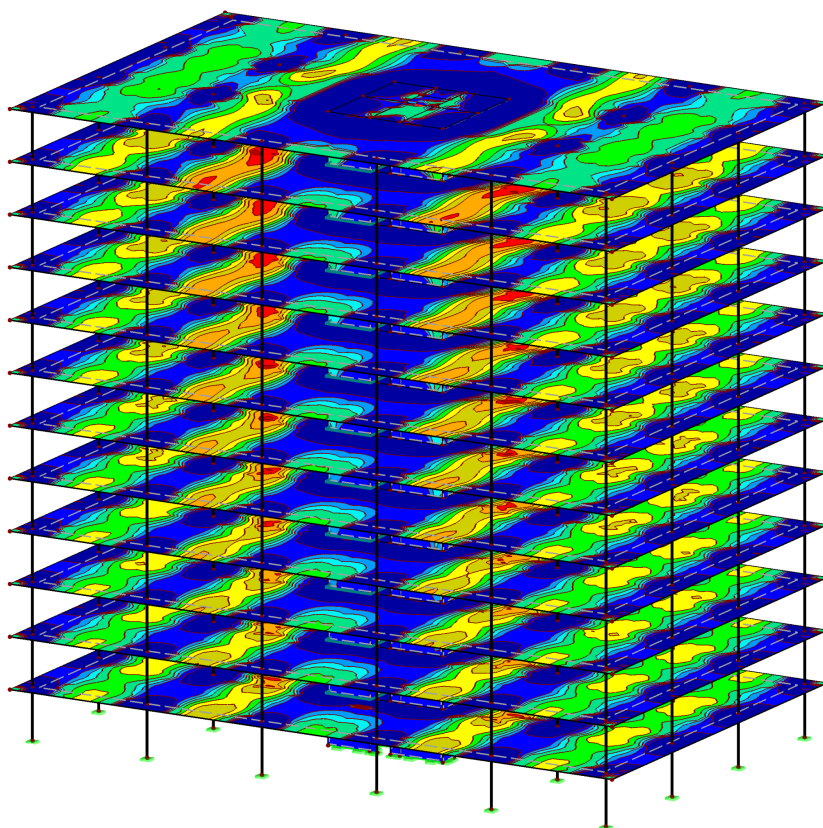
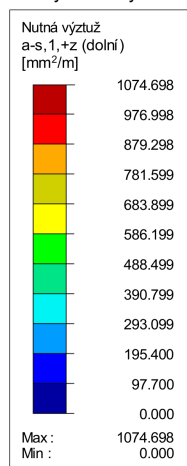
Obrázek 3.1: Postup optimalizace

změna tloušťky stropních desek a změna třídy betonu). Následně je spuštěna hlavní část výpočtu, ve kterém RFEM vypočte vnitřní síly konstrukce. Dalším krokem je stanovení nutné výztuže železobetonových prvků podle normy. Jestliže je možné konstrukci vyztužit, provedou se zbývající výpočty jako je výpočet objemu železobetonových prvků, plochy bednění a přesun hmot a výsledky se zapíší do Excelu. V případě, že se nepodaří výztuž spolehlivě navrhnout (např. kvůli malým rozměrům nosných prvků), výpočet se přeruší a pokračuje se od začátku další kombinací optimalizačních proměnných.

Optimalizaci nosné konstrukce je možné provést na jakékoliv železobetonové konstrukci vymodelované v programu RFEM. Jedinou podmínkou je použití přídatného modulu RF-CONCRETE Surfaces, který je součástí RFEMu. Tento přídatný modul slouží k návrhu a posouzení plošných železobetonových prvků a v optimalizačním programu byl využit ke stanovení nutné výztuže stropních desek a stěn (obrázek 3.2). Pro stanovení minimální nutné výztuže sloupů existuje v RFEMu rovněž přídatný modul s názvem RF-CONCRETE Columns. Ten však nemohl být využit, neboť pro něj v současné době neexistuje podpora rozhraní COM. Proto bylo v rámci optimalizačního programu naprogramováno vlastní sestavení interakčního diagramu, na jehož základě byla pro každý sloup stanovena minimální nutná výztuž.

Celková doba výpočtu závisí především na velikosti konstrukce, hustotě sítě konečných prvků a celkovém počtu kombinací. Standardně se optimalizuje celá nosná konstrukce, což byl provedeno i v této práci. Alternativně je ale také možné opti-

RF-CONCRETE Surfaces PŘ1
Návrh výztuže
Plochy Nutná výztuž a-s, 1,+z (dolní)



Obrázek 3.2: Ukázka grafického výstupu z programu RFEM

malizovat jen určitou část konstrukce (např. pouze stropní desky), díky čemuž se výpočet nepatrně zrychlí.

K výpočtům byl použit notebook Lenovo Ideapad 510 s procesorem Intel Core i7 2,5 GHz a operační pamětí 8 GB DDR4. Pro srovnání, ve druhé případové studii (viz kapitola 5), varianta konstrukce o čtyřech podlažích a osově vzdálenosti sloupů 4 m byla počítána ve 118 různých kombinacích a výpočet trval necelých šest hodin. Konstrukce o 12 podlažích a osově vzdálenosti sloupů 4 m byla počítána ve 128 kombinacích a výpočet zde trval cca 21 hodin.

3.3 Návrh nosné konstrukce

Návrh nosné konstrukce byl proveden dle platné metodiky mezních stavů. Rozměry průřezů nosných prvků horní stavby (tloušťka stropních desek a průřezy sloupů) byly optimalizovány na základě požadavků MSÚ-STR - viz ČSN EN 1990 [59]. Pro stropní desky byla rozhodující možnost vyztužení z hlediska únosnosti v ohybu a únosnosti v protlačení - viz ČSN EN 1992-1-1 [60]. Sloupy byly navrhovány s ohledem na působící kombinaci normálové síly a ohybového momentu se zohledněním vlivu štíhlosti, II. řádu a geometrických imperfekcí. Avšak za účelem nalezení optimální varianty nosné konstrukce, nebylo nutné provádět přesný návrh výztuže (stanovovat počet profilů a jejich rozmístění), ale pouze vypočítat její minimální plochu. Ve výsledku totiž nejde o přesné vyčíslení celkové hmotnosti výztuže, která bude použita v konstrukci, ale pouze o vzájemné srovnání a nalezení optimální varianty nosné konstrukce. I přes toto zjednodušení je ale celkové vypočtené množství výztuže poměrně přesné, což bylo ověřeno porovnáním s reálnými konstrukcemi.

Splnění požadavků mezního stavu použitelnosti konstrukce nebylo podrobně ověřováno, ale bylo využito zjednodušujícího ověření pomocí vymezení ohybové štíhlosti (3.3). Při splnění tohoto kritéria již není nutné prokazovat průhyb přesným výpočtem, který by v rámci optimalizace znamenal značné zdržení. Zároveň je však toto kritérium značně konzervativní, a proto bylo v rámci hospodárneho návrhu místo účinné výšky průřezu uvažováno přímo s tloušťkou desky. Tím byla navržená tloušťka desky více podobná reálnému návrhu. Podle tohoto kritéria musí být splněno

$$\lambda = \frac{L}{d} \leq \lambda_d, \quad (3.3)$$

kde λ je ohybová štíhlost prvku,

L rozpětí prvku v m,

d účinná výška průřezu m,

λ_d vymežující ohybová štíhlost (z tabulky).

Základová konstrukce byla navrhována podle předběžného výpočtu z betonu třídy C30/37. Předpokládány byly jednoduché základové poměry a únosností zeminy 250 kPa. V závislosti na charakteru konstrukce byly zvoleny buďto základové patky nebo základové desky doplněné pilotami. V případě základových patek byly rozměry stanoveny na základě únosnosti zeminy a velikosti síly v základové spáře

(předpokládáno bylo centrické zatížení patek s čtvercovou podstavou). V případě základové desky byla její tloušťka stanovena podle požadované únosnosti v protlačení a podle velikosti zatížení byly v místech sloupů doplněny pilotami o průměru 600, 900 nebo 1200 mm. Délka pilot byla ve všech případech 12 m, pod touto úrovní již bylo předpokládáno únosné skalní podloží. Díky použití pilot bylo možné snížit tloušťku základové desky zhruba na polovinu. Výztuž základů nebyla dimenzována, ale byl proveden pouze odhad průměrného vyztužení. U základových patek a pilot bylo uvažováno shodně 45 kg výztuže na m^3 betonu, v případě základových desek pak 150-160 kg výztuže na m^3 betonu

Nosná konstrukce byla standardně zatížena dle pravidel normy ČSN EN 1991-1-1 (Eurokód 1). Zatížení bylo rozděleno do jednotlivých zatěžovacích stavů, z nichž byly následně vytvořeny kombinace zatížení. Jako stálé zatížení (G) byly uvažovány tyto 3 zatěžovací stavy:

- **Vlastní tíha nosné konstrukce (ZS1)**

Tento zatěžovací stav byl generován automaticky programem RFEM na základě dimenzí jednotlivých nosných prvků. Velikost tohoto zatížení byla jiná pro každou variantu nosné konstrukce, neboť během optimalizace docházelo ke změně dimenzí sloupů a stropních desek. Při výpočtu vlastní tíhy bylo uvažováno s objemovou tíhou železobetonu 25 kN/m^3 .

- **Konstrukce podlahy (ZS2)**

Vlastní tíha podlahy byla uvažována rovnoměrným charakteristickým zatížením 2 kN/m^2 . Tato hodnota předpokládá souvrství těžké plovoucí podlahy a byla zvolena dostatečně konzervativně, aby pokrývala většinu reálných skladeb v dnešních budovách. Hodnota 2 kN/m^2 byla stejně použita také pro odhad vlastní tíhy střešního pláště ploché střechy.

- **Lehký obvodový plášť (ZS3)**

Vlastní tíha lehkého obvodového pláště byla vyjádřena rovnoměrným liniovým zatížením o velikosti $1,5 \text{ kN/m}$. Toto zatížení bylo umístěno vždy po obvodě každého podlaží s výjimkou střechy.

Dále bylo uvažováno 8 typů proměnného zatížení (Q):

- **Užitné zatížení (ZS4, ZS5, ZS6, ZS7, ZS8)**

Užitné zatížení hodnotou 3 kN/m^2 , které odpovídá běžným kancelářským provozům. Toto zatížení bylo pro vyvození maximálního účinku rozděleno do pěti zatěžovacích stavů (plné ve všech polích, lichá pole ve směru x, sudá pole ve směru x, lichá pole ve směru y a sudá pole ve směru y). K tomuto zatížení bylo ještě přičteno zatížení $0,8 \text{ kN/m}^2$ od přemístitelných příček, které odpovídá příčkám s vlastní tíhou menší než 2 kN/m .

- **Sníh (ZS9)**

Sníh hodnotou $0,56 \text{ kN/m}^2$. Návrh respektuje normu ČSN EN 1991-1-3 (I. sněhová oblast ČR, plochá nepochozí střecha, normální topografie, běžná tepelná propustnost střechy).

- **Vítr (ZS10, ZS11)**

Vítr na celý povrch budovy. Návrh proběhl automaticky díky vestavěnému generátoru v programu RFEM a respektuje normu ČSN EN 1991-1-4 (II. větrná oblast ČR, kategorii terénu IV). Pro získání maximálních účinků byl uvažován vítr ve dvou zatěžovacích stavech (směr x a směr y).

Celkem bylo na konstrukci vytvořeno 11 zatěžovacích stavů, které byly pro posouzení 1. MSÚ uspořádány do kombinací podle vztahu

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}. \quad (3.4)$$

Podle tohoto vztahu byly vzniklo tak následujících 9 kombinací zatížení s cílem vyvodit maximální napětí v různých částech konstrukce

$$KZ1 = 1,35 ZS1 + 1,35 ZS2 + 1,35 ZS3 + 1,5 ZS4 + 0,75 ZS9$$

$$KZ2 = 1,35 ZS1 + 1,35 ZS2 + 1,35 ZS3 + 1,5 ZS5 + 0,75 ZS9$$

$$KZ3 = 1,35 ZS1 + 1,35 ZS2 + 1,35 ZS3 + 1,5 ZS6 + 0,75 ZS9$$

$$KZ4 = 1,35 ZS1 + 1,35 ZS2 + 1,35 ZS3 + 1,5 ZS7 + 0,75 ZS9$$

$$KZ5 = 1,35 ZS1 + 1,35 ZS2 + 1,35 ZS3 + 1,5 ZS8 + 0,75 ZS9$$

$$KZ6 = 1,0 ZS1 + 1,0 ZS3 + 1,5 ZS10$$

$$KZ7 = 1,0 ZS1 + 1,0 ZS3 + 1,5 ZS11$$

$$KZ8 = 1,35 ZS1 + 1,35 ZS2 + 1,35 ZS3 + 1,05 ZS4 + 0,75 ZS9 + 1,5 ZS10$$

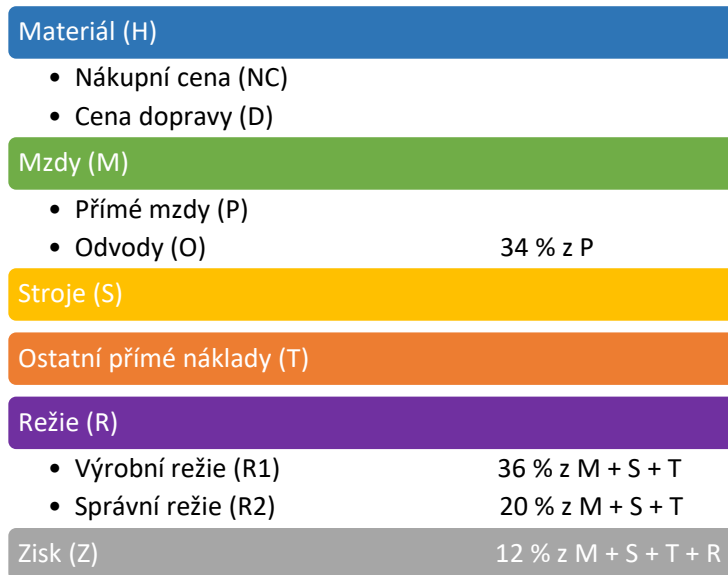
$$KZ9 = 1,35 ZS1 + 1,35 ZS2 + 1,35 ZS3 + 1,05 ZS4 + 0,75 ZS9 + 1,5 ZS11$$

Kombinace KZ1 až KZ5 byly použity pro vyvození extrémních hodnot vnitřních sil ve vodorovných nosných konstrukcích. Kombinace KZ6 a KZ7 slouží k ověření dostatečného vodorovného ztužení objektu (zda účinek svislého zatížení ve svislých konstrukcích převáží nad účinkem vodorovného zatížení). Poslední dvě kombinace KZ8 a KZ9 mají za cíl vyvodit maximální tlakové namáhání ve svislých nosných konstrukcích.

3.4 Posouzení finančních nákladů

Cena stavebního díla se obvykle stanovuje podrobným položkovým rozpočtem, který zahrnuje soupis všech materiálů, výrobků a stavebních prací, z nichž se stavební dílo skládá. Pro každou položku rozpočtu je podle projektové dokumentace určeno její množství, které je následně vynásobeno odpovídající jednotkovou cenou. Tímto způsobem je nejprve získána celková cena jednotlivých položek a po jejich kompletním sečtení pak výsledná cena stavby. Platí přitom, že čím je položkový rozpočet podrobnější, tím přesnější je výsledná cena stavby. Vzhledem k tomu, že tato práce se zabývá optimalizací nosné konstrukce, je položkový rozpočet omezen pouze na prvky nosné konstrukce.

Ke stanovení finančních nákladů nosné konstrukce bylo využito směrných cen cenové soustavy ÚRS [22]. Jedná se o databázi více než 170 tisíc položek (včetně jejich popisů), která slouží jako zdroj informací o cenách materiálů, výrobků a stavebních prací. Tato databáze je určena pro investory, projektanty i dodavatele a to jak ve fázi přípravy stavby, tak její realizace. Směrné ceny jsou průměrnými cenami (bez DPH) a jsou sestavovány na základě skutečných nákladů podle kalkulačního vzorce. Cenová soustava ÚRS pracuje s klasickým kalkulačním vzorcem používaným ve stavebnictví - viz obrázek 3.3. Databáze je aktualizována pravidelně každého půl roku a odpovídá tedy reálné situaci na trhu. V této disertační práci byly pro obě dvě případové studie použity směrné ceny za II. pololetí roku 2018, které byly získány z programu KROS 4 [61].

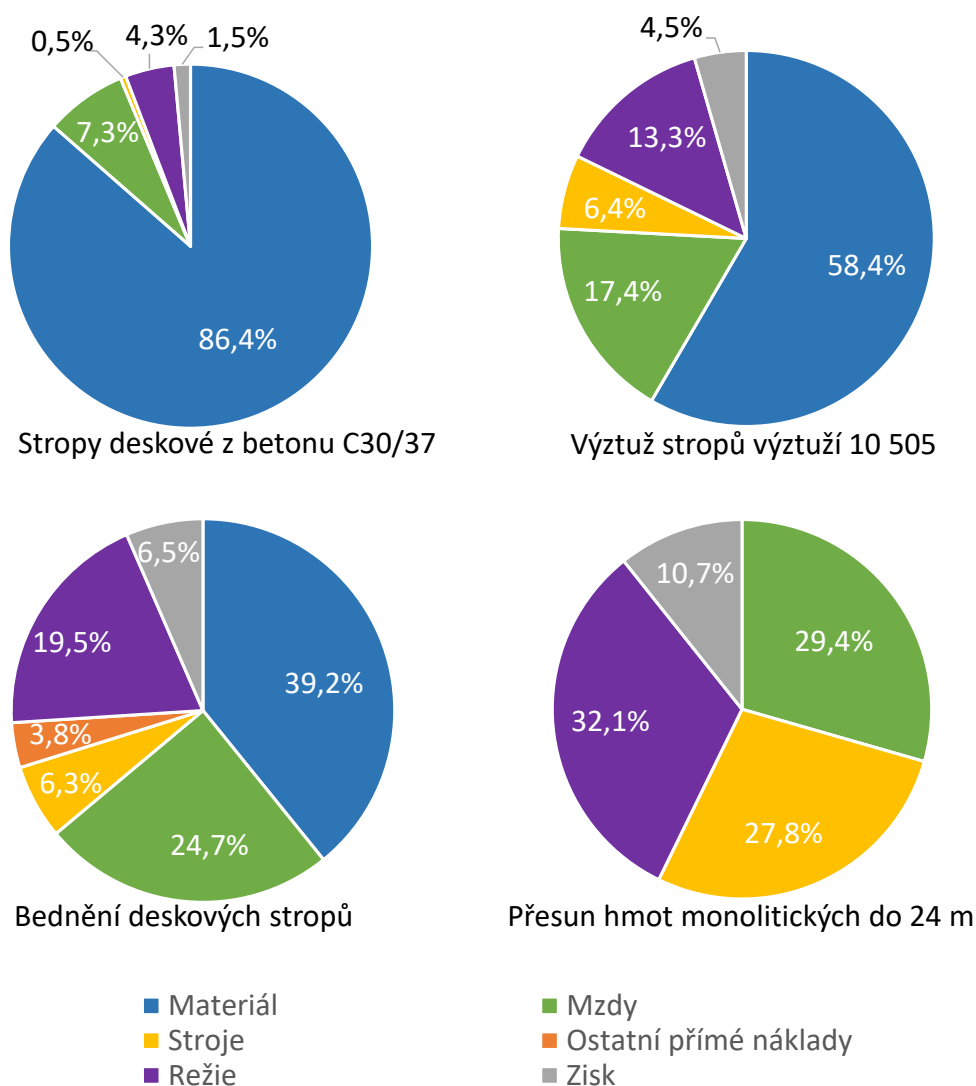


Obrázek 3.3: Kalkulační vzorec

Konkrétní seznam položek je uveden v tabulce 3.1. Z uvedeného seznamu položek vyplývá, že pro každý prvek nosné konstrukce byly kalkulovány náklady na materiál (beton, výztuž), bednění, přesun hmot na staveništi a v případě stropů také náklady na podpěrnou konstrukci. V případě základů nebylo uvažováno pouze bednění neboť se předpokládá lití betonu přímo do výkopu.

Tabulka 3.1: Seznam položek pro posouzení finančních nákladů

Položka	Popis
A01	Základy
273 32-1611	Základové desky ze ŽB bez zvýšených nároků na prostředí tř. C30/37
273 36-1821	Výztuž základových desek betonářskou ocelí 10 505 (R)
275 32-1611	Základové patky ze ŽB bez zvýšených nároků na prostředí tř. C30/37
275 36-1821	Výztuž základových patek betonářskou ocelí 10 505 (R)
A02	Svislé konstrukce
330 32-1510	Sloupy nebo pilíře ze ŽB tř. C20/25 bez výztuže
330 32-1410	Sloupy nebo pilíře ze ŽB tř. C25/30 bez výztuže
330 32-1610	Sloupy nebo pilíře ze ŽB tř. C30/37 bez výztuže
330 32-1710	Sloupy nebo pilíře ze ŽB tř. C35/45 bez výztuže
330 32-1810	Sloupy nebo pilíře ze ŽB tř. C40/50 bez výztuže
331 35-1121	Zřízení bednění čtyřúhelníkových sloupů výšky do 4 m průřezu do 0,16 m ²
331 35-1122	Odstranění bednění čtyřúhelníkových sloupů výšky do 4 m průřezu do 0,16 m ²
331 35-1125	Zřízení bednění čtyřúhelníkových sloupů výšky do 4 m průřezu do 0,36 m ²
331 35-1126	Odstranění bednění čtyřúhelníkových sloupů výšky do 4 m průřezu do 0,36 m ²
331 36-1821	Výztuž sloupů hranatých betonářskou ocelí 10 505 (R)
341 32-1510	Stěny nosné ze ŽB tř. C 20/25 bez výztuže
341 32-1410	Stěny nosné ze ŽB tř. C 25/30 bez výztuže
341 32-1610	Stěny nosné ze ŽB tř. C 30/37 bez výztuže
341 32-1710	Stěny nosné ze ŽB tř. C 35/45 bez výztuže
341 32-1810	Stěny nosné ze ŽB tř. C 40/50 bez výztuže
341 35-1111	Zřízení oboustranného bednění nosných stěn
341 35-1112	Odstranění oboustranného bednění nosných stěn
341 36-1821	Výztuž stěn betonářskou ocelí 10 505 (R)
A03	Vodorovné konstrukce
411 32-1515	Stropy deskové ze ŽB tř. C20/25
411 32-1414	Stropy deskové ze ŽB tř. C25/30
411 32-1616	Stropy deskové ze ŽB tř. C30/37
411 32-1717	Stropy deskové ze ŽB tř. C35/45
411 32-1818	Stropy deskové ze ŽB tř. C40/50
411 35-1011	Zřízení bednění stropů deskových tl. do 25 cm bez podpěrné konstrukce
411 35-1012	Odstranění bednění stropů deskových tl. do 25 cm bez podpěrné konstrukce
411 35-4313	Zřízení podpěrné konstrukce stropů výšky do 4 m tl. do 25 cm
411 35-4314	Odstranění podpěrné konstrukce stropů výšky do 4 m tl. do 25 cm
411 36-1821	Výztuž stropů deskových betonářskou ocelí 10 505 (R)
A09	Přesun hmot
998 01-2021	Přesun hmot pro budovy monolitické v do 6 m
998 01-2022	Přesun hmot pro budovy monolitické v do 12 m
998 01-2023	Přesun hmot pro budovy monolitické v do 24 m
998 01-2024	Přesun hmot pro budovy monolitické v do 36 m
998 01-2025	Přesun hmot pro budovy monolitické v do 48 m



Obrázek 3.4: Porovnání 4 různých položek cenové soustavy ÚRS

Cena materiálu (H) je pro většinu kalkulovaných položek (beton, výztuž, bednění) v kalkulačním vzorci tou nejvíce dominantní složkou. V případě betonu a výztuže navíc tvoří více jak polovinu ceny, jak je vidět z porovnání na obrázku 3.4. Proto bylo za účelem přesnějšího vzájemného porovnání finančních nákladů provedeno nahrazení ceny materiálu vlastními cenami. V případě betonu byla jeho cena odvozena ze složení jednotlivých receptur¹, které uvádí tabulka A.1 v příloze A. Pro tyto receptury byly dle složení odvozeny jednotkové ceny betonu a ty následně použity místo ceny betonu v kalkulačním vzorci. Cena výztuže byla stanovena pevnou částkou 21 000 Kč za tunu betonářské oceli B500B. Cena dopravy materiálů na stavbu byla připočtena k pořizovací ceně materiálu a je počítána v závislosti na přepravní vzdálenosti.

¹Složení betonu bylo určeno dle vodního součinitele a obsahu cementu. Množství kameniva bylo určeno z rovnice absolutních objemů a rozděleno do frakcí dle Fullerovy křivky zrnitosti. Obsah superplastifikátorů byl odhadnut za předpokladu stupně vlivu prostředí XC1 a konzistence betonu stupně S4.

3.5 Posouzení environmentálních dopadů

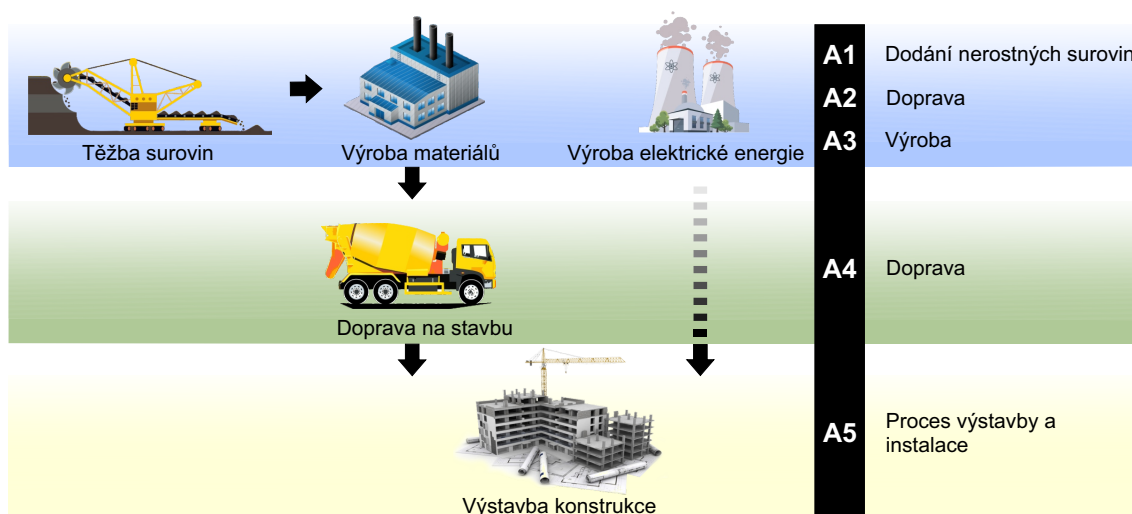
Environmentální dopady nosné konstrukce byly posuzovány pomocí metody posuzování životního cyklu (LCA, z angl. *life cycle assessment*). Tato standardizovaná metoda, která analyzuje potenciální environmentální dopady produktu nebo služby během jejich životního cyklu, je popsána v normách ČSN EN ISO 14040 [62] a ČSN EN ISO 14044 [63].

Metoda LCA se skládá ze čtyř fází, které se mezi sebou vzájemně ovlivňují. Jedná se o tyto fáze:

1. Stanovení cílů a rozsahu
2. Inventarizační analýza
3. Posuzování dopadů
4. Interpretace

V první fázi je potřeba definovat cíl studie, popsat hranice porovnávaných systému a funkci porovnávaných produktů. Na základě funkce je pak definována funkční jednotka, která popisuje míru naplnění této funkce. Ve druhé fázi, inventarizační analýze, jsou analyzovány veškeré energetické a materiálové vstupy do posuzovaného systému stejně tak jako výstupy z něj. Ve třetí fázi jsou posuzovány potenciální environmentální dopady tak, že jsou jednotlivé toky nejprve klasifikovány, tj. zařazeny do kategorií dopadu, kde mají potenciál způsobit dopad. Následuje charakterizace toků tak, že jsou vynásobeny příslušným charakterizačním faktorem z vybrané metody pro posuzování dopadu. V poslední, čtvrté fázi, probíhá interpretace výsledků. Během této fáze dochází k definování závěrů a popisu limitů studie v souladu s jejími cíli a rozsahem [64].

V této disertační práci byly environmentální dopady posuzovány pro nosnou konstrukci ve fázi výstavby ve dvou případových studiích. V obou těchto studiích byly porovnávány environmentální dopady pro 10 pevnostních tříd betonu. Hlavní



Obrázek 3.5: Schéma hranic posuzovaného systému

funkcí obou budov je poskytnout užitný prostor v rámci určité plochy. Přestože nosné konstrukce budov jsou v případových studiích rozdílné a mezi sebou vzájemně neporovnatelné, v rámci jedné nosné konstrukce je možné provést srovnání environmentálních dopadů pro jednotlivé pevnostní třídy betonu.

Jelikož se jedná o posuzování pouhých variant konstrukcí, byly do hranic posuzovaných systémů zahrnuty předpokládané procesy výroby surovin a produktů, dopravy výrobků a plánované procesy na stavbě. Tento rozsah procesů bývá označován jako „od kolébky k bráně“ (z angl. „cradle-to-gate“) a podle označení, které je definováno normou ČSN EN 15804+A2 [65] zahrnuje moduly A1-A5. Hranice posuzovaného systému jsou graficky znázorněny na obrázku 3.5.

Tento rozsah hranic systému byl zvolen na základě předpokladu, že životnost nosné konstrukce přesahuje životnost ostatních částí budovy. Tento předpoklad odráží skutečnost, že při dodržení podmínek pro správné užívání budovy se liší její referenční životnost od předpokládané životnosti ostatních částí. Výsledky analýzy tak mohou být ovlivněny velkými nejistotami spojenými s dalšími procesy životního cyklu celé budovy, jako je údržba, rekonstrukce nebo odstranění stavby. Zahrnuté procesy jsou podrobně rozepsány v tabulce 3.2. Environmentální data k procesům byla převzata z databáze thinkstep a environmentální modelování bylo provedeno v softwaru Gabi [66].

Tabulka 3.2: Předpokládané procesy zahrnuté do hranic systému

Zahrnuté procesy	Popis procesu
Produkcce cementu CEM I 42,5 R	Zahrnuje vytěžení primární suroviny, produkci slínku i mletí cementu. Data reprezentují průměrnou německou produkci cementu s označením podle EN 197-1.
Produkcce cementu CEM II 32,5 R	Zahrnuje vytěžení primární suroviny, produkci slínku i mletí cementu. Data reprezentují průměrnou německou produkci cementu s označením podle EN 197-1.
Produkcce písku	Technologický mix zahrnuje suchou i mokrou extrakci. Data pro vytěžený a vytříděný písek reprezentují průměrnou německou produkci.
Produkcce šterku	Vytěžený šterk, promytý, usušený a vytříděný do různých frakcí. Data reprezentují průměrnou německou produkci.
Výroba ocelové výztuže	Průměrná evropská produkce vyztužené oceli.
Výroba polykarboxyl. plastifikátoru	Průměrná evropská produkce polykarboxylátů pro stavební účely.
Nákladní doprava materiálu	Průměrná nákladní doprava v zemích EU-28, mix emisních tříd Euro 0-6, celková váha 40 t, max. náklad 27 t. Převážná vzdálenost byla uvažována z podmínek běžných v ČR, tj. 10 km u betonu a 20 km u výztuže.
Míchání betonu	Kontinuální míchačka o objemu 2,5 m ³ s motorem o příkonu 55 kW.
Čerpání betonu	Čerpadlo betonových směsí na automobilovém podvozku výkon 170 m ³ /h.
Přeprava na stavbě pomocí jeřábu	Jeřáb věžový stabilní, 21 kW, pro přepravu výztuže a bednění.
Výroba el. energie	Průměrný energetický mix v české rozvodné síti.

Při sběru údajů byly využity materiálové toky surovin podle výkazu materiálů potřebných pro stavbu nosné konstrukce a další údaje o dopravě a energetické náročnosti stavebních procesů byly převzaty z popisů směrných cen cenové soustavy ÚRS. Environmentální dopady betonů byly modelovány podle tabulky A.1. Generické procesy modelující těžbu písku a kameniva, výrobu ocelové výtzuže, cementu a plastifikátorů byly převzaty z databáze thinkstep (tabulka A.2). Ze stejné databáze byly využity generické procesy i pro modelování dopravy materiálů. Environmentální dopady spotřeby elektřiny byly modelovány pomocí generického procesu pro výrobu elektřiny v české rozvodné síti.

Toky materiálů a energií, které vstupují a vystupují z posuzovaných systémů, byly charakterizovány podle metody ReCiPe, verze 1.08 [67, 23]. Výhodou této metody je, že zahrnuje jak midpointové indikátory kategorie dopadu ze starší metodiky CML, tak i endpointové indikátory kategorie dopadu z metodiky Ecoindicator. Tato metoda umožňuje navíc použití třech sad charakterizačních faktorů, přičemž každá z těchto sad zohledňuje jednu z následujících kulturních perspektiv:

1. individualistická (I)
2. hierarchická (H)
3. rovnostářská (E)

Pro účely této studie byla vybrána konsenzuální hierarchická perspektiva (H), která zohledňuje střednědobý časový rámec a je proto vhodná pro vědecké účely. V této disertační práci bylo použito 8 midpointových indikátorů, které jsou blíže popsány v tabulce 3.3. Tyto indikátory patří ve stavebnictví mezi nejdůležitější a zároveň je bere do úvahy i norma ČSN EN 15804+A2 [65].

Výsledky indikátorů byly normalizovány a váženy. Normalizace slouží k vyjádření výsledků indikátorů v bezrozměrných hodnotách, které lze mezi sebou sčítat. Normalizované výsledky byly vypočítány vztažením výsledků indikátorů k normalizovaným příspěvkům pro dané indikátory. Normalizované příspěvky byly převzaty z normalizační sady dat ReCiPe 1.08 (H), Mid-point Normalization, World, incl. biogenic carbon (person equivalents). Vážení se používá pro zdůraznění výsledků podle hodnot pro každou kategorii. Vážené výsledky byly vypočteny vynásobením normalizovaných výsledků váhovými faktory, které stanovuje skupina odborníků. Použité váhové faktory byly převzaty z metody thinkstep LCIA Survey 2012 pro odhad globálních váhových faktorů pro metodu ReCiPe, verze 1.08 (H), která zahrnuje biogenní uhlík (thinkstep LCIA Survey 2012, Global, ReCiPe 1.08 (H) incl. biogenic carbon (person equiv. weighted)).

Tabulka 3.3: Popis environmentálních indikátorů

Kategorie dopadu	Indikátor	Jednotka	Popis indikátoru
Klimatická změna, vč. biogenního uhlíku	GWP	kg CO ₂ ekv.	Pro emise posuzovaného systému vyjadřuje potenciální dopad na absorpci tepelného záření ve srovnání s CO ₂ .
Spotřeba fosilních surovin	FDP	kg ropy ekv.	Vyjadřuje spotřebu fosilních surovin vzhledem k jejich energetickému obsahu (výhřevnosti) ve srovnání s kilogramem ropného ekvivalentu.
Spotřeba kovů	MDP	kg Fe ekv.	Vyjadřuje úbytek kovů způsobený spotřebou surovin ve srovnání s úbytkem železa (Fe). Většina ložisek pro těžbu kovů obsahuje spolu s hlavní surovinou ještě další vedlejší suroviny, které jsou touto těžbou často znehodnoceny. Proto se spotřeba kovů posuzuje společně s jejich ložiskem jako ekvivalent železa v kg (Fe).
Půdní acidifikace	TAP	kg SO ₂ ekv.	Vyjadřuje dopad na okyselování půd způsobený schopností emisí uvolňovat vodíkové kationy (proton H ⁺), který je nositelem kyselých účinků. Kyselinotvorné látky působí nepříznivě na biologické tkáně rostlin, živočichů a bakterií. Referenční látkou je SO ₂ .
Sladkovodní eutrofizace	FEP	kg P ekv.	Vyjadřuje dopad nadměrného obohacování sladkovodních vod nutrienty obsahujícími biodostupný fosfor a dusík. Důsledkem je zarůstání povrchových vod sinicemi, řasy, nedostatkem kyslíku ve vodách, změnou druhového složení ekosystémů, apod. Referenční látkou je fosfor.
Úbytek ozonu	ODP	kg CFC-11 ekv.	Vyjadřuje potenciální dopad na rozklad stratosférického ozonu ve srovnání s trichlorfluor-methanem (CFC-11).
Tvorba prachových částic	PMFP	kg PM ₁₀ ekv.	Vyjadřuje dopad způsobený emisemi do ovzduší ve srovnání s částicemi s průměrem menším než 10 μm (PM ₁₀).
Tvorba fotooxidantů	POFP	kg NMVOC ekv.	Vyjadřuje dopad na nárůst koncentrace ozónu v troposféře. Jeho vyšší koncentrace působí toxicky na živé organismy a podílejí se také oxidačními reakcemi na narušování materiálů. Potenciální dopad tvorby troposférického ozónu je vyjádřen ve srovnání s nemethanovými těkavými organickými látkami.

Kapitola 4

První případová studie

První případová studie demonstruje možnosti optimalizace železobetonového skeletu na budově malého rozsahu. Hlavním cílem bylo ověřit efektivnost navrženého způsobu optimalizace a získat první použitelné výsledky. Tato studie, avšak s jinými vstupními daty a ověřením pouze MSÚ, byla již publikována dříve [68].

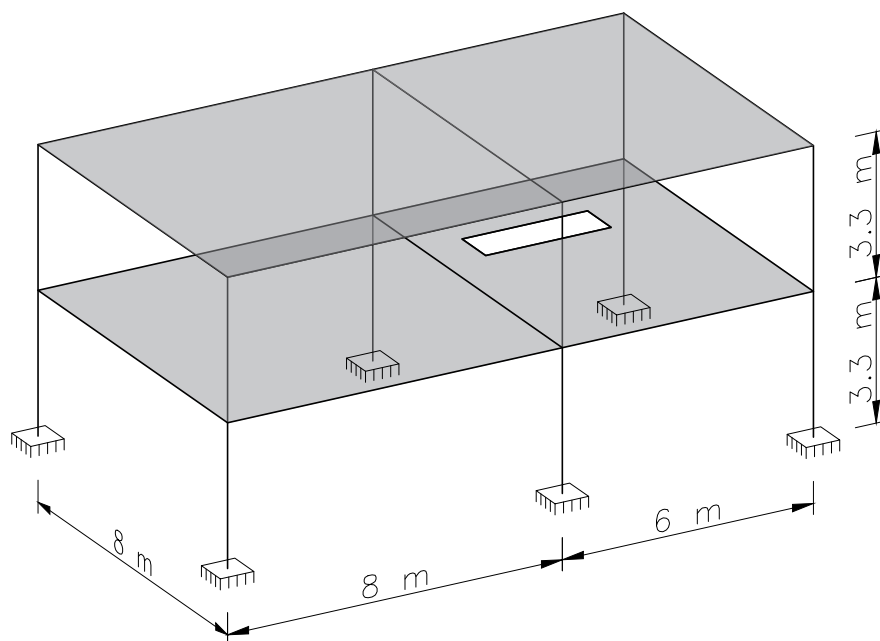
4.1 Charakteristika konstrukce

Pro účely optimalizace byla vybrána reálná konstrukce řešená v rámci projektu OSEEB (Optimalizovaný subtilní skelet pro energeticky efektivní výstavbu budov) [69]. Jedná se o experimentální konstrukci, která byla postavena v roce 2016 v areálu Univerzitního centra energeticky efektivních budov v Buštěhradu (obrázek 4.1).



Obrázek 4.1: Výstavba nosné konstrukce

Tato konstrukce se vyznačuje dvěma nadzemními podlažími a dvěma lokálně podporovanými stropními poli - viz obrázek 4.2. Konstrukce má rozměry 8×14 m v půdoryse a 6,6 m na výšku, v prvním patře je pak vynechán otvor 1×3 m pro umístění schodiště. Základovou konstrukci tvoří základové patky, jejichž rozměry byly odvislé od velikosti zatížení v základové spáře.



Obrázek 4.2: Konstrukční schema optimalizované budovy

4.2 Výsledky a diskuze

Výsledky studie jsou rozděleny do tří částí - optimální rozměry nosných prvků, finanční náklady a environmentální dopady. Prezentovány jsou jen optimální řešení, kompletní výsledky této studie jsou k dispozici v příloze C.

4.2.1 Optimální rozměry nosných prvků

Optimální rozměry nosných prvků jsou shrnuty v tabulce 4.1. Pro každou pevnostní třídu betonu jsou zde uvedeny takové rozměry nosných prvků, pro které jsou finanční náklady a environmentální dopady nejnižší. Při pohledu na kompletní výsledky v příloze C je zřejmé, že obě tyto hlediska spolu velmi dobře korelují. Jednoduše řečeno, nejnižší finanční náklady znamenají také nejnižší environmentální dopady konstrukce. Tento fakt je způsoben zejména objemem použitého betonu, který z velké míry rozhoduje jak o ceně, tak o environmentálních dopadech. Zvětšením dimenzí sloupů či desek dojde sice k částečnému poklesu hmotnosti výztuže, ale tento pokles není natolik výrazný, aby pokryl zvýšený objem použitého betonu. Obecně lze proto říci, že minimální rozměry nosných prvků jsou často i optimálními rozměry.

Tabulka 4.1: Optimální rozměry nosných prvků a potřeba betonu a výztuže

Třída betonu	Rozměry nosných prvků [m]			Objem betonu [m ³]		Hmotnost výztuže [t]	
	Základová patka	Průřez sloupu	Stropní deska	Sloupy	Stropní desky	Sloupy	Stropní desky
C30/37	2,1 × 2,1	0,25 × 0,25	0,31	2,24	68,51	0,50	3,06
C35/45	2,0 × 2,0	0,25 × 0,25	0,28	2,27	61,88	0,55	3,12
C40/50	1,9 × 1,9	0,25 × 0,25	0,26	2,28	57,46	0,56	3,18
C45/55	1,9 × 1,9	0,3 × 0,3	0,22	3,33	48,62	0,59	3,37
C50/60	1,9 × 1,9	0,3 × 0,3	0,20	3,35	44,20	0,60	3,57
C60/75	1,8 × 1,8	0,3 × 0,3	0,19	3,36	41,99	0,60	3,62
C70/85	1,8 × 1,8	0,3 × 0,3	0,18	3,37	39,78	0,60	3,75
C80/95	1,8 × 1,8	0,3 × 0,3	0,18	3,37	39,78	0,58	3,70

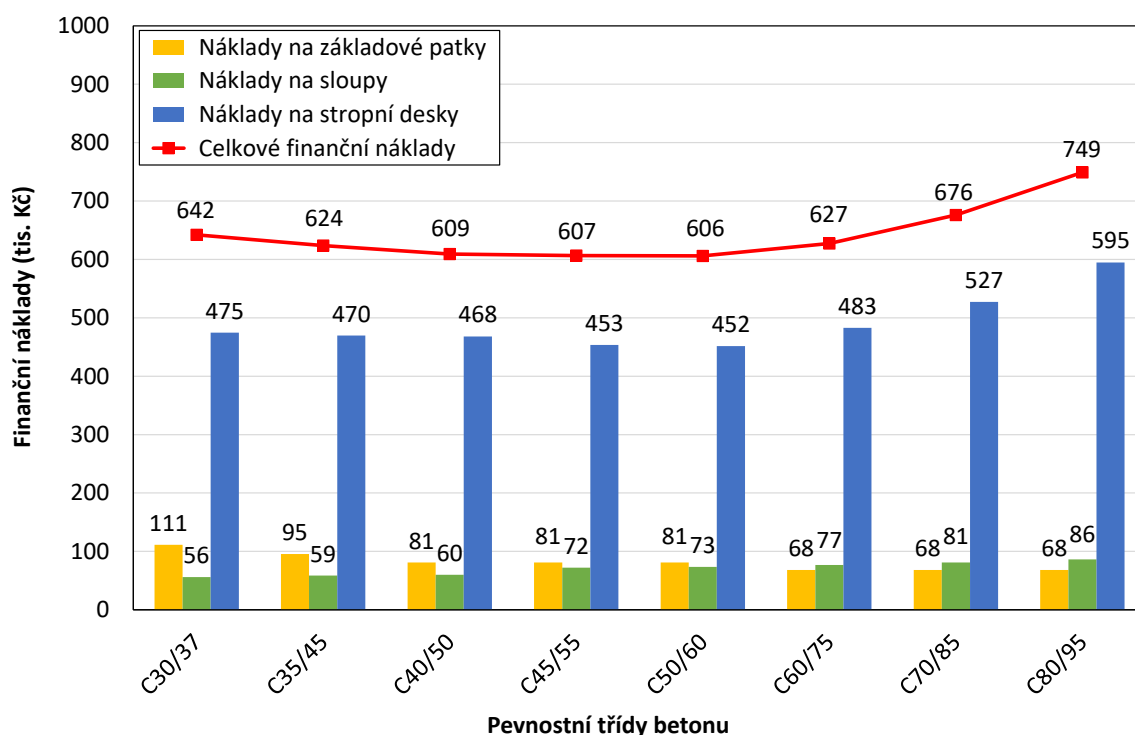
Optimální rozměry nosných prvků (a tomu odpovídající množství betonu a výztuže) jsou závislé na pevnostní třídě betonu. Tloušťka stropní desky i velikost základových patek se podle očekávání zmenšují s rostoucí pevností betonu. Průřez sloupu naopak zůstává konstantní a pro pevnostní třídy C30/37, C35/45 a C40/50 je dokonce menší. To je způsobeno tím, že pro tyto třídy betonu je tloušťka stropní desky větší. V důsledku toho dojde k menším deformacím stropních desek, což se projeví i částečným zmenšením ohybových momentů ve sloupech.

Objem použitého betonu klesá úměrně s tím, jak se zmenšuje tloušťka stropních desek. Právě stropní desky jsou totiž dominantními prvky z celé nosné konstrukce a v porovnání se sloupy je jejich objem i 30-násobný. V případě hmotnosti výztuže, je situace zcela opačná. Zmenšení dimenzí nosných prvků má za následek současně zmenšení ramene vnitřních sil, což musí být kompenzováno většími silami v tlačené a tažené oblasti průřezu. Zatímco v tlačené oblasti může být toto zvýšení pokryto vyšší pevností betonu, v tahové oblasti je jedinou možností přidání tahové výztuže. Kvůli tomu je pak nevyhnutelný nárůst hmotnosti výztuže, což se ve výsledcích výrazně projevilo.

4.2.2 Posouzení finančních nákladů

Finanční náklady na výstavbu nosné konstrukce jsou přehledně zobrazeny v grafu na obrázku 4.3 (kompletní rozpis dle kalkulovaných položek je uveden v příloze v tabulce C.1). Jak je vidět z grafu, stropní desky tvoří zhruba čtvrtinu (74 - 79 %) z celkových finančních nákladů a jsou tedy dominantním prvkem z celé nosné konstrukce. Jejich vhodnou optimalizací je proto možné ušetřit nejvíce finančních prostředků. Sloupy a základové patky tvoří zbylou část z celkových nákladů a jejich výše je zhruba srovnatelná (mění se pouze jejich vzájemný poměr). Pokud jde o celkové finanční náklady, je možné pozorovat nejprve jejich pozvolný pokles až k pevnostní třídě C50/60 a poté naopak poměrně strmý růst. Beton pevnostní třídy C50/60 je tedy z hlediska minimalizace finančních nákladů optimální volbou pro tuto případovou studii. Dobrou alternativou mohou být ale i betony s nižší pevností a sice C45/55 nebo C40/50. Naopak jako nevýhodné se ukázaly být vysokopevnostní be-

tony (C60/75, C70/85 a C80/95), jejichž vysoká pořizovací cena (viz tabulka A.1) se negativně promítla do celkové ceny konstrukce.



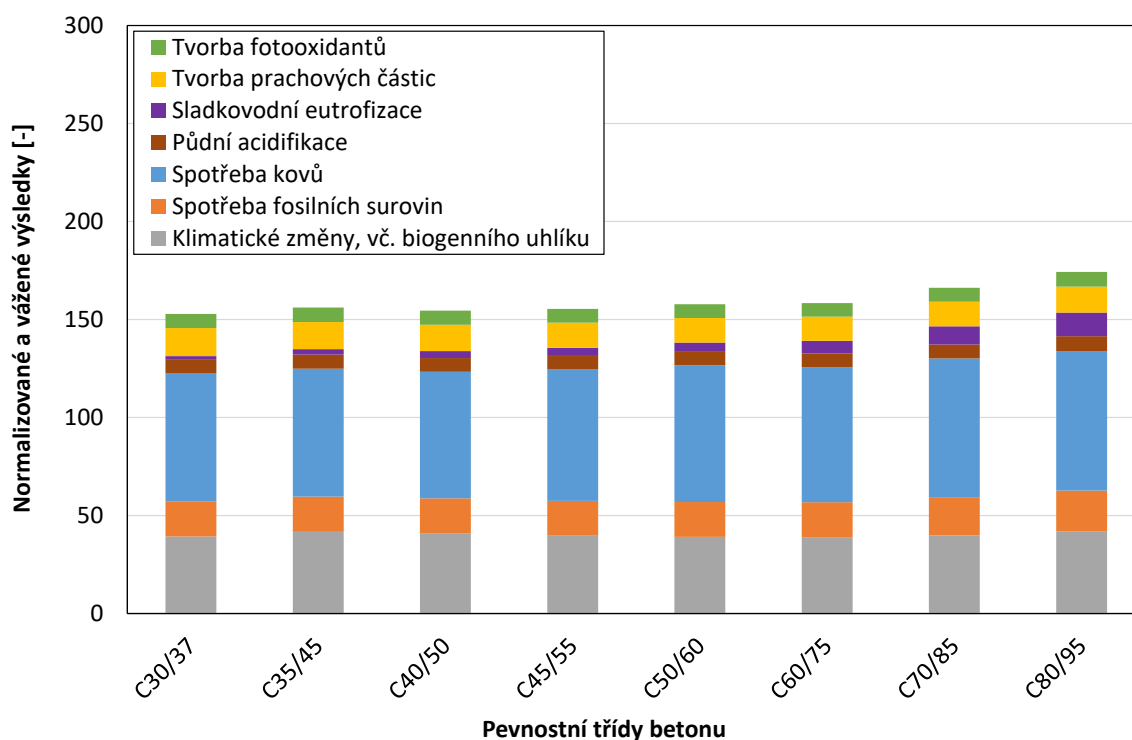
Obrázek 4.3: Porovnání finančních nákladů

4.2.3 Posouzení environmentálních dopadů

Výsledky environmentálních dopadů nosné konstrukce jsou pro jednotlivé indikátory zobrazeny v tabulce 4.2 a pro lepší přehled i v grafu na obrázku 4.4. Výsledky zde byly normalizovány a váženy podle postupu uvedeného v podkapitole 3.5. Kategorie

Tabulka 4.2: Environmentální dopady pro jednotlivé kategorie

Třída betonu	GWP	FDP	MDP	TAP	FEP	ODP	PMFP	POFP
	kg CO ₂ ekv.	kg ropy ekv.	kg Fe ekv.	kg SO ₂ ekv.	kg P ekv.	kg CFC-11 ekv.	kg PM ₁₀ ekv.	kg NMVOC ekv.
C30/37	29 149	2 482	3 121	28,7	0,1	5.86×10^{-6}	21,7	37,8
C35/45	30 883	2 492	3 122	29,5	0,1	10.5×10^{-6}	20,9	38,8
C40/50	30 351	2 470	3 088	29,0	0,1	14.3×10^{-6}	20,3	37,9
C45/55	29 449	2 453	3 210	28,4	0,1	17.2×10^{-6}	19,5	36,9
C50/60	29 000	2 467	3 336	28,3	0,1	20.1×10^{-6}	19,1	36,5
C60/75	28 652	2 510	3 300	28,2	0,2	29.7×10^{-6}	18,7	36,1
C70/85	29 458	2 674	3 401	29,3	0,3	43.0×10^{-6}	19,1	37,2
C80/95	31 126	2 877	3 405	31,0	0,4	57.3×10^{-6}	20,0	39,2



Obrázek 4.4: Porovnání environmentálních dopadů

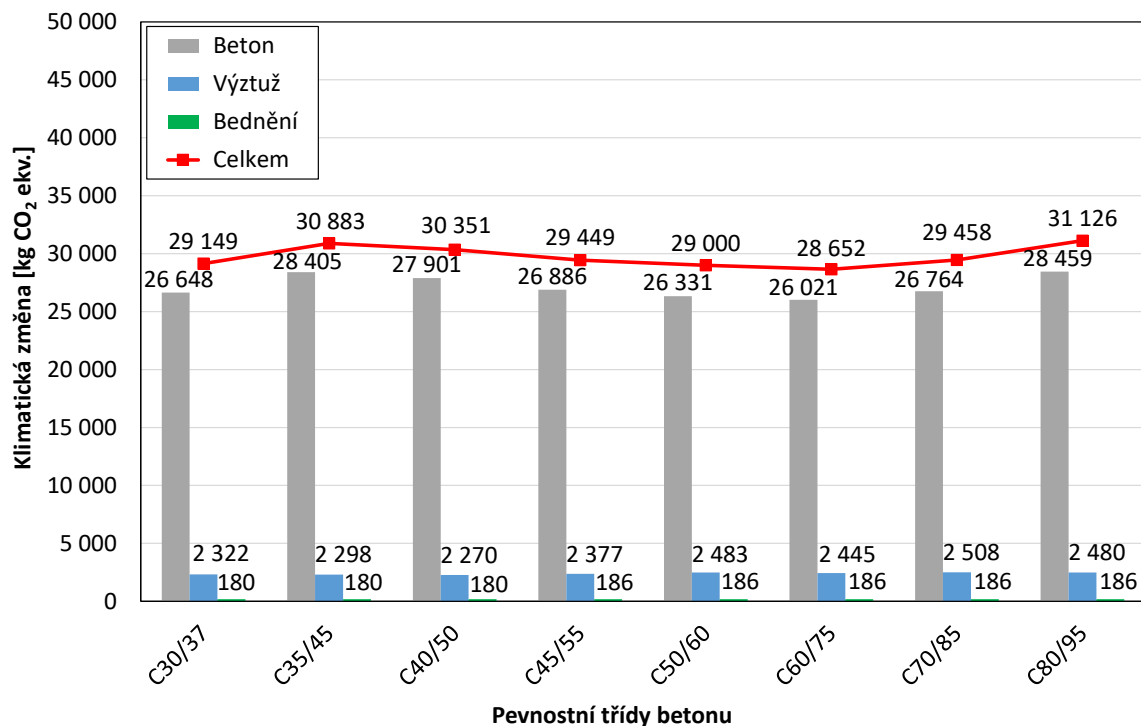
Úbytek ozónu nebyla do grafu zahrnuta, neboť tyto výsledky byly téměř zanedbatelné.

Na první pohled je zřejmé, že environmentální dopady jsou pro jednotlivé pevnostní třídy betonu takřka vyrovnané. Pouze u pevnostních tříd betonu C70/85 a C80/95 je znát mírný nárůst, který však ve srovnání s finančními náklady není zdaleka tak dramatický. Naopak pevnostní třída C60/75 je z hlediska dopadů poměrně výhodná, o čemž svědčí i nejnižší dosažené hodnoty ve čtyřech různých kategoriích. Ostatní pevnostní třídy jsou v celkovém součtu velmi vyrovnané a nemá příliš smysl hledat mezi nimi rozdíly v jednotlivých kategoriích dopadů. Jedinou výjimku tvoří kategorie *Sladkovodní eutrofizace* a *Úbytek ozónu*, na kterých je vidět nárůst jejich dopadů se vzrůstající pevností betonu. Důvodem jsou především plastifikační přísady, které mají v těchto kategoriích největší vliv (viz tabulka A.2 v příloze A).

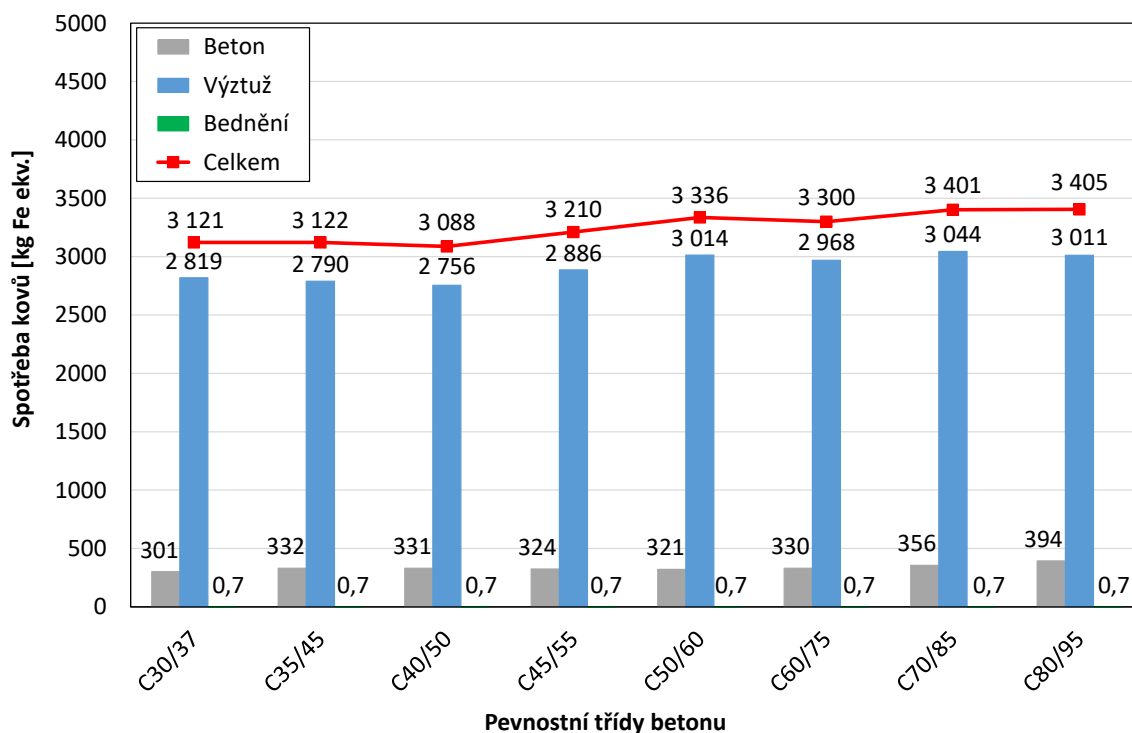
Pro úplnost je uvedeno také samostatně srovnání výsledků ve dvou vybraných kategoriích dopadu – *Klimatická změna* v grafu na obrázku 4.5 a *Spotřeba kovů* v grafu na obrázku 4.6. Obě tyto kategorie jsou ovlivněny především použitým betonem a výztuží, ale jak je na první pohled vidět, pro každou kategorii v jiném rozsahu. Kategorie *Klimatická změna* je více jak z 90 % ovlivněna spotřebou betonu, ve kterém hraje klíčovou roli cement. Naopak v kategorii *Spotřeba kovů* je dominantní ocelová výztuž s malým příspěvkem cementu. Vliv bednění je pro obě kategorie zanedbatelný.

Z výsledků environmentálních dopadů této případové studie plyne, že nosná konstrukce postavená z obyčejných betonů má přibližně srovnatelné environmentální dopady. Avšak z hlediska finančních nákladů je nejvýhodnější zvolit pevnostní třídu

betonu C50/60 nebo C45/55. V následující případové studii budou tyto závěry podrobně prozkoumány.



Obrázek 4.5: Porovnání výsledků v kategorii *Klimatická změna*



Obrázek 4.6: Porovnání výsledků v kategorii *Spotřeba kovů*

Kapitola 5

Druhá případová studie

V této případové studii je již optimalizace provedena na budově většího rozsahu. Cílem je rozšířit poznatky získané v první případové studii, zvláště pak ověřit závěr ohledně finanční výhodnosti pevnostní třídy betonu C50/60 nebo C45/55 pro stavbu nosné konstrukce. Zároveň je žádoucí provést širší srovnání ve více variantách budovy, které by mohlo poskytnout relevantnější poznatky. Výsledky této případové studie byly publikovány v časopise Sustainability [70].

5.1 Charakteristika konstrukce

Optimalizace nosné konstrukce byla provedena na jednoduché administrativní budově, která byla speciálně navržena pro účely optimalizace. Návrh byl zaměřen především na snadnou optimalizaci budovy a také na možnost rozčlenit budovu do několika variant, které by bylo možné mezi sebou vzájemně porovnat. Oproti reálné konstrukci má proto navržená budova určitá zjednodušení, která však nijak významně nesnižují kvalitu budovy. Jedná se zejména o tyto aspekty:

- Obdélníkový půdorys s rozměry 42×26 m
- Pravidelný rastr sloupů
- Shodný průřez sloupů v rozsahu celého podlaží (nikoliv však v celé budově)
- Shodná tloušťka stropních desek v rozsahu všech podlaží
- Shodný půdorys ve všech podlažích
- Shodná konstrukční výška 3,3 m ve všech podlažích
- Pouze 1 chráněná úniková cesta
- Absence podzemních podlaží

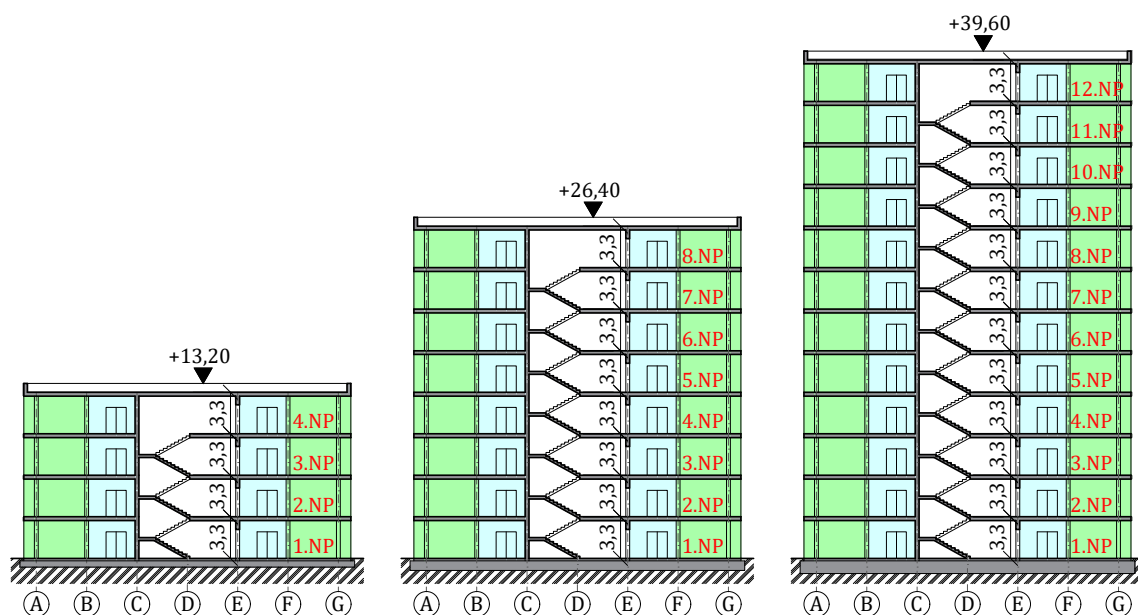
Je zřejmé, že z architektonického hlediska se jedná o velmi jednoduchý koncept budovy, který by v praxi pravděpodobně nesplnil očekávání investora ani tvůrčí představy architekta. Z funkčního hlediska však budova splňuje většinu nároků na

daný provoz. Právě díky těmto zjednodušením je uvedený koncept vhodný pro realizaci podrobné optimalizační studie, neboť budova mohla být snadno řešena v těchto variantách:

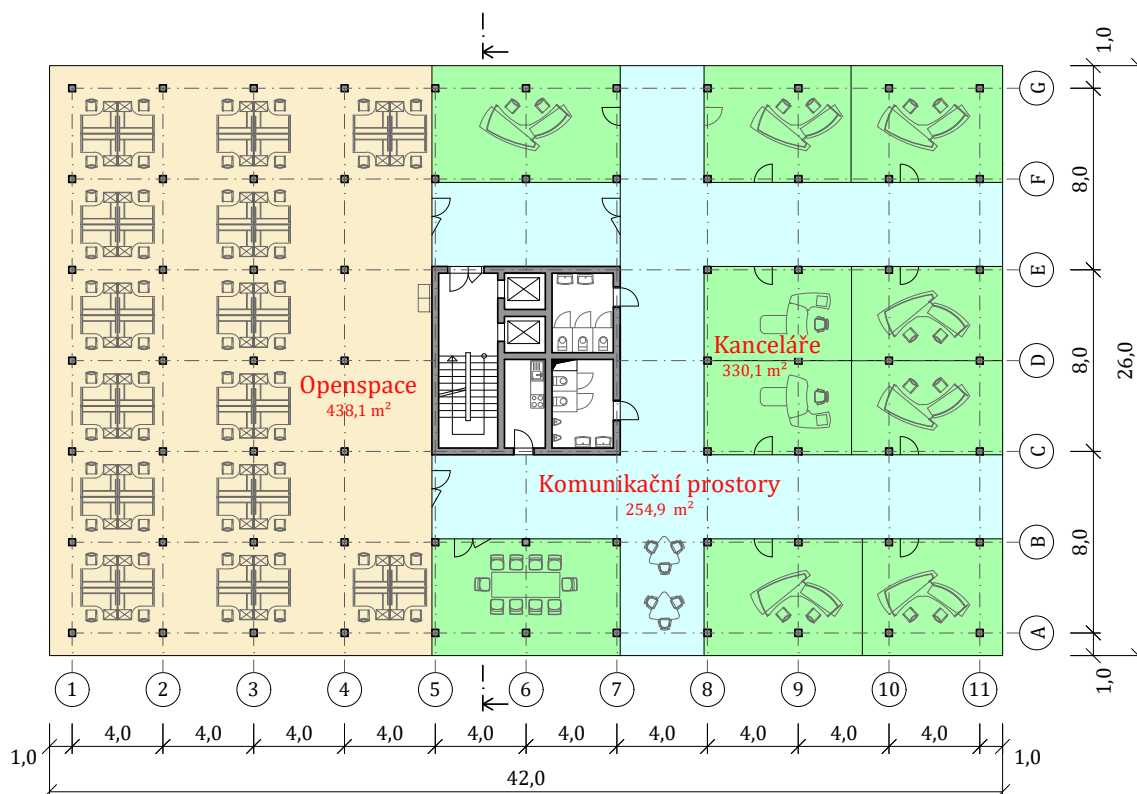
- **3 výškové varianty**, resp. 3 varianty dle počtu podlaží — 4, 8 a 12 podlaží (obrázek 5.1)
- **2 varianty rozpětí stropních polí** – osová vzdálenost sloupů 4 a 8 m (obrázek 5.2 a 5.3)

Celkem bylo tedy vyhotoveno 6 variant budovy, které byly samostatně optimalizovány a jejichž výsledky je možné mezi sebou navzájem porovnat. Stropní desky byly navrženy jako lokálně podepřené bez viditelných hlavic. Ztužující jádro budovy mělo ve všech variantách tloušťku stěn 200 mm a optimalizováno bylo pouze z hlediska objemu výztuže. Budova byla založena na základové desce, ve variantě s osovou vzdáleností sloupů 8 m navíc doplněna kvůli úspoře materiálu o ražené piloty.

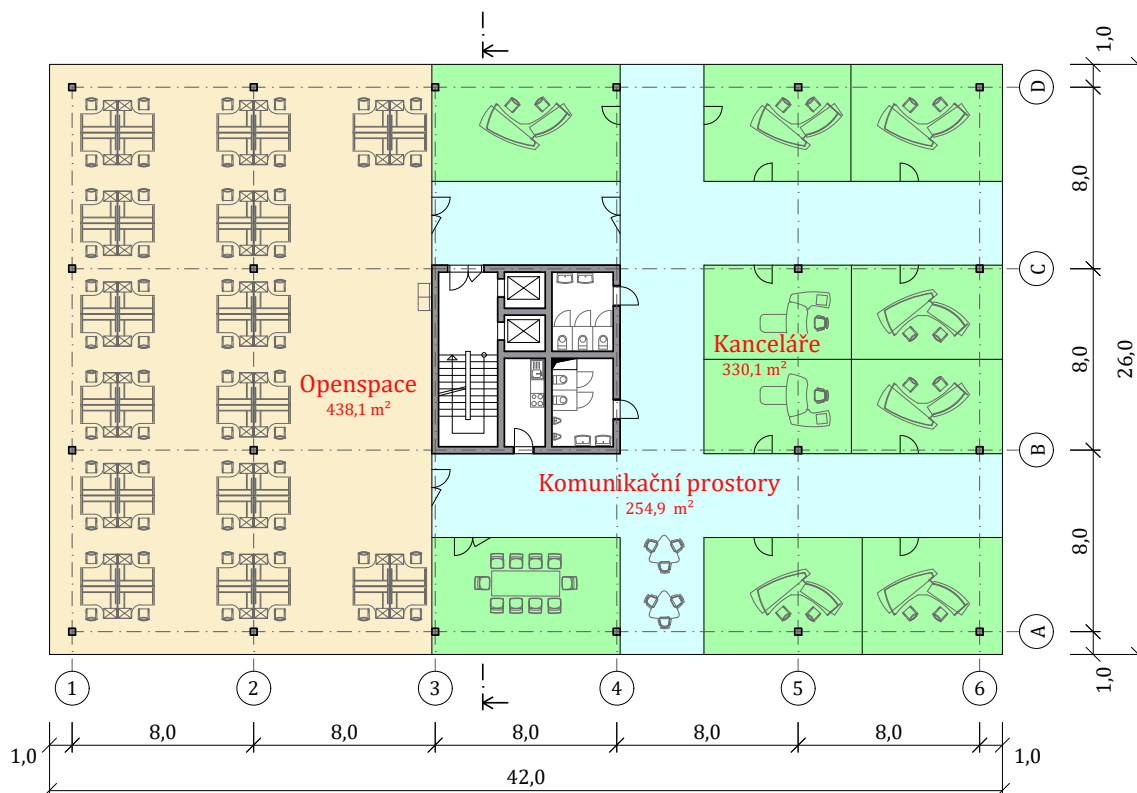
Dispoziční řešení podlaží není z hlediska výsledků optimalizace nijak důležité a je ukázáno pouze pro ilustraci možného uspořádání. Jednotlivé prostory jako kanceláře, openspace, komunikační prostory, kuchyňka i sociální zařízení jsou rozmístěny stejně v obou variantách rozpětí stropních polí (viz obrázek 5.2 a 5.3). Ztužující jádro je situováno uprostřed budovy a kromě dvouramenného schodiště a dvou výtahů obsahuje také kuchyňku a sociální zařízení. Uvnitř jádra je umístěn také vstup stropní deskou pro vedení instalací.



Obrázek 5.1: Výškové varianty budovy



Obrázek 5.2: Varianta s osovou vzdáleností sloupů 4 m



Obrázek 5.3: Varianta s osovou vzdáleností sloupů 8 m

5.2 Výsledky a diskuze

Výsledky studie jsou, stejně jako v první případové studii, rozděleny do tří částí. V první části jsou vypsány optimální rozměry nosných prvků včetně celkového množství potřebného betonu a výztuže, druhá část se zabývá finančními náklady a třetí část hodnotí environmentální dopady konstrukce. Pro každou variantu jsou uvedeny pouze optimální řešení, kompletní výsledky studie jsou k dispozici v příloze D.

5.2.1 Optimální rozměry nosných prvků

Výsledná optimální řešení jsou shromážděna v šesti tabulkách podle jednotlivých variant. Pro každou pevnostní třídu betonu jsou uvedeny vždy vypočtené optimální rozměry nosných prvků a množství spotřebovaného betonu a výztuže. Výsledky ztužujících stěn jádra nejsou uvedeny, neboť nebyly optimalizovány. Ve všech variantách bylo počítáno s konstantní tloušťkou stěny 200 mm a pro tuto tloušťku stěny byla pouze vypočtena minimální nutná výztuž. Základová konstrukce byla navržena dle předběžného návrhu (viz podkapitola 3.3).

Budova se čtyřmi podlažími a osovou vzdáleností sloupů 4 m (tabulka 5.1) je ze statického hlediska tou nejméně náročnou variantou. Z výsledků je vidět, že ve všech případech kromě třídy betonu C20/25 postačuje průřez sloupu o rozměrech $0,2 \times 0,2$ m a u betonů vyšších pevnostních tříd bude vyztužení pouze minimální. Stejně tak tloušťka stropních desek je poměrně malá, od třídy betonu C40/50 prakticky minimální možná z konstrukčního hlediska. Lze proto s jistotou říci, že tuto variantu budovy má smysl projektovat pouze z betonů nižších pevnostních tříd, např. C25/30. Beton vyšších pevnostních tříd nebude u takového typu konstrukce plně využit. V každém případě, nosná konstrukce této budovy bude velice subtilní.

Tabulka 5.1: Varianta se 4 podlažími a osovou vzdáleností sloupů 4 m

Třída betonu	Rozměry nosných prvků [m]			Objem betonu [m ³]		Hmotnost výztuže [t]	
	Základová deska	Průřez sloupu	Stropní deska	Sloupy	Stropní desky	Sloupy	Stropní desky
C20/25	0,35	0,25 × 0,25	0,16	43,8	688,8	6,0	20,2
C25/30	0,35	0,2 × 0,2	0,15	34,3	645,8	6,2	21,0
C30/37	0,35	0,2 × 0,2	0,14	34,4	602,7	5,7	21,6
C35/45	0,35	0,2 × 0,2	0,13	34,5	559,7	5,4	23,1
C40/50	0,35	0,2 × 0,2	0,12	34,6	516,6	5,4	24,4
C45/55	0,35	0,2 × 0,2	0,12	34,6	516,6	5,4	23,9
C50/60	0,35	0,2 × 0,2	0,12	34,6	516,6	5,3	22,9
C60/75	0,35	0,2 × 0,2	0,12	34,6	516,6	5,3	21,6
C70/85	0,35	0,2 × 0,2	0,12	34,6	516,6	5,3	20,8
C80/95	0,35	0,2 × 0,2	0,12	34,6	516,6	5,3	20,8

Budova se 4 podlažími a osovou vzdáleností sloupů 8 m (tabulka 5.2) je oproti předchozí variantě v řadě věcí odlišná. Za prvé, betony pevnostních tříd C20/25 a C25/30 nelze použít, neboť kvůli omezení průhybu (II. mezní stav) by tloušťka

Tabulka 5.2: Varianta se 4 podlažími a osovou vzdáleností sloupů 8 m

Třída betonu	Rozměry nosných prvků [m]			Objem betonu [m ³]		Hmotnost výztuže [t]	
	Základová deska	Průřez sloupu	Stropní deska	Sloupy	Stropní desky	Sloupy	Stropní desky
C30/37	0,6	0,4 × 0,4	0,31	33,8	1 334,6	3,8	39,6
C35/45	0,6	0,4 × 0,4	0,28	34,1	1 205,5	3,1	40,5
C40/50	0,55	0,35 × 0,35	0,25	25,9	1 076,3	3,2	42,8
C45/55	0,55	0,35 × 0,35	0,22	26,2	947,2	3,0	44,7
C50/60	0,5	0,35 × 0,35	0,2	26,4	861,1	2,9	47,0
C60/75	0,45	0,3 × 0,3	0,19	19,0	818,0	3,0	49,2
C70/85	0,45	0,3 × 0,3	0,18	19,0	774,9	2,9	50,4
C80/95	0,45	0,3 × 0,3	0,18	19,0	774,9	2,8	49,7

stropní desky musela být příliš velká. Za druhé, rozměry sloupů i stropních desek jsou výrazně větší než u předchozí varianty, což je jistě logický závěr způsobený zvětšeným rozpětím stropních polí. V některých případech je ale toto zvětšení více než dvojnásobné, jak je vidět na tloušťce stropní desky pro betony nižších pevnostních tříd. To vede k masivnímu nárůstu objemu spotřebovaného betonu i výztuže. V případě desek, které tvoří naprostou většinu hmoty nosné konstrukce, je tento nárůst naprosto zásadní. Podobně i základová deska, navíc doplněná také piloty pod sloupy, má výrazně větší tloušťku. Pouze vlivem zmenšení celkového počtu sloupů došlo k úspoře objemu betonu a výztuže. Ve srovnání se stropními deskami a základovou konstrukcí jde však o naprosto zanedbatelné hodnoty.

Výsledky budovy s 8 podlažími (tabulka 5.3 a 5.4) jsou pro obě varianty osovou vzdáleností sloupů analogické s předchozími dvěma variantami. V případě stropních desek je objem betonu v podstatě dvojnásobný, hmotnost výztuže více než dvojnásob-

Tabulka 5.3: Varianta s 8 podlažími a osovou vzdáleností sloupů 4 m

Třída betonu	Rozměry nosných prvků [m]			Objem betonu [m ³]		Hmotnost výztuže [t]	
	Základová deska	Průřez sloupu	Stropní deska	Sloupy	Stropní desky	Sloupy	Stropní desky
C20/25	0,5	0,35 × 0,35	0,16	134,5	1 374,3	13,7	43,4
C25/30	0,5	0,3 × 0,3	0,15	99,6	1 288,4	14,3	46,4
C30/37	0,5	0,3 × 0,3	0,14	99,9	1 202,5	12,1	47,5
C35/45	0,5	0,3 × 0,3	0,13	100,2	1 116,7	11,6	50,3
C40/50	0,5	0,25 × 0,25	0,12	78,9	1 030,8	12,0	54,0
C45/55	0,5	0,25 × 0,25	0,12	78,9	1 030,8	11,3	53,2
C50/60	0,5	0,25 × 0,25	0,12	78,9	1 030,8	11,0	51,3
C60/75	0,5	0,2 × 0,2	0,12	69,2	1 030,8	11,4	50,0
C70/85	0,5	0,2 × 0,2	0,12	69,2	1 030,8	10,7	46,7
C80/95	0,5	0,2 × 0,2	0,12	69,2	1 030,8	10,6	46,3

Tabulka 5.4: Varianta s 8 podlažími a osovou vzdáleností sloupů 8 m

Třída betonu	Rozměry nosných prvků [m]			Objem betonu [m ³]		Hmotnost výztuže [t]	
	Základová deska	Průřez sloupu	Stropní deska	Sloupy	Stropní desky	Sloupy	Stropní desky
C30/37	0,75	0,55 × 0,55	0,31	109,4	2 662,8	11,0	81,9
C35/45	0,7	0,55 × 0,55	0,28	110,5	2 405,1	8,2	83,7
C40/50	0,7	0,5 × 0,5	0,25	89,7	2 147,4	7,8	87,8
C45/55	0,65	0,5 × 0,5	0,22	90,6	1 889,7	6,5	92,0
C50/60	0,6	0,45 × 0,45	0,20	71,3	1 717,9	6,7	98,7
C60/75	0,6	0,45 × 0,45	0,19	71,5	1 632,0	5,8	100,5
C70/85	0,6	0,45 × 0,45	0,18	71,8	1 546,1	5,8	102,6
C80/95	0,6	0,45 × 0,45	0,18	71,8	1 546,1	5,8	101,2

sobná (vlivem výztuže na protlačení). Rozměry sloupu i tloušťka základové desky jsou kvůli dvojnásobnému počtu podlaží výrazně vyšší. Ve variantě s osovou vzdáleností sloupů 4 m je beton vyšších tříd využit hlavně na sloupy, nižší třídy betonu by bylo naopak vhodné použít pro stropní desky. Naproti tomu, ve variantě s osovou vzdáleností 8 m jsou všechny pevnostní třídy využity naplno.

Výsledky budovy s 12 podlažími (tabulka 5.5 a 5.6) se oproti předchozím variantám liší opět rozměry sloupů a základové desky. Stropní desky jsou plně využity pouze pro osovou vzdálenost 8 m, ve variantě s osovou vzdáleností 4 m není beton vyšších tříd plně využit. Sloupy jsou již dosti masivní a poukazují na nevhodnost použití nižších tříd betonu pro tento počet podlaží. Naopak zde dochází uplatnění betonů pevnostní třídy C40/50 a vyšších.

Tabulka 5.5: Varianta s 12 podlažími a osovou vzdáleností sloupů 4 m

Třída betonu	Rozměry nosných prvků [m]			Objem betonu [m ³]		Hmotnost výztuže [t]	
	Základová deska	Průřez sloupu	Stropní deska	Sloupy	Stropní desky	Sloupy	Stropní desky
C20/25	0,6	0,45 × 0,45	0,16	289,3	2 059,8	22,3	68,0
C25/30	0,6	0,4 × 0,4	0,15	220,6	1 931,1	22,1	72,1
C30/37	0,6	0,4 × 0,4	0,14	221,3	1 802,4	19,4	73,8
C35/45	0,6	0,4 × 0,4	0,13	222,0	1 673,6	18,9	77,0
C40/50	0,6	0,35 × 0,35	0,12	170,8	1 544,9	18,5	84,0
C45/55	0,6	0,35 × 0,35	0,12	170,8	1 544,9	18,0	83,5
C50/60	0,6	0,35 × 0,35	0,12	170,8	1 544,9	17,6	80,3
C60/75	0,6	0,3 × 0,3	0,12	135,2	1 544,9	17,4	81,7
C70/85	0,6	0,3 × 0,3	0,12	135,2	1 544,9	16,8	75,1
C80/95	0,6	0,3 × 0,3	0,12	135,2	1 544,9	16,8	73,2

Tabulka 5.6: Varianta s 12 podlažími a osovou vzdáleností sloupů 8 m

Třída betonu	Rozměry nosných prvků [m]			Objem betonu [m ³]		Hmotnost výztuže [t]	
	Základová deska	Průřez sloupu	Stropní deska	Sloupy	Stropní desky	Sloupy	Stropní desky
C30/37	0,8	0,75 × 0,75	0,31	285,5	3 990,9	17,3	134,4
C35/45	0,7	0,65 × 0,65	0,28	205,1	3 604,7	17,0	142,5
C40/50	0,65	0,6 × 0,6	0,25	170,5	3 218,5	15,7	150,0
C45/55	0,6	0,55 × 0,55	0,22	138,9	2 832,3	15,5	160,8
C50/60	0,55	0,55 × 0,55	0,20	139,8	2 574,8	12,6	168,9
C60/75	0,55	0,55 × 0,55	0,19	140,3	2 446,1	10,7	172,5
C70/85	0,5	0,55 × 0,55	0,18	140,7	2 317,3	10,6	176,7
C80/95	0,5	0,55 × 0,55	0,18	140,7	2 317,3	10,6	174,7

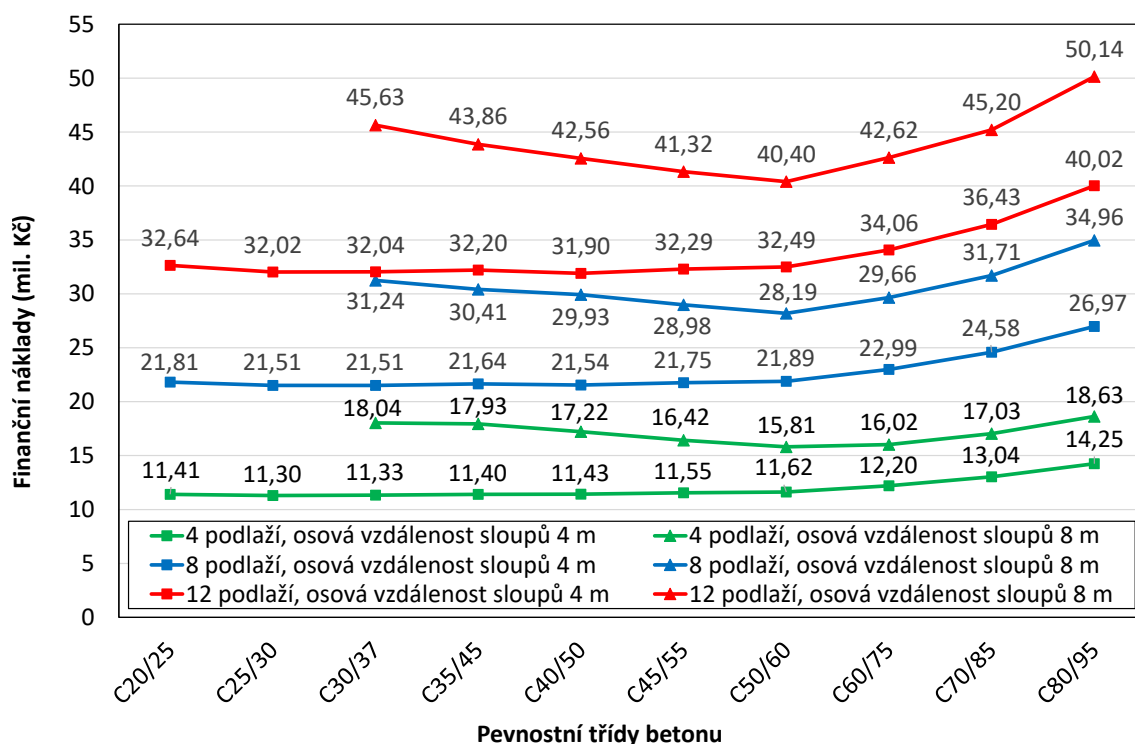
Obecně lze říci, že množství betonu a výztuže spotřebovaného na stropní desky je ve všech variantách dominantní. Naopak množství betonu a výztuže spotřebovaného na sloupy je v menšině. Objem betonu sloupů vůči objemu betonu stropních desek tvoří u všech variant pouze 2,5 – 14 %. V případě hmotnosti výztuže je to 6,1 – 32,8 %, tedy méně než třetina. Z toho plyne, že optimalizace stropních desek má mnohem větší význam než optimalizace sloupů. Například vylehčení stropních desek pomocí vložek má potenciál snížit objem použitého betonu a uspořit tak nejenom finanční prostředky ale i snížit environmentální dopad [71, 72, 73].

5.2.2 Posouzení finančních nákladů

Posouzení finančních nákladů jednotlivých variant budovy bylo provedeno položkovým rozpočtem (viz podkapitola 3.4). Výsledky jsou shrnuty v tabulce 5.7 a pro větší přehlednost také v grafu na obrázku 5.4. Uvedené ceny odpovídají finančním nákladům nutným na pořízení nosné konstrukce bez DPH.

Tabulka 5.7: Celková cena budovy v mil. Kč

Třída betonu	Osová vzdálenost sloupů 4 m			Osová vzdálenost sloupů 8 m		
	4 podlaží	8 podlaží	12 podlaží	4 podlaží	8 podlaží	12 podlaží
C20/25	11,41	21,81	32,64	-	-	-
C25/30	11,30	21,51	32,02	-	-	-
C30/37	11,33	21,51	32,04	18,04	31,24	45,63
C35/45	11,40	21,64	32,20	17,93	30,41	43,86
C40/50	11,43	21,54	31,90	17,22	29,93	42,56
C45/55	11,55	21,75	32,29	16,42	28,98	41,32
C50/60	11,62	21,89	32,49	15,81	28,19	40,40
C60/75	12,20	22,99	34,06	16,02	29,66	42,62
C70/85	13,04	24,58	36,43	17,03	31,71	45,20
C80/95	14,25	27,49	40,02	18,63	34,96	50,14

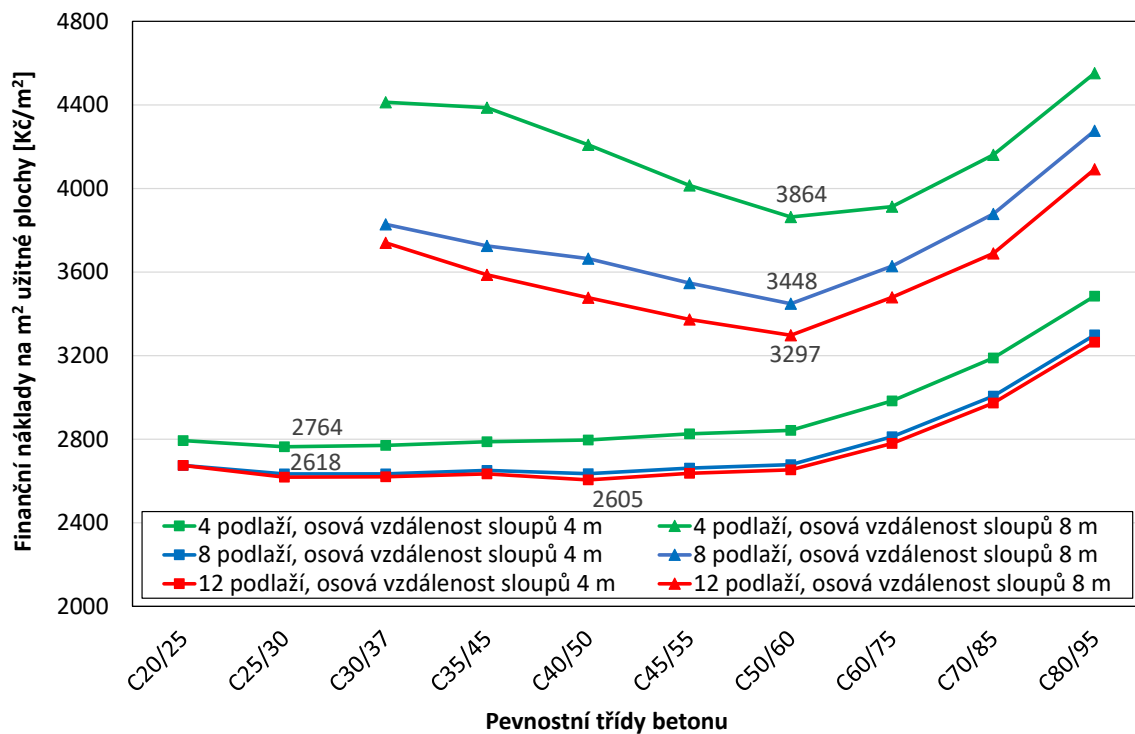


Obrázek 5.4: Finanční náklady podle jednotlivých variant nosné konstrukce

Z porovnání na obrázku 5.4 vyplývá, že finanční náročnost byla pro jednotlivé varianty značně rozdílná. Je zřejmé, že počet podlaží i osová vzdálenost sloupů významně ovlivňují výsledné finanční náklady nosné konstrukce. V rámci téže varianty nejsou rozdíly v cenách natolik velké, ale i přesto může správná volba pevnostní třídy betonu ušetřit nemalé finanční prostředky. Například pro variantu budovy s 12 podlažími a osovou vzdáleností sloupů 8 m je rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší cenou téměř 10 milionů Kč. Obecně je možné říci, že cena se více liší pro varianty s osovou vzdáleností sloupů 8 m, zatímco varianty s osovou vzdáleností sloupů 4 m jsou pro běžné betony takřka srovnatelné. To je dáno především rozdílným namáháním nosné konstrukce a v důsledku toho i rozdílným množstvím spotřebovaného materiálu.

Speciálním případem jsou vysokopevnostní betony (C60/75, C70/85 a C80/95), které jsou pro všech šest variant nosné konstrukce vždy tou nejdražší volbou. Úspora betonu díky jejich vysoké pevnosti se sice projevila zmenšením dimenzí nosných prvků, nicméně tato úspora není natolik významná, aby pokryla vysokou výrobní cenu tohoto materiálu (viz tabulka A.1). Navíc dochází k úspoře pouze betonu, nikoliv výztuže. Stejně jako v první případové studii, i zde se projevilo zmenšení ramene vnitřních sil mezi betonem a výztuží. Má-li být zachována únosnost, musí současně dojít ke zvýšení napětí v obou materiálech. Tlakové napětí je přeneseno vyšší pevností betonu, ale tahové napětí může být kompenzováno pouze zvýšeným množstvím výztuže. V tomto důsledku je nakonec množství výztuže naopak větší.

Zajímavé srovnání lze také získat vzhledem k užité ploše budovy. Zvýšení počtu podlaží sebou nese větší finanční náklady, ale současně také větší užitnou plochu. Na druhé straně zvětšení osově vzdálenosti sloupů na dvojnásobek nepřinese více užité



Obrázek 5.5: Finanční náklady podle jednotlivých variant nosné konstrukce na m² užité plochy

plochy, jistě se ale zvýší její hodnota díky lépe využitelnému prostoru. Jaké jsou však finanční náklady za m² užité plochy? Odpověď nabízí graf na obrázku 5.5, který zobrazuje finanční náklady přepočtené na m² užité plochy pro jednotlivé varianty (užitná plocha budovy je variabilní kvůli počtu sloupů a jejich průřezu). Jak lze sledovat, zvýšení počtu podlaží se příznivě projevilo na ceně za m². Této finanční úspory bylo dosaženo díky základové konstrukci, která tvoří významnou část z celkové ceny nosné konstrukce. Například pro beton C50/60 ve variantě s osovou vzdáleností sloupů 8 m tvořily náklady základové konstrukce 34,3 % pro 4-podlažní budovu, 24,3 % pro 8-podlažní budovu a 17,0 % pro 12-podlažní budovu. Čím měla tedy budova více podlaží, tím byla základová konstrukce na m² užité plochy levnější. Podobně, ale ještě výrazněji, by se projevila finanční úspora při započítání kupní ceny pozemku. Ta však nebyla kvůli její velké variabilitě zahrnuta.

5.2.3 Posouzení environmentálních dopadů

Výsledné environmentální dopady pro jednotlivé varianty nosné konstrukce jsou rozděleny do třech podkapitol podle počtu podlaží budovy. Každá podkapitola uvádí výsledky dopadů environmentálních indikátorů a za účelem porovnání jednotlivých pevnostních tříd betonu také graf součtu normalizovaných a vážených dopadů (normalizace a vážení výsledků bylo provedeno dle postupu uvedeného v podkapitole 3.5). Výsledky v kategorii *Úbytek ozónu* byly stejně jako v první studii ve všech variantách téměř zanedbatelné, a proto nebyl tento indikátor do grafů zahrnut.

Budova se 4 podlažími

Výsledky environmentálních dopadů u varianty budovy s osovou vzdáleností sloupů 4 m jsou uvedeny v tabulce 5.8. Ve většině hodnocených kategorií je patrné, že environmentální dopad roste s vyšší pevnostní třídou betonu. Nejnižšího dopadu je možné dosáhnout při použití betonu pevnostní třídy C20/25 a nejvyšší naopak při použití vysokopevnostních betonů. Za zmínku stojí pouze nižší dopad pevnostní třídy betonu C60/75 v kategorii *Spotřeba kovů*.

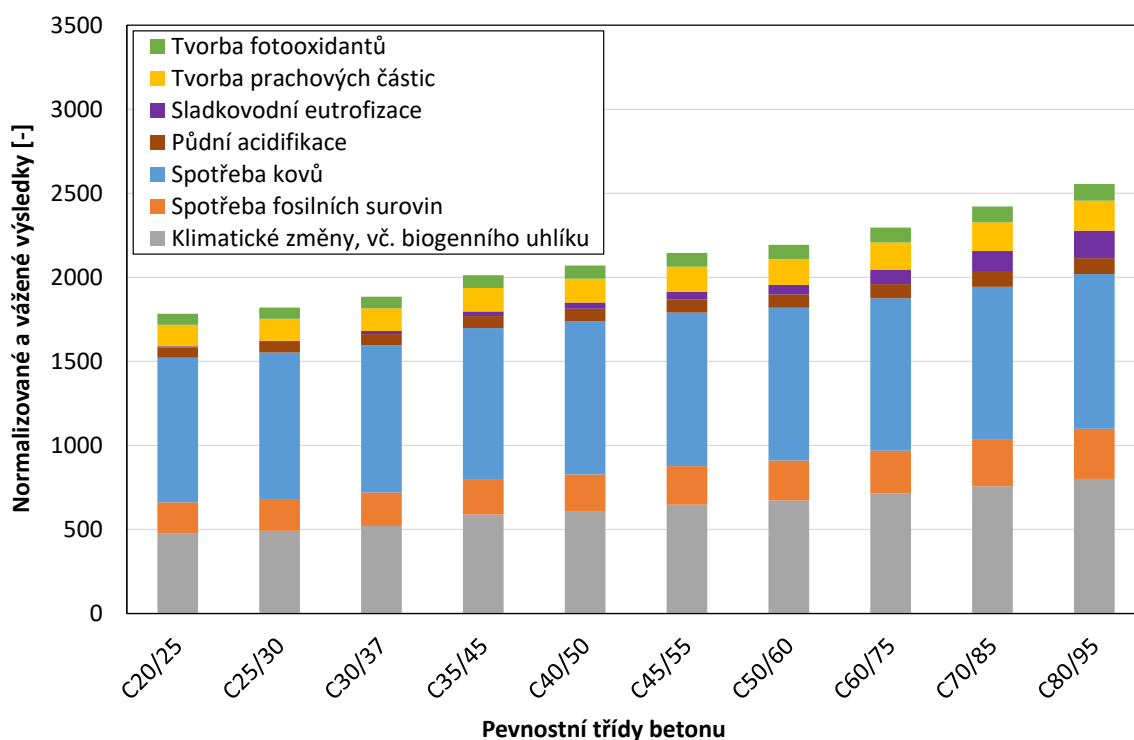
Tabulka 5.8: Varianta budovy se 4 podlažími a osovou vzdáleností sloupů 4 m

Třída betonu	GWP	FDP	MDP	TAP	FEP	ODP	PMFP	POFP
	kg CO ₂ ekv.	kg ropy ekv.	kg Fe ekv.	kg SO ₂ ekv.	kg P ekv.	kg CFC-11 ekv.	kg PM ₁₀ ekv.	kg NMVOC ekv.
C20/25	351 553	34 361	59 814	385,3	0,3	4.20×10^{-9}	273,8	488,4
C25/30	364 080	35 019	60 590	393,9	0,3	4.12×10^{-9}	278,1	499,8
C30/37	385 898	36 745	60 973	411,4	0,8	73.6×10^{-6}	288,3	522,2
C35/45	436 369	38 893	62 416	445,7	1,2	142×10^{-6}	298,2	568,2
C40/50	451 244	40 235	63 417	458,7	1,6	205×10^{-6}	304,1	583,8
C45/55	479 691	42 249	63 535	481,2	2,1	273×10^{-6}	319,1	614,0
C50/60	498 718	43 711	63 208	496,5	2,5	341×10^{-6}	329,2	634,3
C60/75	529 240	46 920	63 037	525,0	3,8	546×10^{-6}	346,0	669,3
C70/85	561 192	50 836	63 239	557,4	5,5	819×10^{-6}	363,9	707,6
C80/95	593 541	54 864	64 002	590,9	7,2	1.09×10^{-3}	381,6	747,0

Environmentální dopad v kategorii *Spotřeba kovů* je významně ovlivněn zejména množstvím použité výztuže, ale částečně také spotřebou cementu. Od pevnostní třídy betonu C40/50 až do C80/95 množství použité výztuže postupně klesalo, neboť tloušťka desky byla pro tyto třídy betonu konstantní a rovna minimální hodnotě 120 mm. Na druhé straně, vyšší pevnostní třída obsahuje větší množství cementu, jehož výroba také významně ovlivňuje dopad v této kategorii. Mezi těmito betony je tak nejnižšího dopadu dosaženo při použití betonu pevnostní třídy C60/75, neboť množství výztuže je druhé nejmenší, ale zároveň není použito tolik cementu jako u betonů vyšší pevnosti.

Významný environmentální dopad, bez ohledu na použitou pevnostní třídu betonu, působí v kategorii *Klimatická změna* proces výroby betonu. Z hlediska globálního oteplování má proto největší dopad pevnostní třída betonu C80/95 a dopad v této kategorii klesá s nižší pevnostní třídou použité betonové receptury. Proces výroby betonu se u pevnostní třídy C20/25 podílí na dopadu z 85 % a u pevnostní třídy C80/95 až z 91 %. Přičemž samotná výroba cementu tvoří více jak 96 % dopadu výroby betonové směsi C20/25, a to i se započítáním spotřeby energie na míchání, dopravu a ukládání betonu.

Normalizované výsledky pro 4-podlažní budovu s osovou vzdáleností sloupů 4 m zobrazuje graf na obrázku 5.6. Ze sumy normalizovaných indikátorů je patrné, že environmentální dopad postupně narůstá s vyšší pevnostní třídou betonu. Tento celkový environmentální dopad je z největší části tvořen dopadem v kategorii *Spotřeba*



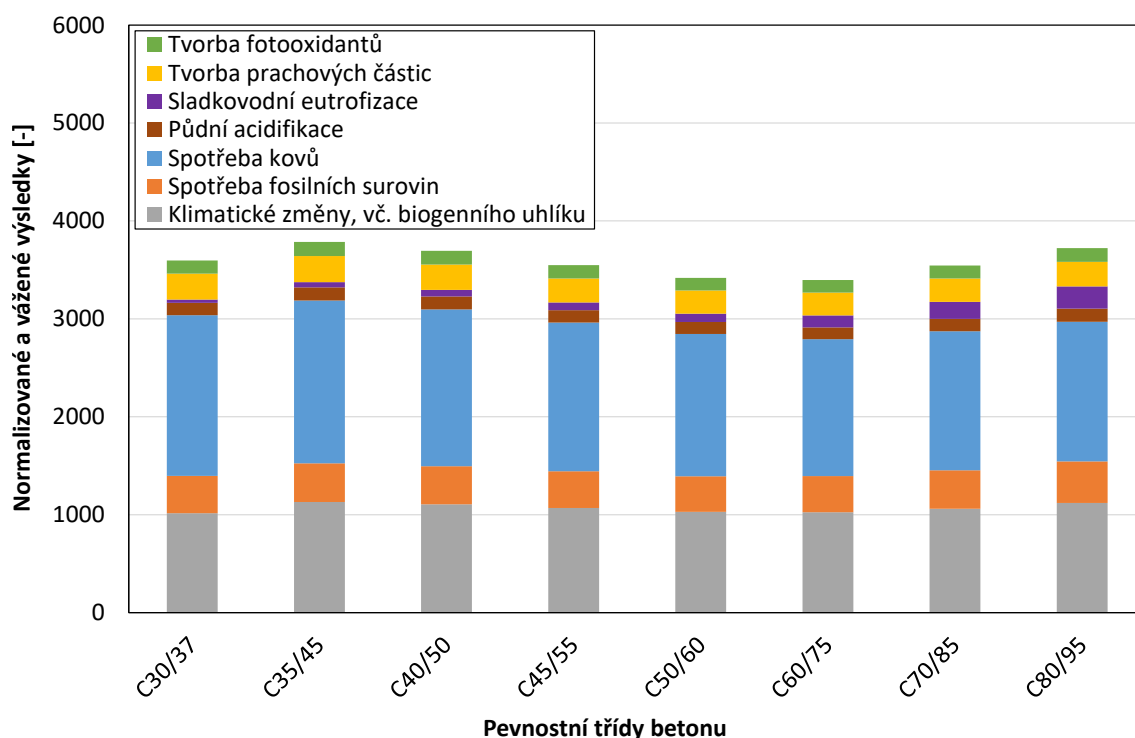
Obrázek 5.6: Normalizované výsledky environmentálních dopadů pro osovou vzdálenost sloupů 4 m

kovů. Významnou část celkového dopadu tvoří také dopad v kategoriích *Klimatická změna*, *Spotřeba fosilních surovin* a *Tvorba prachových částic*. S rostoucí pevnostní třídou betonu také významně roste dopad v kategorii *Sladkovodní ekotoxicita*, který je ovlivněn hlavně přidanými plastifikátory.

Výsledky environmentálních dopadů pro návrhy 4-podlažní budovy s osovou vzdáleností sloupů 8 m jsou v tabulce 5.9. Oproti variantám s osovou vzdáleností

Tabulka 5.9: Varianta budovy se 4 podlažními a osovou vzdáleností sloupů 8 m

Třída betonu	GWP	FDP	MDP	TAP	FEP	ODP	PMFP	POFP
	kg CO ₂ ekv.	kg ropy ekv.	kg Fe ekv.	kg SO ₂ ekv.	kg P ekv.	kg CFC-11 ekv.	kg PM ₁₀ ekv.	kg NMVOC ekv.
C30/37	752 552	70 010	114 164	789,3	1,5	145 × 10 ⁻⁶	562,3	1 011,5
C35/45	836 399	73 012	115 533	842,3	2,4	275 × 10 ⁻⁶	571,0	1 082,6
C40/50	819 875	71 684	111 320	822,2	3,0	376 × 10 ⁻⁶	552,0	1 054,6
C45/55	791 573	69 280	105 589	790,7	3,4	452 × 10 ⁻⁶	526,6	1 012,5
C50/60	761 937	67 117	101 044	761,4	3,8	520 × 10 ⁻⁶	503,6	972,5
C60/75	758 889	68 093	97 188	759,4	5,4	779 × 10 ⁻⁶	497,1	965,9
C70/85	785 696	72 573	98 604	791,8	7,6	1.14 × 10 ⁻³	510,9	1 000,4
C80/95	830 164	78 043	99 148	837,2	10,0	1.51 × 10 ⁻³	535,1	1 054,0



Obrázek 5.7: Normalizované výsledky environmentálních dopadů pro osovou vzdálenost sloupů 8 m

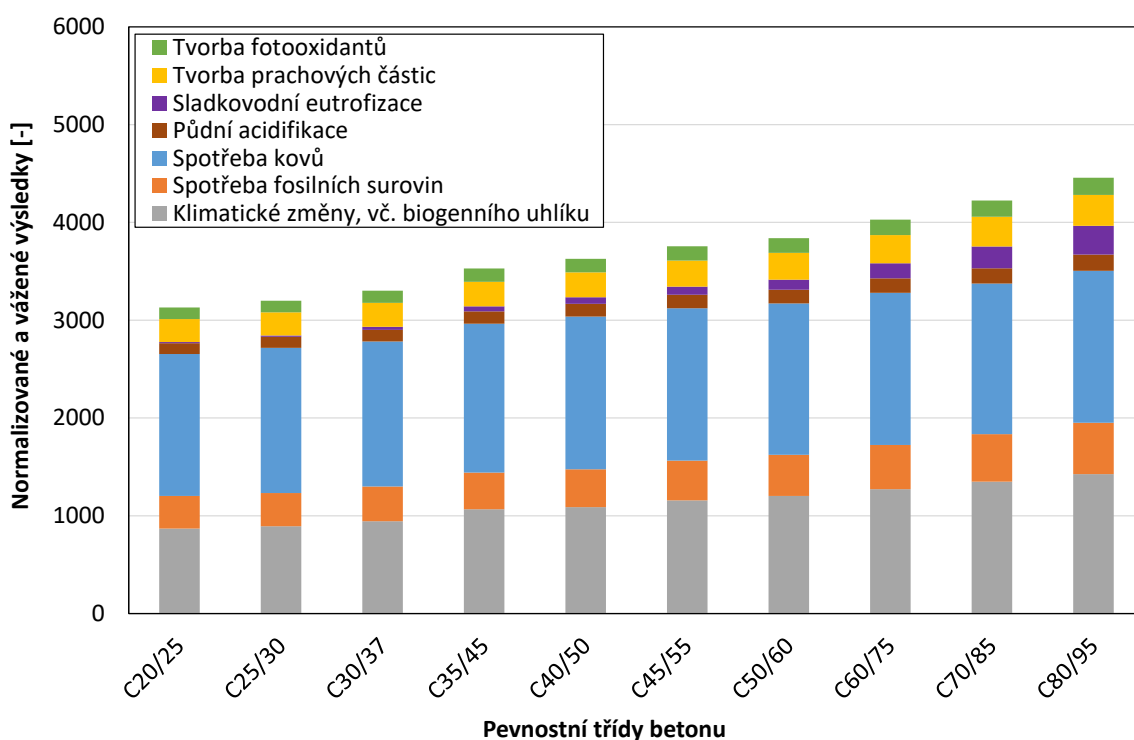
4 m není z výsledků patrný trend rostoucích environmentálních dopadů v závislosti na pevnostní třídě. Tento trend není vidět ani na celkových normalizovaných dopadech v grafu na obrázku 5.7. Pevnostní třída C35/45 dosahuje největšího celkového normalizovaného dopadu, a naopak pevnostní třída C60/75 způsobuje nejmenší dopad. První ze zmíněných variant dosahuje největších dopadů v kategoriích *Klimatická změna* a *Spotřeba kovů*, zatímco druhá z nich v těchto kategoriích způsobuje nejmenší dopad. Tuto skutečnost lze vysvětlit lepším využitím betonů s vyšší pevností. V případě variant s osovou vzdáleností sloupů 4 m je použití betonu vyšší pevnosti často zbytečným luxusem, který plně nevyužívá jeho potenciál.

Budova s 8 podlažími

Výsledky dopadů pro variantu s osovou vzdáleností sloupů 4 m jsou uvedeny v tabulce 5.10. Na rozdíl od ostatních kategorií, v kategorii *Spotřeba kovů* neroste dopad lineárně s rostoucí pevnostní třídou použité betonové směsi. V případě pevnostních tříd C50/60 a C70/85 je dopad v této kategorii menší díky menší spotřebě výztuže. U pevnostní třídy C30/37 byl nižší dopad ovlivněn dvěma faktory. Za prvé byla použita směs s nižším množstvím cementu, což i přes větší množství spotřebovaného betonu oproti betonům s vyšší pevností vedlo k nižšímu dopadu v této kategorii. Za druhé bylo u této pevnostní třídy použito méně výztuže oproti pevnostní třídě C25/30 (viz tabulka 5.3). Tento rozdíl ukazuje, že použití menšího množství betonu s vyšším podílem cementu by mohlo být vhodnější než využití většího množství

Tabulka 5.10: Varianta budovy s 8 podlažími a osovou vzdáleností sloupů 4 m

Třída betonu	GWP	FDP	MDP	TAP	FEP	ODP	PMFP	POFP
	kg CO ₂ ekv.	kg ropy ekv.	kg Fe ekv.	kg SO ₂ ekv.	kg P ekv.	kg CFC-11 ekv.	kg PM ₁₀ ekv.	kg NMVOC ekv.
C20/25	644 030	61 558	100 813	694,9	0,6	7.66×10^{-9}	501,2	886,3
C25/30	662 061	62 603	103 210	707,7	0,6	7.46×10^{-9}	505,3	902,1
C30/37	699 521	65 465	103 130	736,6	1,4	134×10^{-6}	522,1	939,5
C35/45	789 476	69 259	105 821	797,6	2,2	258×10^{-6}	538,6	1 020,9
C40/50	806 888	71 262	108 636	814,7	2,9	368×10^{-6}	543,2	1 039,3
C45/55	857 635	74 786	108 443	854,3	3,7	490×10^{-6}	569,8	1 092,8
C50/60	891 643	77 367	107 667	881,4	4,5	613×10^{-6}	587,8	1 128,8
C60/75	942 894	83 031	108 196	930,7	6,7	975×10^{-6}	615,9	1 188,4
C70/85	998 739	89 677	107 045	985,4	9,8	1.46×10^{-3}	646,8	1 253,9
C80/95	1 056 253	96 794	108 063	1 044,5	12,9	1.95×10^{-3}	678,2	1 323,5



Obrázek 5.8: Normalizované výsledky environmentálních dopadů pro osovou vzdálenost sloupů 4 m

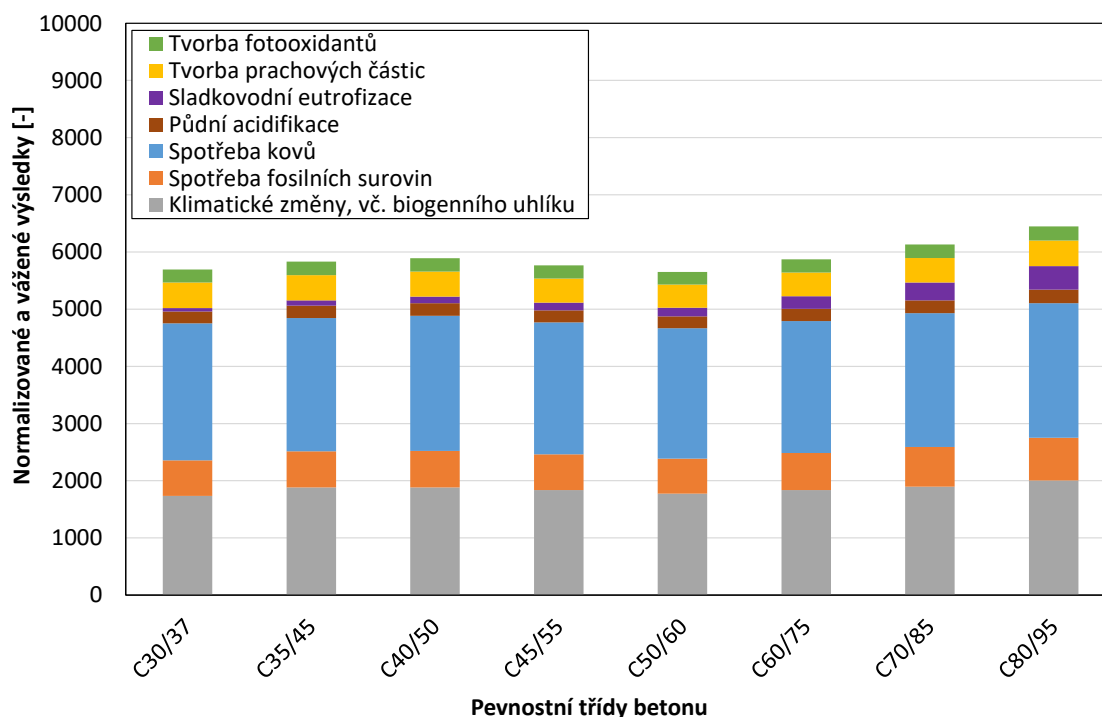
betonu, který se pro určitou aplikaci vyrábí z betonové směsi s nižším podílem cementu. Přes tento částečný účinek se součet normalizovaných a vážených výsledků zvyšuje s vyšší třídou pevnosti (viz obrázek 5.8).

Podobně jako tomu bylo u varianty 4-podlažní budovy s osovou vzdáleností 8 m, stejně tak není z výsledků environmentálních dopadů 8-podlažních návrhů zřejmý

trend rostoucích environmentálních dopadů. V kategorii *Klimatická změna* je druhý nejmenší dopad spojen s pevnostní třídou betonu C50/60, která dosahuje i nejnižšího dopadu v kategorii *Spotřeba kovů*. Z hlediska kategorie *Spotřeba kovů* největší dopad je dosažen v pevnostní třídě C30/37. Z hlediska celkového normalizovaného dopadu, který je zobrazen na Obrázku 14, je největší dopad způsoben pevnostní třídou C80/95 a to i díky dopadu v kategorii *Spotřeba fosilních surovin*. Nejnižší celkový dopad je dosažen u pevnostní třídy C50/60.

Obrázek 5.9: Varianta budovy s 8 podlažními a osovou vzdáleností sloupů 8 m

Třída betonu	GWP	FDP	MDP	TAP	FEP	ODP	PMFP	POFP
	kg CO ₂ ekv.	kg ropy ekv.	kg Fe ekv.	kg SO ₂ ekv.	kg P ekv.	kg CFC-11 ekv.	kg PM ₁₀ ekv.	kg NMVOC ekv.
C30/37	1 285 161	114 709	166 493	1 309,3	2,6	253×10^{-6}	958,3	1 698,7
C35/45	1 395 450	116 494	161 975	1 362,9	3,9	467×10^{-6}	948,9	1 774,2
C40/50	1 394 545	117 660	164 428	1 364,4	5,1	649×10^{-6}	935,6	1 767,9
C45/55	1 360 061	115 458	160 339	1 329,9	5,9	787×10^{-6}	901,8	1 717,6
C50/60	1 314 075	113 137	158 543	1 292,0	6,6	907×10^{-6}	866,2	1 661,0
C60/75	1 360 180	119 744	160 279	1 342,5	9,7	1.41×10^{-3}	889,0	1 716,7
C70/85	1 405 043	127 603	162 891	1 398,2	13,7	2.05×10^{-3}	911,6	1 775,2
C80/95	1 485 146	137 448	163 804	1 479,9	18,0	2.73×10^{-3}	955,2	1 871,6



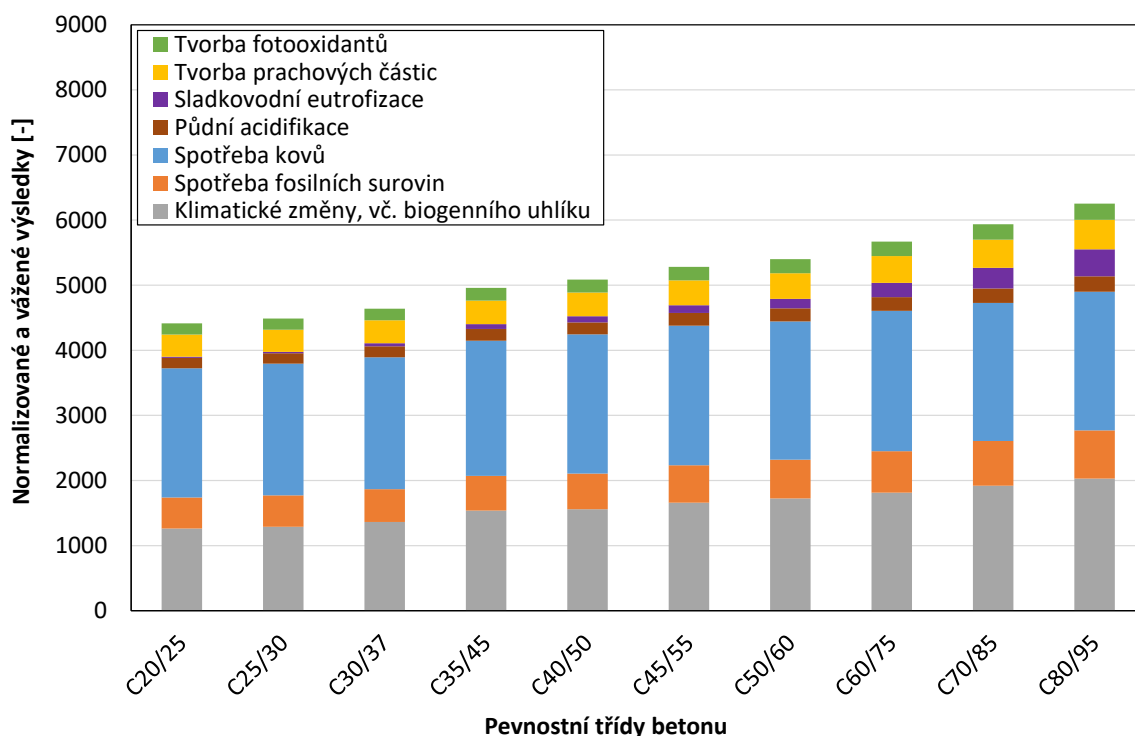
Obrázek 5.10: Normalizované výsledky environmentálních dopadů pro osovou vzdálenost sloupů 8 m

Budova s 12 podlažími

Výsledky environmentálních dopadů pro variantu 12-podlažní budovy s osovou vzdáleností sloupů 4 m jsou uvedeny v tabulce 5.11. Podobně jako u 8-podlažních variant mají pevnostní třídy C50/60 a C70/85 nižší dopady v kategorii *Spotřeba kovů* než

Tabulka 5.11: Varianta budovy s 12 podlažími a osovou vzdáleností sloupů 4 m

Třída betonu	GWP	FDP	MDP	TAP	FEP	ODP	PMFP	POFP
	kg CO ₂ ekv.	kg ropy ekv.	kg Fe ekv.	kg SO ₂ ekv.	kg P ekv.	kg CFC-11 ekv.	kg PM ₁₀ ekv.	kg NMVOC ekv.
C20/25	935 008	88 019	138 010	998,1	0,8	11.1×10^{-9}	727,3	1 278,6
C25/30	955 372	88 991	140 593	1 010,5	0,8	10.7×10^{-9}	728,7	1 293,6
C30/37	1 009 107	93 168	140 835	1 052,5	2,0	195×10^{-6}	752,6	1 347,5
C35/45	1 138 101	98 499	144 303	1 139,0	3,2	375×10^{-6}	775,4	1 463,4
C40/50	1 154 759	100 915	148 685	1 157,4	4,2	528×10^{-6}	776,5	1 480,6
C45/55	1 228 305	106 145	149 116	1 215,9	5,3	705×10^{-6}	815,2	1 558,9
C50/60	1 277 013	109 804	147 773	1 254,3	6,4	881×10^{-6}	841,0	1 610,2
C60/75	1 342 429	117 632	149 918	1 320,3	9,6	1.39×10^{-3}	876,3	1 688,0
C70/85	1 421 369	126 906	147 382	1 396,6	14,0	2.09×10^{-3}	919,7	1 779,6
C80/95	1 502 717	136 860	147 974	1 479,1	18,3	2.78×10^{-3}	963,9	1 877,2

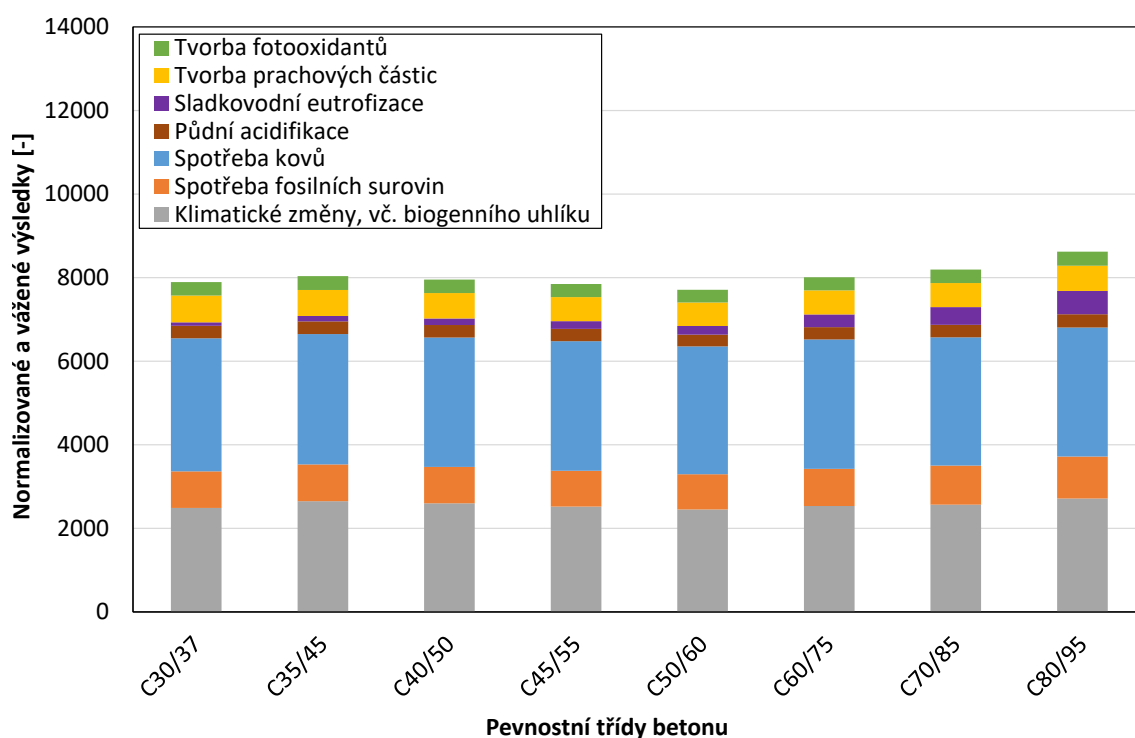


Tabulka 5.12: Normalizované výsledky environmentálních dopadů pro osovou vzdálenost sloupů 4 m

okolních pevnostní třídy betonu. Celkové normalizované výsledky (obrázek 5.12) však potvrzují trend rostoucích environmentálních dopadů.

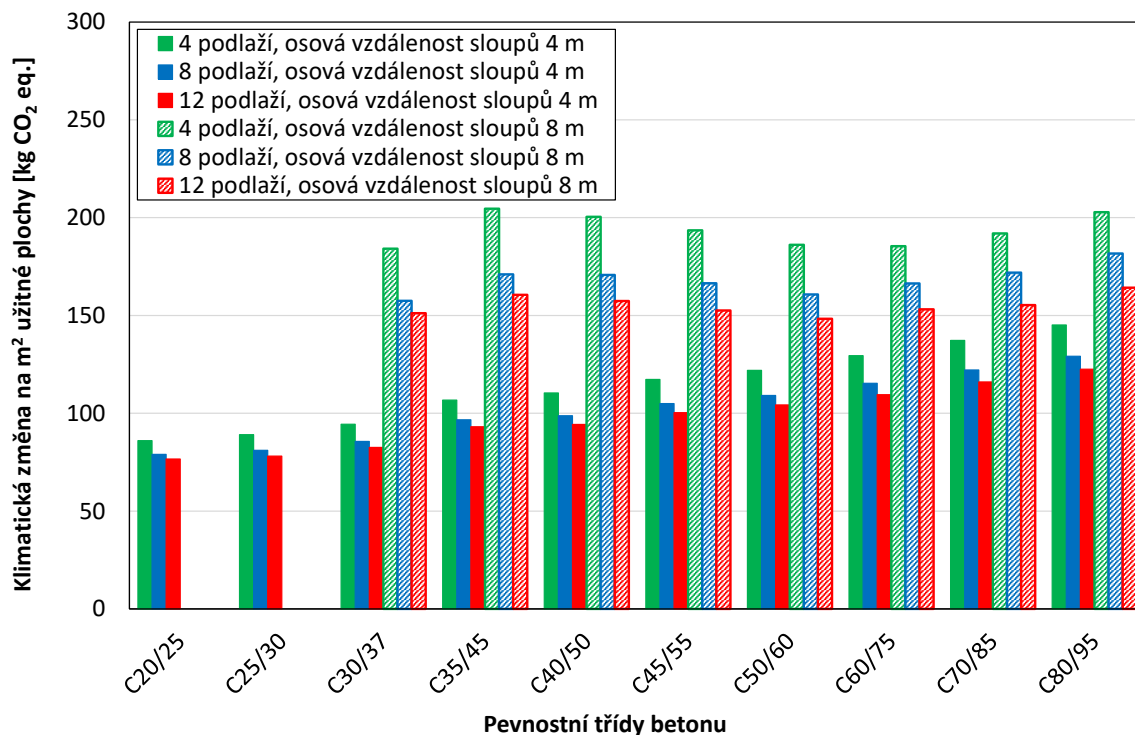
Tabulka 5.13: Varianta budovy s 12 podlažími a osovou vzdáleností sloupů 8 m

Třída betonu	GWP	FDP	MDP	TAP	FEP	ODP	PMFP	POFP
	kg CO ₂ ekv.	kg ropy ekv.	kg Fe ekv.	kg SO ₂ ekv.	kg P ekv.	kg CFC-11 ekv.	kg PM ₁₀ ekv.	kg NMVOC ekv.
C30/37	1 844 126	161 609	221 337	1 854,9	3,7	366×10^{-6}	1 373,9	2 419,8
C35/45	1 962 892	162 060	217 024	1 902,7	5,6	660×10^{-6}	1 333,4	2 484,6
C40/50	1 926 652	160 575	215 148	1 869,2	7,0	901×10^{-6}	1 291,1	2 430,1
C45/55	1 868 862	157 990	215 596	1 822,1	8,1	1.08×10^{-3}	1 238,6	2 355,7
C50/60	1 816 574	155 413	212 601	1 778,2	9,1	1.26×10^{-3}	1 196,5	2 289,6
C60/75	1 876 500	164 336	215 157	1 845,1	13,4	1.95×10^{-3}	1 225,6	2 362,5
C70/85	1 902 965	171 789	213 381	1 885,3	18,6	2.78×10^{-3}	1 233,6	2 397,2
C80/95	2 011 700	185 145	214 561	1 996,0	24,4	3.71×10^{-3}	1 292,8	2 528,0



Obrázek 5.11: Normalizované výsledky environmentálních dopadů pro osovou vzdálenost sloupů 8 m

Tabulka 5.13 uvádí výsledky environmentálních dopadů variant budovy s osovou vzdáleností sloupů 8 m. Ve srovnání s návrhy s osovou vzdáleností sloupů 4 m, mají pevnostní třídy C50/60 a C70/85 nižší dopady než okolní pevnostní třídy betonu. Celkové normalizované dopady zobrazené na obrázku 5.11 však nepotvrzují trend



Obrázek 5.12: Porovnání výsledků v kategorii *Klimatická změna* vztažených na 1 m² užité plochy

rostoucích dopadů na rozdíl od variant se čtyřmetrovou osovou vzdáleností sloupů.

Podobně jako na obrázku 5.5 v případě finančních nákladů, také zde lze provést srovnání environmentálních dopadů na m² užité plochy. Pro toto srovnání byl vybrána kategorie *Klimatická změna*, která se významně podílí na sumě normalizovaných dopadů a zároveň se v současné době jedná o velmi sledovanou kategorii. Z grafu na obrázku 5.12 vyplývají shodné závěry jako v případě finančních nákladů. Ve variantách s osovou vzdáleností sloupů 4 m je pro všechny pevnostní třídy nejmenší dopad u 12-podlažní budovy a naopak největší u 4-podlažní budovy. Pro tyto varianty je znovu dobře vidět trend rostoucích dopadů s vyšší pevnostní třídou. Také u variant budovy s osovou vzdáleností sloupů 8 m je nejmenší dopad pro 12-podlažní budovy, neplatí zde ale již trend rostoucích dopadů s pevnostní třídou betonu. Nejmenší dopad zde má beton pevnostní třídy C50/60, největší pak pevnostní třída C35/45. Důvodem této situace je stejně jako v případě finančních nákladů základová konstrukce, která hraje významnou roli při přepočtu na m² užité plochy.

Kapitola 6

Vyhodnocení případových studií

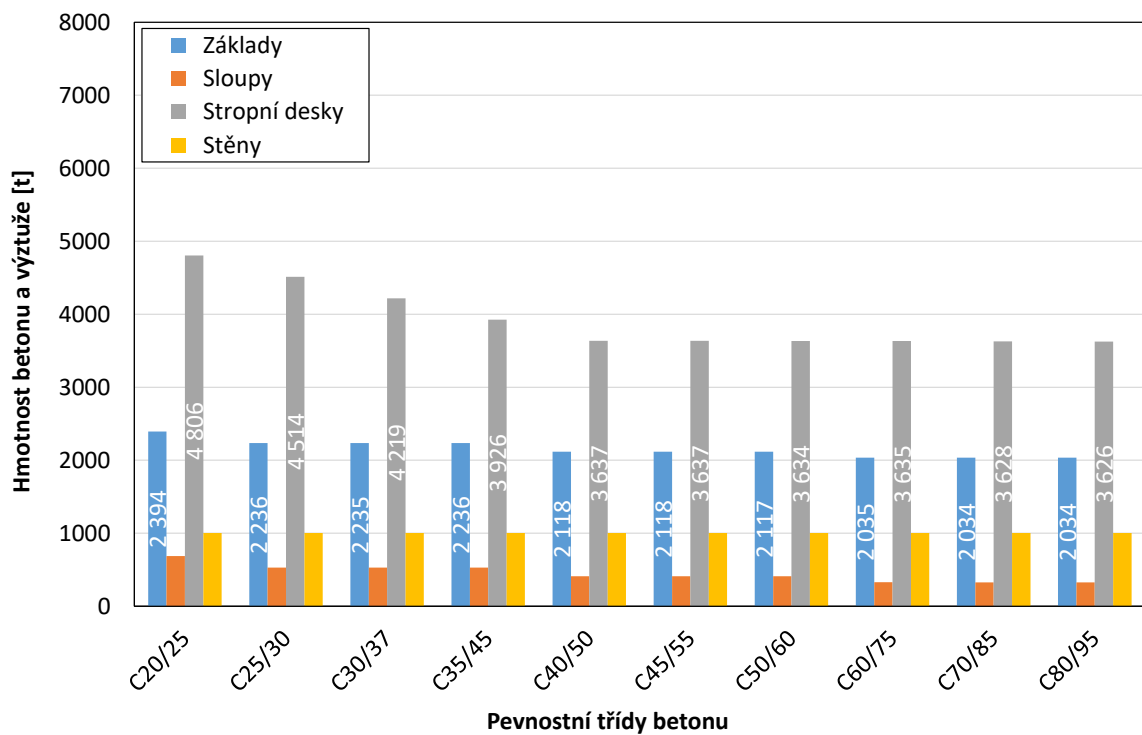
6.1 Zjištěné poznatky

Ačkoliv byly obě případové studie rozdílné ve velikosti i charakteru nosné konstrukce, přesto lze ve výsledcích pozorovat několik společných rysů či trendů. Ty byly shrnuty v této kapitole a jsou také jedním z výstupů této disertační práce. Otázkou zůstává jejich širší platnost, kterou je nutné ověřit dalšími studiemi. V současné chvíli však získané poznatky minimálně naznačují, jakým směrem je možné se ubírat v navazujícím výzkumu.

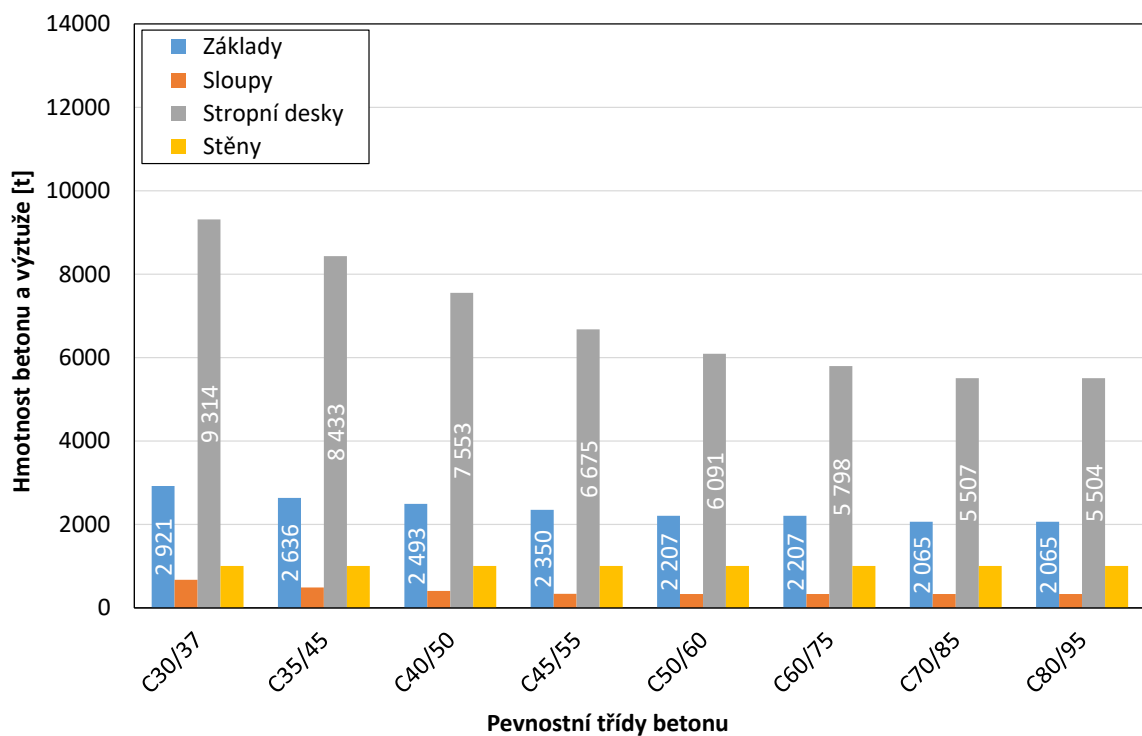
Prvním a poměrně dobře zřejmým rysem optimalizace byla vzájemná pozitivní korelace mezi oběma optimalizačními kritérii. Jak finanční náklady, tak většina kategorií environmentálních dopadů spolu velmi dobře korelovaly. Hlavním důvodem je právě cement, který má ze všech složek v betonu dominantní vliv jak na cenu, tak na environmentální dopady. Výjimku tvoří kategorie *Spotřeba kovů*, která je z velké části ovlivněna ocelovou výztuží (viz obrázek 4.6) a pak také kategorie *Sladkovodní eutrofizace* a *Úbytek ozónu*, které zase významně ovlivňují plastifikační přísady.

Druhým poznatkem bylo zjištění, že ze tří zvolených optimalizačních proměnných – průřez sloupu, tloušťka stropní desky a pevnostní třída betonu, měla při optimalizaci nejvyšší důležitost právě pevnostní třída betonu. První dvě optimalizační proměnné sice zásadním způsobem určují výslednou spotřebu betonu a výztuže, avšak na základě získaných výsledků je možné říci, že v rámci jedné pevnostní třídy betonu jsou minimální možné rozměry zároveň optimální (viz příloha C a D). Toto pravidlo platilo téměř vždy a potvrzuje se tak logický předpoklad, že cesta k hospodárnému návrhu konstrukce vede přes plně využití konstrukčních prvků. Větší rozměry prvků znamenají sice nižší stupeň vyztužení, které ale nemá šanci finančně ani environmentálně vykompenzovat zvýšený objem betonu. Naopak použití vyšší pevnostní třídy betonu se již příznivě odrazilo ve zmenšení dimenzí nosných prvků a tím také k celkově menšímu objemu použitého betonu.

Třetím charakteristickým rysem železobetonového skeletu je převaha hmotnosti stropních desek nad ostatními konstrukčními prvky. S trochou nadsázky lze říci, že optimalizovat má smysl hlavně stropní desky a ostatní konstrukční prvky vynechat. V grafech na obrázku 6.1 a 6.2 je pro variantu budovy z 2. případové studie ukázáno srovnání hmotnosti betonu a výztuže podle konstrukčních prvků. V obou případech je jasně vidět, že dominují právě stropní desky, naopak sloupy a stěny jsou



Obrázek 6.1: Hmotnost betonu a výztuže podle konstrukčních prvků pro variantu budovy s 12 podlažími a osovou vzdáleností sloupů 4 m



Obrázek 6.2: Hmotnost betonu a výztuže podle konstrukčních prvků pro variantu budovy s 12 podlažími a osovou vzdáleností sloupů 8 m

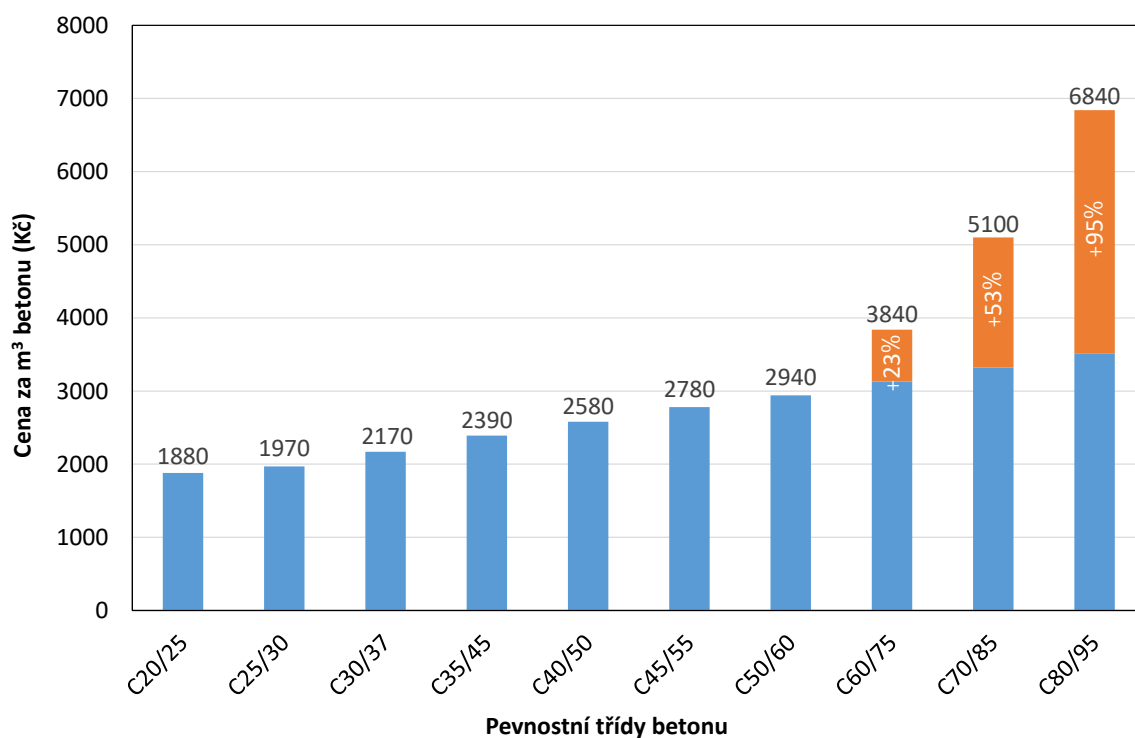
v menšině. Za zmínku stojí pouze základová konstrukce, která byla v této případové studii tvořena základovou deskou (v případě varianty s osovou vzdáleností sloupů 8 m navíc doplněná ještě pilotami). Z uvedených dvou grafů je také dobře vidět, že největší pokles vlastní hmotnosti stropních desek se odehrává mezi pevnostními třídami C20/25 až C40/50 (varianta s osovou vzdáleností sloupů 4 m), resp. mezi třídami C30/37 až C50/60 (varianta s osovou vzdáleností sloupů 8 m). Tento významný pokles v hmotnosti betonu a výztuže indikuje úsporu materiálu a to je také hlavní důvod, proč může mít nosná konstrukce z betonu vyšší pevnosti nižší finanční náklady i environmentální dopady.

Čtvrtý poznatek se týká optimální pevnostní třídy betonu. Obě případové studie vykazují podobné trendy týkající se finančních nákladů a environmentálních dopadů, ale liší se mírou intenzity. Obecně se dá říci, že čím je nosná konstrukce více namáhaná, tím se tyto trendy projevují výrazněji.

Pro málo namáhanou konstrukci s malým užitným zatížením či malými rozpony stropních desek plně dostačuje beton s nízkou pevností. Beton s vyšší pevností by nebyl patřičně využit a žádoucí úspora finančních nákladů by se nedostavila (viz obrázek 5.4 a 5.5). V případě environmentálních dopadů by se situace naopak zhoršila (viz obrázky 5.6, 5.8 a 5.12), protože použití betonu vyšší pevnosti sebou nese také vyšší environmentální dopady. Ve druhé případové studii reprezentovaly takto málo namáhanou konstrukci varianty s osovou vzdáleností sloupů 4 m. Nutno však podotknout, že takové konstrukce se v praxi vyskytují spíše výjimečně.

Zcela odlišná situace však nastane pro nosnou konstrukci, která je více namáhaná. Zde je naopak žádoucí použít beton vyšší pevnosti, a to nejen z konstrukčních důvodů. Podle výsledků 2. případové studie je totiž finančně i environmentálně výhodnější volit betony vyšších pevnostních tříd, u kterých převáží úspora materiálu nad zvýšenými výrobními náklady (viz obrázek 5.4 a 5.5). V tomto případě se jako optimální ukázala být pevnostní třída C50/60, která je pro vytvoření nosné konstrukce finančně i environmentálně nejvýhodnější.

Ne všechny betony vyšších pevností jsou však výhodné. Vysokopevnostní betony, které byly reprezentovány pevnostními třídami C60/75, C70/85 a C80/95, se naopak v obou případových studiích ukázaly být tou nejméně příznivou volbou. Z finančního hlediska se jejich použití stává problematické kvůli jejich vysoké pořizovací ceně. Celou situaci ilustruje graf na obrázku 6.3 sestavený podle vypočtených cen na základě tabulky A.1. Jak je vidět, ceny běžných betonů rostou víceméně lineárně až do pevnostní třídy C50/60, což je také nejvyšší pevnostní třída běžně vyráběná v některých betonárnách v ČR. Cena následujících tří vysokopevnostních betonů se však tomuto trendu vymyká a začíná strmě růst. Tyto betony jsou navíc k dispozici pouze na objednávku a betonárna se musí na jejich výrobu nejprve důsledně připravit. Kromě toho, že vysokopevnostní betony vyžadují vyšší obsah cementu, potřebují také kvalitní čisté kamenivo bez nežádoucích příměsí, vysoké dávky superplastifikátorů a v neposlední řadě také velmi jemné příměsí – mikrosilika, metakaolin, křemenné moučky, atd. Tyto příměsí pomáhají vyplňovat mezery mezi zrny kameniva (i cementu) a pomáhají tak dosáhnout vyšší pevnosti betonu. Bohužel výroba takovýchto betonů je v současné době spojena nejenom s použitím kvalitnějších a dražších surovin, ale i s přeorganizováním výroby, což se samozřejmě odrazí i na jejich výsledné ceně. Pokud by se ale i přesto v budoucnu podařilo cenu



Obrázek 6.3: Nelineární růst ceny vysokopevnostních betonů

těchto betonů snížit natolik, že by se staly finančně výhodnými, stále bude zřejmě problém s jejich environmentálními dopady kvůli vysokému obsahu cementu.

6.2 Směřování navazujícího výzkumu

V průběhu řešení disertační práce vyvstaly nové otázky, které by bylo vhodné blíže rozebrat a pokusit se na ně nalézt odpovědi. Mezi ty nejzajímavější otázky patří:

1. **Jak by se změnilы výsledky optimalizace, pokud by byly stropní desky vylehčeny?**

Stropní desky větších tloušťek mohou být vylehčeny pomocí vložek s cílem snížit vlastní hmotnost. Vylehčení se běžně provádí pro stropní desky tloušťky větší než 300 mm. Mělo by smysl je provádět pro stropní desky menších tloušťek? A pokud ano, jak by se změnilы výsledky optimalizace?

2. **Jak by se projevilo zavedení pevnostní třídy betonu jako samostatné optimalizační proměnné pro sloupy?**

Únosnost sloupů je pro dvojnásobnou pevnost betonu takřka dvojnásobná, u stropních desek však tato závislost neplatí a je mnohem menší. Přestože sloupy tvoří pouze menšinu z celkové hmoty nosné konstrukce, zavedením pevnostní třídy betonu samostatně pro sloupy by mohla být ušetřena užitečná plocha budovy.

3. Jaké by byly rozdíly při výstavbě nosné konstrukce z betonu tradičně vibrovaného a samozhutnitelného?

Obě technologie mají své výhody i nevýhody a jsou upřednostňovány pro různé aplikace. I když je samozhutnitelný beton o něco málo dražší, zrychlení výstavby může pomoci finanční tyto finanční ztráty vykompenzovat.

Kromě těchto tří zmíněných otázek by také bylo vhodné ověřit závěry této disertační práce v jiných případových studiích. Ideálním způsobem by bylo například provést klasický „ruční výpočet“ pro více pevnostních tříd betonu a výsledky mezi sebou vzájemně porovnat. Potvrzení obecné platnosti výsledků této disertační práce by otevřelo poměrně efektivní cestu ke snížení finančních nákladů i environmentálních dopadů a to jen díky optimalizaci nosné konstrukce ve fázi přípravy stavby.

Kapitola 7

Závěry a doporučení

Neustále se prohlubující změny klimatu, stejně jako další problémy týkající se životního prostředí, vyžadují pozornost v celém spektru lidské činnosti. Stavebnictví, jako jedno z důležitých hospodářských odvětví, má velký potenciál přispět k celkové ochraně životního prostředí a to jak ve fázi vlastní výstavby, tak ve fázi užívání staveb. Tématem práce byla optimalizace železobetonových konstrukcí, které tvoří jednu z klíčových oblastí pro dosažení materiálových a energetických úspor.

Optimalizace nosné konstrukce byla provedena s ohledem na finanční náklady a environmentální dopady stavby. Finanční náklady byly hodnoceny položkovým rozpočtem dle cenové soustavy ÚRS a environmentální dopady byly analyzovány pomocí metody LCA s využitím charakterizačního modelu ReCiPe verze 1.08. Jako optimalizační proměnné byly zvoleny: průřez sloupu, tloušťka stropní desky a pevnostní třída betonu. Pro potřeby optimalizace byl v jazyku VBA naprogramován optimalizační nástroj, který byl následně využit k optimalizaci nosné konstrukce ve dvou případových studiích. Úloha byla řešena enumerativním způsobem a optimální řešení poté vybráno na základě dostupných výsledků.

Provedené případové studie ukázaly, že optimalizace nosné konstrukce má potenciál značně snížit finanční náklady i environmentální dopady stavby. Přestože nosné konstrukce byly v obou případových studiích rozdílné, získané výsledky jsou si navzájem velmi podobné a byly shrnuty do následujících čtyř závěrů:

1. **Pozitivní korelace finančních nákladů a environmentálních dopadů**

Ve výsledcích obou případových studií lze pozorovat silnou pozitivní korelaci mezi oběma hodnotícími kritérii (viz příloha C a D). V rámci jedné pevnostní třídy betonu platí, že optimální varianta z hlediska finančních nákladů je téměř vždy optimální variantou z hlediska environmentálních dopadů. To je dáno především obsahem cementu v betonu, který je cenově i environmentálně tou nejnáročnější surovinou.

2. **Minimální rozměry jsou optimální rozměry**

V rámci jedné pevnostní třídy betonu jsou minimální možné rozměry nosných prvků zároveň optimálními rozměry. Potvrzuje se tak klasický předpoklad, že pokud má být konstrukce navržena hospodárně, nesmí být její prvky zbytečně předimenzované. Zvětšení rozměrů nosných prvků vede sice k nižšímu stupni vyztužení a tím k uspoření části výztuže, ale za cenu větší spotřeby betonu,

který konstrukci naopak prodražuje. Podobným způsobem je možné vysvětlit i optimální rozměry vzhledem k environmentálním dopadům.

3. Stropní desky jsou dominantní prvek nosné konstrukce

Většina hmoty železobetonového skeletového systému je soustředěna ve stropních deskách. Podle charakteru konstrukce mohou stropní desky tvořit téměř 80 % z celkového objemu spotřebovaného betonu (včetně základů). Proto má smysl věnovat se přednostně optimalizaci stropních desek a v budoucím výzkumu se zaměřit například na možnosti jejich vylehčení. Naopak sloupy není nutné optimalizovat z hlediska objemu betonu, ale zaměřit se spíše na pevnostní třídu.

4. Optimální pevnostní třída betonu je C50/60

Jako optimální pevnostní třída jak z hlediska finančních nákladů, tak z hlediska environmentálních dopadů se ukázala být pevnostní třída C50/60. Tato pevnostní třída betonu je obzvláště výhodná pro více namáhané konstrukce, u méně namáhaných konstrukcí je lepší se držet betonů s nízkými pevnostmi. Naopak jako nevýhodné se pro obě optimalizační kritéria ukázaly být vysoko-pevnostní betony. Důvodem je zejména vysoký obsah cementu ve směsi, který stojí za vyšší cenou i environmentálními dopady.

V úvodu práce byla položena výzkumná otázka, jejímž cílem bylo zjistit optimální pevnost betonu vhodného pro stavbu nosné konstrukce železobetonového skeletového systému. Odpověď na tuto otázku nabízí čtvrtý závěr, ve kterém byly shrnuty výsledky ze dvou případových studií. Tento závěr nelze zatím brát jako univerzálně platný a je potřeba ještě dalšího výzkumu, který by uvedené závěry potvrdil či vyvrátil. Zároveň je nutné podotknout, že velmi záleží na míře namáhání nosných prvků. Pro běžné skeletové konstrukce s rozponem stropních polí okolo 8 m se však jako optimální ukázala právě pevnostní třída betonu C50/60.

V České republice je v dnešní době obvyklé projektovat železobetonové konstrukce z betonů spíše nižších pevnostních tříd (C20/25, C25/30, C30/37). Betony vyšších pevností (C40/50, C45/55, C50/60) jsou používány především v prefabrikované výrobě. Pokud to ale technologické důvody umožní a zároveň se prokáže platnost uvedených závěrů, pak bude možné rozšířit jejich pole působnosti i v rámci monolitických konstrukcí. V kombinaci s optimalizací ve fázi přípravy projektu bude možné nejenom snížit finanční náklady, ale zároveň i environmentální dopady stavby. To vše bez drahých technologií či nákladných reorganizací práce.

Bibliografie

1. HALL, Christopher. On the history of Portland cement after 150 years. *Journal of Chemical Education* [online]. 1976-04, vol. 53, no. 4, s. 222 [cit. 2021-01-30]. ISSN 0021-9584, ISSN 1938-1328. Dostupné z DOI: [10.1021/ed053p222](https://doi.org/10.1021/ed053p222).
2. WERNER, Dietrich; BURMEISTER, Kurtis C., et al. An Overview of the History and Economic Geology of the Natural Cement Industry at Rosendale, Ulster County, New York. *Journal of ASTM International* [online]. 2007, vol. 4, no. 6, s. 100672 [cit. 2021-01-29]. ISSN 1546962X. Dostupné z DOI: [10.1520/JAI100672](https://doi.org/10.1520/JAI100672).
3. LÁNÍK, Jaroslav; CIKRT, Miloš. *Dvě tisíciletí vápenictví a cementárenství v českých zemích.pdf*. Svaz výrobců cementu a vápna Čech, Moravy a Slezska, 2001.
4. LE QUÉRÉ, Corinne; ANDREW, Robbie M., et al. Global Carbon Budget 2018. *Earth System Science Data* [online]. 2018-12-05, vol. 10, no. 4, s. 2141–2194 [cit. 2021-01-28]. ISSN 1866-3516. Dostupné z DOI: [10.5194/essd-10-2141-2018](https://doi.org/10.5194/essd-10-2141-2018).
5. CEMBUREAU. *Key Facts & Figures* [online]. 2018 [cit. 2020-09-17]. Dostupné z: <https://cembureau.eu/about-our-industry/key-facts-figures/>.
6. STATISTA. *Cement production globally and in the U.S. from 2010 to 2019* [online]. 2019 [cit. 2021-01-29]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/219343/cement-production-worldwide/>.
7. STATISTA. *World crude steel production from 2012 to 2019* [online]. 2019 [cit. 2021-01-29]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/267264/world-crude-steel-production/>.
8. LI, Nan; MA, Ding; CHEN, Wenying. Projection of Cement Demand and Analysis of the Impacts of Carbon Tax on Cement Industry in China. *Energy Procedia* [online]. 2015-08, roč. 75, s. 1766–1771 [cit. 2021-01-30]. ISSN 18766102. Dostupné z DOI: [10.1016/j.egypro.2015.07.457](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.457).
9. RUIJVEN, Bas J. van; VUUREN, Detlef P. van, et al. Long-term model-based projections of energy use and CO2 emissions from the global steel and cement industries. *Resources, Conservation and Recycling* [online]. 2016-09, vol. 112, s. 15–36 [cit. 2020-11-02]. ISSN 09213449. Dostupné z DOI: [10.1016/j.resconrec.2016.04.016](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.04.016).
10. DUCTAL. *Innovative UHPC Solution* [online]. 2020 [cit. 2020-08-24]. Dostupné z: <https://www.ductal.com/en>.

11. GRAVELLI. *Designové výrobky z betonu* [online]. 2020 [cit. 2020-08-24]. Dostupné z: <https://www.gravelli.com/cs/>.
12. UNITED NATIONS. *Agenda 21*. United States: United Nations, 1992. ISBN 978-92-1-100509-7. Dostupné také z: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>.
13. INTERNATIONAL COUNCIL FOR BUILDING (CIB) (ed.). *Agenda 21 on sustainable construction*. Rotterdam, the Netherlands: CIB, 1999. ISBN 978-90-6363-015-7. OCLC: 47649537.
14. INTERNATIONAL COUNCIL FOR BUILDING (CIB) (ed.). *Agenda 21 pro udržitelnou výstavbu*. Přel. KASÍKOVÁ, Stanislava. Praha: CIB, 2001. ISBN 80-01-02467-9. OCLC: 47649537.
15. ANDREW, Robbie. *Global CO2 Emissions From Cement Production* [online]. Zenodo, 2017-07-18 [cit. 2021-02-02]. Dostupné z DOI: [10.5281/ZENODO.831455](https://doi.org/10.5281/ZENODO.831455). type: dataset.
16. DAMINELI, Bruno L.; KEMEID, Fernanda M., et al. Measuring the eco-efficiency of cement use. *Cement and Concrete Composites* [online]. 2010-09, vol. 32, no. 8, s. 555–562 [cit. 2021-02-02]. ISSN 09589465. Dostupné z DOI: [10.1016/j.cemconcomp.2010.07.009](https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.07.009).
17. LAFARGEHOLCIM. *Our CO2 emissions reduction* [online]. 2020 [cit. 2021-02-18]. Dostupné z: <https://www.lafargeholcim.com/our-co2-emissions-reduction>.
18. ČSN EN 197-1 ED. 2. *Cement - Část 1: Složení, specifikace a kriteria shody cementů pro obecné použití*. ÚNMZ, 2012.
19. GARTNER, Ellis; HIRAO, Hiroshi. A review of alternative approaches to the reduction of CO2 emissions associated with the manufacture of the binder phase in concrete. *Cement and Concrete Research* [online]. 2015-12, vol. 78, s. 126–142 [cit. 2020-11-02]. ISSN 00088846. Dostupné z DOI: [10.1016/j.cemconres.2015.04.012](https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.04.012).
20. ABDOLHOSSEINI QOMI, M.J.; KRAKOWIAK, K.J., et al. Combinatorial molecular optimization of cement hydrates. *Nature Communications* [online]. 2014-12, vol. 5, no. 1, s. 4960 [cit. 2020-11-02]. ISSN 2041-1723. Dostupné z DOI: [10.1038/ncomms5960](https://doi.org/10.1038/ncomms5960).
21. SOLIDIA. *Making Sustainability Business As UsualSM* [online]. 2019 [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://www.solidiatech.com/>.
22. ÚRS. *Cenová soustava ÚRS* [online]. 2018 [cit. 2019-01-30]. Dostupné z: <https://app.urs.cz/#cs-urs-online>.
23. GOEDKOOOP, Mark; HEIJUNGS, Reinout, et al. *ReCiPE 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level*. Netherlands, 2008. RIVM. Dostupné také z: <https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/downloads>.
24. DANTZIG, George B. The Diet Problem. *Interfaces* [online]. 1990-08, vol. 20, no. 4, s. 43–47 [cit. 2020-11-25]. ISSN 0092-2102, ISSN 1526-551X. Dostupné z DOI: [10.1287/inte.20.4.43](https://doi.org/10.1287/inte.20.4.43).

25. PROCHÁZKA, Miroslav. *Možnosti využití operačního výzkumu ve zdravotnické službě AČR*. Brno, 2007. Dostupné také z: https://is.muni.cz/th/n2gyv/prochazka_disertace.pdf. Disertační práce. Lékařská fakulta Masarykovy univerzity Brno.
26. JABLONSKÝ, Josef. *Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. Třetí vydání. Praha: Professional Publishing, 2007. ISBN 978-80-86946-44-3. OCLC: 261324837.
27. STIGLER, George J. The Cost of Subsistence. *Journal of Farm Economics* [online]. 1945-05, vol. 27, no. 2, s. 303 [cit. 2020-11-25]. ISSN 10711031. Dostupné z DOI: [10.2307/1231810](https://doi.org/10.2307/1231810).
28. MATHWORKS. *Example function of two variables - MATLAB peaks* [online]. 2020 [cit. 2020-11-26]. Dostupné z: <https://uk.mathworks.com/help/matlab/ref/peaks.html>.
29. ŠKOPEK, Michal. *Problém obchodního cestujícího a metoda GENIUS*. 2010. Diplomová práce. Vysoká škola ekonomická v Praze.
30. SOBEK, Milan. *Optimalizace tras pro svoz komunálního odpadu*. Ostrava, 2018. Bakalářská práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava.
31. DEMEL, Jiří. *Grafy a jejich aplikace*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2002. ISBN 978-80-200-0990-6. OCLC: ocm51191353.
32. MATOUŠEK, Jiří; NEŠETŘIL, Jaroslav. *Kapitoly z diskrétní matematiky*. Čtvrté vydání. Praha: Karolinum, 2009. ISBN 978-80-246-1740-4.
33. NEOS. *Optimization Taxonomy | NEOS* [Optimization Taxonomy | NEOS] [online]. 2020 [cit. 2020-12-01]. Dostupné z: <https://neos-guide.org/content/optimization-taxonomy>.
34. ZELINKA, Ivan; OPLATKOVÁ, Zuzana et al. *Evoluční výpočetní techniky: principy a aplikace*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-218-3. OCLC: 320227931.
35. ŠANDERA, Čeněk. *Hybridní model metaheuristických algoritmů*. Brno, 2013. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně.
36. ROY, Rajkumar; HINDUJA, Srichand; TETI, Roberto. Recent advances in engineering design optimisation: Challenges and future trends. *CIRP Annals* [online]. 2008, vol. 57, no. 2, s. 697–715 [cit. 2020-11-02]. ISSN 00078506. Dostupné z DOI: [10.1016/j.cirp.2008.09.007](https://doi.org/10.1016/j.cirp.2008.09.007).
37. PAYA, Ignacio; YEPES, Víctor, et al. Multiobjective Optimization of Concrete Frames by Simulated Annealing. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* [online]. 2008-11, vol. 23, no. 8, s. 596–610 [cit. 2020-11-02]. ISSN 10939687, ISSN 14678667. Dostupné z DOI: [10.1111/j.1467-8667.2008.00561.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-8667.2008.00561.x).
38. ŠMILAUER, Vít. Mikromechanika cementových kompozitů. *Mikromechanika cementových kompozitů*. 2020.

39. EVINS, Ralph. A review of computational optimisation methods applied to sustainable building design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2013-06, vol. 22, s. 230–245 [cit. 2020-11-02]. ISSN 13640321. Dostupné z DOI: [10.1016/j.rser.2013.02.004](https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.004).
40. HÁJEK, Petr; FIALA, Ctislav; KYNČLOVÁ, Magdaléna. Life cycle assessments of concrete structures - a step towards environmental savings. *Structural Concrete* [online]. 2011-03, vol. 12, no. 1, s. 13–22 [cit. 2020-11-02]. ISSN 14644177. Dostupné z DOI: [10.1002/suco.201000026](https://doi.org/10.1002/suco.201000026).
41. SAKAI, Koji; SHIBATA, Toshio, et al. Sustainability design of concrete structures. *Structural Concrete* [online]. 2016-12, vol. 17, no. 6, s. 1114–1124 [cit. 2020-11-02]. ISSN 14644177. Dostupné z DOI: [10.1002/suco.201600069](https://doi.org/10.1002/suco.201600069).
42. AL-HOMOUD, Mohammad S. A Systematic Approach for the Thermal Design Optimization of Building Envelopes. *Journal of Building Physics* [online]. 2005-10, vol. 29, no. 2, s. 95–119 [cit. 2021-02-21]. ISSN 1744-2591, ISSN 1744-2583. Dostupné z DOI: [10.1177/1744259105056267](https://doi.org/10.1177/1744259105056267).
43. SHI, Xing; TIAN, Zhichao, et al. A review on building energy efficient design optimization from the perspective of architects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2016-11, vol. 65, s. 872–884 [cit. 2020-11-02]. ISSN 13640321. Dostupné z DOI: [10.1016/j.rser.2016.07.050](https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.050).
44. PAL, Sudip Kumar; TAKANO, Atsushi, et al. A multi-objective life cycle approach for optimal building design: A case study in Finnish context. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2017-02, vol. 143, s. 1021–1035 [cit. 2020-11-02]. ISSN 09596526. Dostupné z DOI: [10.1016/j.jclepro.2016.12.018](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.018).
45. SAHAB, M.G.; ASHOUR, A.F.; TOROPOV, V.V. Cost optimisation of reinforced concrete flat slab buildings. *Engineering Structures* [online]. 2005-02, vol. 27, no. 3, s. 313–322 [cit. 2020-11-02]. ISSN 01410296. Dostupné z DOI: [10.1016/j.engstruct.2004.10.002](https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2004.10.002).
46. CHRISTENSEN, Peter W.; KLARBRING, Anders. *An introduction to structural optimization*. Dordrecht: Springer, 2009. Solid mechanics and its applications, no. 153. ISBN 978-1-4020-8665-6. OCLC: 254620396.
47. BENDSØE, Martin Philip; SIGMUND, Ole. *Topology Optimization: Theory, Methods, and Applications*. 2004. ISBN: 9783662050866 OCLC: 1159708160.
48. ZAŽIREJ, Stanislav. *Optimalizace betonové konstrukce pomocí genetického algoritmu*. Praha, 2018. Diplomová práce. Fakulta stavební ČVUT v Praze.
49. ŠMILAUER, Vít. *Multiscale hierarchical modeling of hydrating concrete*. 2015. ISBN 978-1-874672-51-7.
50. ČSN EN 206+A1. *Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. ÚNMZ, 2018.
51. PYTLÍK, Petr. *Technologie betonu*. Brno: VUTIUM, 2000. ISBN 978-80-214-1647-5. OCLC: 50343487.

52. AÏTCIN, Pierre-Claude; ČESKÁ KOMORA AUTORIZOVANÝCH INŽENÝRŮ A TECHNIKŮ ČINNÝCH VE VÝSTAVBĚ; ČESKÁ BETONÁŘSKÁ SPOLEČNOST. *Vysokohodnotný beton*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) a Českou betonářskou společnost vydalo Informační centrum ČKAIT, 2005. ISBN 978-80-86769-39-4. OCLC: 85158324.
53. FENNIS, Sonja; WALRAVEN, Joost. Using particle packing technology for sustainable concrete mixture design. *Heron*, 57 (2012) 2. 2012. Dostupné také z: <http://resolver.tudelft.nl/uuid:93af1749-0b97-416a-ba27-907ae4921a7f>. ISBN: 0046-7316 Publisher: Heron Type: urn:NBN:nl:ui:24-uuid:93af1749-0b97-416a-ba27-907ae4921a7f.
54. FULLER, William B.; THOMPSON, Sanford E. The Laws of Proportioning Concrete. *Transactions of the American Society of Civil Engineers* [online]. 1907-12, vol. 59, no. 2, s. 67–143 [cit. 2021-02-26]. ISSN 0066-0604, ISSN 2690-4071. Dostupné z DOI: [10.1061/TACEAT.0001979](https://doi.org/10.1061/TACEAT.0001979).
55. DE SCHUTTER, Geert; HUBERTOŤÁ, Michala; HELA, Rudolf. *Samozhutnitelný beton*. Praha: ČBS, Česká betonářská společnost ČSSI : ČBS Servis, 2008. ISBN 978-80-87158-12-8. OCLC: 316684106.
56. GEISENHANSLÜKE, Carsten; SCHMIDT, Michael. Methods for Modelling and Calculation of High Density Packing for Cement and Fillers in UHPC. In: Kassel, 2004, s. 303–312. ISBN 3-89958-086-9.
57. STROEVEN, Piet; STROEVEN, Martijn. Assessment of packing characteristics by computer simulation. *Cement and Concrete Research* [online]. 1999-08, vol. 29, no. 8, s. 1201–1206 [cit. 2021-02-26]. ISSN 00088846. Dostupné z DOI: [10.1016/S0008-8846\(99\)00020-4](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00020-4).
58. DLUBAL SOFTWARE. *Software pro výpočty statiky stavebních konstrukcí* [online]. 2019 [cit. 2019-08-22]. Dostupné z: <https://www.dlubal.com/cs>.
59. ČSN EN 1990 ED. 2. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. ÚNMZ, 2015.
60. ČSN EN 1992-1-1 ED. 2. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. ÚNMZ, 2019.
61. ÚRS CZ A.S. *KROS 4* [software]. 2018. Dostupné také z: <https://www.urs.cz/software-a-data/kros-4-ocenovani-a-rizeni-stavebni-vyroby>.
62. ČSN EN ISO 14040. *Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Zásady a osnova*. ČNI, 2006.
63. ČSN EN ISO 14044. *Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Požadavky a směrnice*. ČNI, 2006.
64. GUINEE, J. Handbook on life cycle assessment - Operational guide to the ISO standards. *International Journal of Life Cycle Assessment*. 2001, roč. 6, č. 5, s. 255–255. ISSN 0948-3349. Dostupné z DOI: [10.1007/bf02978784](https://doi.org/10.1007/bf02978784). Number: 5.
65. ČSN EN 15804+A2. *Udržitelnost staveb - Environmentální prohlášení o produktu - Základní pravidla pro produktovou kategorii stavebních produktů*. ÚNMZ, 2020.

66. *GaBi Professional* [online]. 2019-11-27 [cit. 2019-11-27]. Dostupné z: <http://www.gabi-software.com/ce-eu-english/software/>.
67. RIVM. *LCIA: the ReCiPe model* [online]. 2018 [cit. 2021-02-18]. Dostupné z: <https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/recipe>.
68. ŽENÍŠEK, Michal; HÁJEK, Petr. Optimization of RC Structures with Regard to Amount of Embodied CO₂ Emissions. In: *Central Europe towards Sustainable Building (CESB19)*. Bristol, GB: IOP Publishing Ltd, 2019, sv. 290. IOP Conference Series:Earth and Environmental Science. Dostupné z DOI: [10.1088/1755-1315/290/1/012038](https://doi.org/10.1088/1755-1315/290/1/012038).
69. HÁJEK, Petr; FIALA, Ctislav, et al. Concrete frame system for sustainable and resilient buildings. In: *Proceedings for the 2018 fib Congress held in Melbourne*. Melbourne, 2018, s. 10.
70. ŽENÍŠEK, Michal; PEŠTA, Jan, et al. Optimization of RC Structures in Terms of Cost and Environmental Impact—Case Study. *Sustainability* [online]. 2020-10-15, vol. 12, no. 20, s. 8532 [cit. 2021-01-19]. ISSN 2071-1050. Dostupné z DOI: [10.3390/su12208532](https://doi.org/10.3390/su12208532).
71. HÁJEK, Petr; FIALA, Ctislav. Environmental design and assessment of alternatives of RC floor structures. In: Turin: Environment Park, 2007, s. 7. ISBN 978-88-7661-748-5.
72. HÁJEK, Petr; FIALA, Ctislav. Kazetové stropy pro velké rozpony - environmentální analýza. In: Hradec Králové, 2007, sv. 14, s. 6.
73. FIALA, Ctislav; HEJL, Jaroslav et al. Výstavba a statická zatěžovací zkouška experimentálního subtilního skeletu z vysokohodnotného betonu pro energeticky efektivní budovy. In: *23. Betonářské dny 2016*. Praha, CZ: ČBS - Česká betonářská společnost ČSSI, 2016.

Seznam obrázků

2.1	Globální vs. lokální extrémny funkce	20
2.2	Rozdělení optimalizačních úloh dle množiny přípustných řešení	21
2.3	Víceúrovňová povaha železobetonu	23
3.1	Postup optimalizace	29
3.2	Ukázka grafického výstupu z programu RFEM	30
3.3	Kalkulační vzorec	34
3.4	Porovnání 4 různých položek cenové soustavy ÚRS	36
3.5	Schéma hranic posuzovaného systému	37
4.1	Výstavba nosné konstrukce	41
4.2	Konstrukční schema optimalizované budovy	42
4.3	Porovnání finančních nákladů	44
4.4	Porovnání environmentálních dopadů	45
4.5	Porovnání výsledků v kategorii <i>Klimatická změna</i>	46
4.6	Porovnání výsledků v kategorii <i>Spotřeba kovů</i>	46
5.1	Výškové varianty budovy	48
5.2	Varianta s osovou vzdáleností sloupů 4 m	49
5.3	Varianta s osovou vzdáleností sloupů 8 m	49
5.4	Finanční náklady podle jednotlivých variant nosné konstrukce	54
5.5	Finanční náklady podle jednotlivých variant nosné konstrukce na m ² užitné plochy	55
5.6	Normalizované výsledky environmentálních dopadů pro osovou vzdá- lenost sloupů 4 m	57
5.7	Normalizované výsledky environmentálních dopadů pro osovou vzdá- lenost sloupů 8 m	58
5.8	Normalizované výsledky environmentálních dopadů pro osovou vzdá- lenost sloupů 4 m	59
5.9	Varianta budovy s 8 podlažími a osovou vzdáleností sloupů 8 m	60
5.10	Normalizované výsledky environmentálních dopadů pro osovou vzdá- lenost sloupů 8 m	60
5.11	Normalizované výsledky environmentálních dopadů pro osovou vzdá- lenost sloupů 8 m	62
5.12	Porovnání výsledků v kategorii <i>Klimatická změna</i> vztažených na 1 m ² užitné plochy	63

6.1	Hmotnost betonu a výztuže podle konstrukčních prvků pro variantu budovy s 12 podlažími a osovou vzdáleností sloupů 4 m	65
6.2	Hmotnost betonu a výztuže podle konstrukčních prvků pro variantu budovy s 12 podlažími a osovou vzdáleností sloupů 8 m	65
6.3	Nelineární růst ceny vysokopevnostních betonů	67

Seznam tabulek

3.1	Seznam položek pro posouzení finančních nákladů	35
3.2	Předpokládané procesy zahrnuté do hranic systému	38
3.3	Popis environmentálních indikátorů	40
4.1	Optimální rozměry nosných prvků a potřeba betonu a výztuže	43
4.2	Environmentální dopady pro jednotlivé kategorie	44
5.1	Varianta se 4 podlažími a osovou vzdáleností sloupů 4 m	50
5.2	Varianta se 4 podlažími a osovou vzdáleností sloupů 8 m	51
5.3	Varianta s 8 podlažími a osovou vzdáleností sloupů 4 m	51
5.4	Varianta s 8 podlažími a osovou vzdáleností sloupů 8 m	52
5.5	Varianta s 12 podlažími a osovou vzdáleností sloupů 4 m	52
5.6	Varianta s 12 podlažími a osovou vzdáleností sloupů 8 m	53
5.7	Celková cena budovy v mil. Kč	53
5.8	Varianta budovy se 4 podlažími a osovou vzdáleností sloupů 4 m	56
5.9	Varianta budovy se 4 podlažími a osovou vzdáleností sloupů 8 m	57
5.10	Varianta budovy s 8 podlažími a osovou vzdáleností sloupů 4 m	59
5.11	Varianta budovy s 12 podlažími a osovou vzdáleností sloupů 4 m	61
5.12	Normalizované výsledky environmentálních dopadů pro osovou vzdálenost sloupů 4 m	61
5.13	Varianta budovy s 12 podlažími a osovou vzdáleností sloupů 8 m	62
A.1	Receptury betonů a odpovídající finanční náklady (složení na m ³)	86
A.2	Environmentální dopady použitých surovin	86
A.3	Environmentální dopady pevnostních tříd betonu (na 1 m ³)	87

Publikace autora

1. ŽENÍŠEK, Michal; VLACH, Tomáš; LAIBLOVÁ, Lenka. Mletá vysokopecní granulovaná struska jako částečná náhrada pojiva vysokohodnotného betonu. In: *11. konference Speciální betony*. Praha, CZ: Sekurkon, 2014.
2. ŽENÍŠEK, Michal; VLACH, Tomáš; LAIBLOVÁ, Lenka. Ground Granulated Blast Furnace Slag as Partial Replacement of the Binder of High Performance Concrete. In: *Special Concrete and Composites 2014*. Uetikon-Zurich, CH: Trans Tech Publications, 2014. Advanced Materials Research. Dostupné z DOI: [10.4028/www.scientific.net/AMR.1054.90](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1054.90).
3. LAIBLOVÁ, Lenka; ŽENÍŠEK, Michal; FIALA, Ctislav; HÁJEK, Petr; NOVOTNÁ, Magdaléna et al. Technical Textiles as an Innovative Material for Reinforcing of Elements from High Performance Concretes (HPC). In: *Special Concrete and Composites 2014*. Uetikon-Zurich, CH: Trans Tech Publications, 2014. Advanced Materials Research. Dostupné z DOI: [10.4028/www.scientific.net/AMR.1054.110](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1054.110).
4. VLACH, Tomáš; LAIBLOVÁ, Lenka; CHIRA, Alexandru; NOVOTNÁ, M.; FIALA, Ctislav et al. Comparison of Different Methods for Determination of Modulus of Elasticity of Composite Reinforcement Produced from Roving. In: *Special Concrete and Composites 2014*. Uetikon-Zurich, CH: Trans Tech Publications, 2014. Advanced Materials Research. Dostupné z DOI: [10.4028/www.scientific.net/AMR.1054.104](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1054.104).
5. ŽENÍŠEK, Michal; VLACH, Tomáš; LAIBLOVÁ, Lenka. Možnosti zlepšení zpracovatelnosti vysokohodnotného betonu. In: *21. Betonářské dny 2014*. Praha, CZ: Česká betonářská společnost ČSSI, 2014.
6. VLACH, Tomáš; LAIBLOVÁ, Lenka; CHIRA, Alexandru; NOVOTNÁ, Magdaléna; FIALA, Ctislav et al. Porovnání různých metod stanovení modulu pružnosti kompozitní výztuže vyrobené z rovingu. In: *11. konference Speciální betony*. Praha, CZ: Sekurkon, 2014.
7. LAIBLOVÁ, Lenka; VLACH, Tomáš; ŽENÍŠEK, Michal; FIALA, Ctislav; HÁJEK, Petr et al. Technické textilie jako inovativní materiál pro vyztužování prvků z vysokohodnotných betonů (HPC). In: *11. konference Speciální betony*. Praha, CZ: Sekurkon, 2014.

8. ŽENÍŠEK, Michal; VLACH, Tomáš; LAIBLOVÁ, Lenka. Options for Improving the Workability of High Performance Concrete. In: *Proceedings from 21st Czech Concrete Day 2014*. Pfaffikon, CH: Trans Tech Publications Ltd., 2015. Advanced Materials Research. Dostupné z DOI: [10.4028/www.scientific.net/AMR.1106.53](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1106.53).
9. VLACH, Tomáš; LAIBLOVÁ, Lenka; FIALA, Ctislav; NOVOTNÁ, Magdaléna; ŽENÍŠEK, Michal et al. Eccentricity Influence on Bearing Capacity of Subtle Column Using Numerical Analysis and Experimental Verification. In: *Experimental Stress Analysis 2015*. Praha, CZ: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, 2015. první, CD-ROM - full text of papers.
10. ŽENÍŠEK, Michal; VLACH, Tomáš; LAIBLOVÁ, Lenka. Pevnost v tahu za ohybu u reaktivních jemnozrnných betonů. In: *22. Betonářské dny 2015 - Sborník příspěvků konference*. Praha, CZ: Česká betonářská společnost ČSSI, 2015. 1. vydání.
11. ŽENÍŠEK, Michal; VLACH, Tomáš; LAIBLOVÁ, Lenka. Pevnost vysokohodnotného betonu v závislosti na jeho konzistenci. In: *Juniorstav 17. odborná konference doktorského studia, fakulta stavební*. Brno: VUT v Brně, Fakulta stavební, 2015.
12. VLACH, Tomáš; LAIBLOVÁ, Lenka; ŽENÍŠEK, Michal; CHIRA, Alexandru; KUMAR, Anuj et al. The Effect of Surface Treatments of Textile Reinforcement on Mechanical Parameters of HPC Facade Elements. In: *Special Concrete and Composites 2015*. Zurich, CH: Trans Tech Publications, 2016. Key Engineering Materials. Dostupné z DOI: [10.4028/www.scientific.net/KEM.677.203](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.677.203).
13. VLACH, Tomáš; LAIBLOVÁ, Lenka; ŽENÍŠEK, Michal; CHIRA, Alexandru; KUMAR, Anuj et al. Vliv povrchových úprav textilní výztuže na mechanické vlastnosti fasádních panelů z vysokohodnotného betonu (HPC). In: *12. KONFERENCE SPECIÁLNÍ BETONY*. Praha, CZ: Sekurkon, 2015.
14. ŽENÍŠEK, Michal; VLACH, Tomáš; LAIBLOVÁ, Lenka. Dosage of Silica Fume in High Performance Concrete. In: *Special Concrete and Composites 2015*. Zurich, CH: Trans Tech Publications, 2016. Key Engineering Materials. Dostupné z DOI: [10.4028/www.scientific.net/KEM.677.98](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.677.98).
15. LAIBLOVÁ, Lenka; VLACH, Tomáš; ŽENÍŠEK, Michal. Využití technických textilií jako alternativní výztuže do subtilních fasádních panelů z vysokohodnotného betonu. In: *Symposium Energeticky efektivní budovy 2015*. Praha, CZ: Společnost pro techniku prostředí, 2015. 1. vydání.
16. ŽENÍŠEK, Michal; VLACH, Tomáš; LAIBLOVÁ, Lenka. Dávkování mikrosiliky ve vysokohodnotném betonu. In: *12. KONFERENCE SPECIÁLNÍ BETONY*. Praha, CZ: Sekurkon, 2015.
17. LAIBLOVÁ, Lenka; VLACH, Tomáš; KUMAR, Anuj; CHIRA, Alexandru; ŽENÍŠEK, Michal et al. Development of Lightweight TRC Panel for Sustainable Building Envelope. In: *Central Europe towards Sustainable Building 2016 - Innovations for Sustainable Future*. Praha, CZ: GRADA PUBLISHING, 2016. 1st edition, Prague, June 2016.

18. VLACH, Tomáš; LAIBLOVÁ, Lenka; ŽENÍŠEK, Michal; KOKEŠ, Pavel; HÁJEK, Petr. Comparison of Two Approaches for the Tensile Test of Single Roving in Polymer Matrix. In: *Experimental Stresss Analysis 2016*. Plzeň, CZ: Západočeská universita, Fakulta aplikovaných věd, 2016.
19. ŽENÍŠEK, Michal; VLACH, Tomáš; LAIBLOVÁ, Lenka. Flexural Strength of the Reactive Powder Concrete. In: *Proceedings from 22nd Czech Concrete Day 2015 (print)*. Pfaffikon, CH: Trans Tech Publications Ltd., 2016. Solid State Phenomena. Dostupné z DOI: [10.4028/www.scientific.net/SSP.249.108](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.249.108).
20. LAIBLOVÁ, Lenka; VLACH, Tomáš; ŽENÍŠEK, Michal; KUMAR, Anuj; HÁJEK, Petr. Comparison of different types of glass reinforcement for HPC façade elements from mechanical and economical aspects. In: *Special Concrete and Composites 2016*. Curich, CH: Trans Tech Publications, 2017. Key Engineering Materials. Dostupné z DOI: [10.4028/www.scientific.net/KEM.722.286](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.722.286).
21. ŽENÍŠEK, Michal; VLACH, Tomáš; LAIBLOVÁ, Lenka. Dosage of Metakaolin in High Performance Concrete. In: *Special Concrete and Composites 2016*. Curich, CH: Trans Tech Publications, 2017. Key Engineering Materials. Dostupné z DOI: [10.4028/www.scientific.net/KEM.722.311](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.722.311).
22. ŽENÍŠEK, Michal; VLACH, Tomáš; LAIBLOVÁ, Lenka. Dávkování metakaolinu ve vysokohodnotném betonu. In: *13. konference Speciální betony 2016*. Praha, CZ: Sekurkon, 2016.
23. LAIBLOVÁ, Lenka; VLACH, Tomáš; ŽENÍŠEK, Michal; KUMAR, Anuj; HÁJEK, Petr. Různé typy skleněných výztuží pro HPC fasádní prvky a jejich porovnání z mechanického a ekonomického hlediska. In: *13. konference Speciální betony 2016*. Praha, CZ: Sekurkon, 2016.
24. ŘEPKA, Jakub; VLACH, Tomáš; LAIBLOVÁ, Lenka; HÁJEK, Petr; ŽENÍŠEK, Michal et al. Vylehčené subtilní panely z textilního betonu. In: *23. Betonářské dny 2016*. Praha, CZ: ČBS - Česká betonářská společnost ČSSI, 2016.
25. FIALA, Ctislav; HEJL, Jaroslav; BÍLEK, Vlastimil; VLACH, Tomáš; ŽENÍŠEK, Michal et al. Výstavba a statická zatěžovací zkouška experimentálního subtilního skeletu z vysokohodnotného betonu pro energeticky efektivní budovy. In: *23. Betonářské dny 2016*. Praha, CZ: ČBS - Česká betonářská společnost ČSSI, 2016.
26. RŮŽIČKA, Jan; VOLF, Martin; ŽENÍŠEK, Michal; VESELKA, Jakub. *Typový podklad subtilního skeletu OSEEB pro energeticky efektivní budovy*. Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2016.
27. ŽENÍŠEK, Michal; VLACH, Tomáš; LAIBLOVÁ, Lenka. Mixing of concretes with extremely low water-cement ratio. In: *23rd Concrete Days 2016*. Curich, CH: Trans Tech Publications, 2017, sv. 259. Solid State Phenomena. Dostupné z DOI: [10.4028/www.scientific.net/SSP.259.41](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.259.41).

28. ŘEPKA, Jakub; LAIBLOVÁ, Lenka; VLACH, Tomáš; HÁJEK, Petr; KOKEŠ, Pavel et al. Thin Lightweight Panels Made of Textile Reinforced Concrete. In: *23rd Concrete Days 2016*. Curich, CH: Trans Tech Publications, 2017, sv. 259. Solid State Phenomena. Dostupné z DOI: [10.4028/www.scientific.net/SSP.259.238](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.259.238).
29. BOUŠKA, Petr; HÁJEK, Petr; VLACH, Tomáš; LAIBLOVÁ, Lenka; BITTNER, Tomáš et al. *Advanced Research of UHPC Matrix for Ultra-Thin Elements with Non-Conventional Reinforcement*. 1. vyd. Department of Building Structures, Faculty of Civil Engineering, CTU in Prague, 2017.
30. VLACH, Tomáš; LAIBLOVÁ, Lenka; ŘEPKA, Jakub; ŽENÍŠEK, Michal; HÁJEK, Petr. Influence of Penetrated Roving Surface Treatment on the Crack Width Using Pull-Out Test. In: *55th Conference on Experimental Stress Analysis 2017*. Košice, SK: Technical University of Kosice, 2017.
31. FIALA, Ctislav; HEJL, Jaroslav; BÍLEK, Vlastimil; VLACH, Tomáš; ŽENÍŠEK, Michal et al. Construction and static loading tests of experimental subtle frame from high performance concrete for energy efficient buildings. In: *23rd Concrete Days 2016*. Curich, CH: Trans Tech Publications, 2017, sv. 259. Solid State Phenomena. Dostupné z DOI: [10.4028/www.scientific.net/SSP.259.275](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.259.275).
32. LAIBLOVÁ, Lenka; VLACH, Tomáš; ŘEPKA, Jakub; ŽENÍŠEK, Michal; HÁJEK, Petr. Vylehčené TRC fasádní panely s LED diodami. In: *14. konference Speciální betony 2017*. Praha, CZ: Sekurkon, 2017.
33. VLACH, Tomáš; LAIBLOVÁ, Lenka; ŘEPKA, Jakub; ŽENÍŠEK, Michal; HÁJEK, Petr. Měkká vložka použita pro modelování podpory slabě vyztuženého textilního betonu. In: *14. konference Speciální betony 2017*. Praha, CZ: Sekurkon, 2017.
34. ŘEPKA, Jakub; VLACH, Tomáš; LAIBLOVÁ, Lenka; PAVLŮ, Tereza; ŽENÍŠEK, Michal et al. Hodnocení účinnosti povrchových úprav betonu. In: *24. Betonářské dny 2017 - Sborník příspěvků*. Praha, CZ: ČBS - Česká betonářská společnost ČSSI, 2017.
35. LAIBLOVÁ, Lenka; VLACH, Tomáš; ŽENÍŠEK, Michal; ŘEPKA, Jakub; HÁJEK, Petr. Lightweight TRC Facade Panels with the LEDs. In: *Special Concrete and Composites 2017*. Zürich, CH: Transtech Publications, 2018, sv. 760. Key Engineering Materials. Dostupné z DOI: [10.4028/www.scientific.net/KEM.760.141](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.760.141).
36. ŽENÍŠEK, Michal; VLACH, Tomáš; LAIBLOVÁ, Lenka. Aggregate Segregation of Ultra-High Performance Concrete. In: *Special Concrete and Composites 2017*. Zürich, CH: Transtech Publications, 2018, sv. 760. Key Engineering Materials. Dostupné z DOI: [10.4028/www.scientific.net/KEM.760.164](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.760.164).
37. ŽENÍŠEK, Michal; VLACH, Tomáš; ŘEPKA, Jakub; PAVLŮ, Tereza. Segregace ocelových vláken UHPFRC. In: *24. Betonářské dny 2017 - Sborník příspěvků*. Praha, CZ: ČBS - Česká betonářská společnost ČSSI, 2017.

38. VLACH, Tomáš; LAIBLOVÁ, Lenka; ŽENÍŠEK, Michal; ŘEPKA, Jakub; HÁJEK, Petr. Soft Insert for Support Modeling of Slightly Textile Reinforced Concrete. In: *Special Concrete and Composites 2017*. Zürich, CH: Transtech Publications, 2018, sv. 760. Key Engineering Materials.
39. ŽENÍŠEK, Michal; VLACH, Tomáš; ŘEPKA, Jakub; PAVLŮ, Tereza. Segregation of Steel Fibres of UHPFRC. In: *24th Concrete Days 2017*. Curich, CH: Trans Tech Publications, 2018, sv. 272. Solid State Phenomena. Dostupné z DOI: [10.4028/www.scientific.net/SSP.272.166](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.272.166).
40. ŘEPKA, Jakub; VLACH, Tomáš; LAIBLOVÁ, Lenka; PAVLŮ, Tereza; ŽENÍŠEK, Michal et al. Efficiency Evaluation of Concrete Surface Treatment. In: *24th Concrete Days 2017*. Curich, CH: Trans Tech Publications, 2018, sv. 272. Solid State Phenomena. Dostupné z DOI: [10.4028/www.scientific.net/SSP.272.9](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.272.9).
41. ŽENÍŠEK, Michal; HÁJEK, Petr. Optimization of RC Structures with Regard to Amount of Embodied CO2 Emissions. In: *Central Europe towards Sustainable Building (CESB19)*. Bristol, GB: IOP Publishing Ltd, 2019, sv. 290. IOP Conference Series:Earth and Environmental Science. Dostupné z DOI: [10.1088/1755-1315/290/1/012038](https://doi.org/10.1088/1755-1315/290/1/012038).
42. ŽENÍŠEK, Michal; VODIČKA, Aleš; VLACH, Tomáš; LAIBLOVÁ, Lenka; HÁJEK, Petr. Lightweight UHPC Facade Panel with Led Display. In: *SPECIAL CONCRETE AND COMPOSITES 2018*. Praha, CZ: České vysoké učení technické v Praze, 2019, sv. 22. ACTA POLYTECHNICA CTU PROCEEDINGS. Dostupné z DOI: [10.14311/APP.2019.22.0145](https://doi.org/10.14311/APP.2019.22.0145).
43. ŽENÍŠEK, Michal; PAVLŮ, Tereza; FOŘTOVÁ, Kristina; PAZDERKA, Jiří. Využití betonového odprachu jako částečné náhrady cementu. In: *Sborník příspěvků 16. KONFERENCE SPECIÁLNÍ BETONY*. Ostrava - Zábřeh, CZ: SEKURKON, 2019.
44. ŽENÍŠEK, Michal; PAVLŮ, Tereza; FOŘTOVÁ, Kristina; PAZDERKA, Jiří. Use of Concrete Dust as a Partial Cement Replacement. In: *SPECIAL CONCRETE AND COMPOSITES 2019: 16th International Conference*. New York, US: AIP Conference Proceedings, 2020, sv. 2210. AIP Conference Proceedings. Dostupné z DOI: [10.1063/5.0000432](https://doi.org/10.1063/5.0000432).
45. PAZDERKA, Jiří; ŽENÍŠEK, Michal; PAVLŮ, Tereza; REITERMAN, Pavel; HOLČAPEK, Ondřej. Remediation Technology of Cloche Replacement for WW2 Fortification in the Czech Republic. *The Civil Engineering Journal*. 2020-04, roč. 0, č. 1. Dostupné z DOI: [10.14311/CEJ.2020.01.0008](https://doi.org/10.14311/CEJ.2020.01.0008).
46. PEŠTA, Jan; ŽENÍŠEK, Michal; KOČÍ, Vladimír; PAVLŮ, Tereza. Recyklovaný cementový prach jako náhrada cementu z hlediska environmentálních dopadů. In: *17. KONFERENCE SPECIÁLNÍ BETONY - BETONY V EXTRÉMNÍCH PODMÍNKÁCH VYSOKOHODNOTNÉ BETONY OSTATNÍ SPECIÁLNÍ BETONY*. Ostrava - Zábřeh, CZ: SEKURKON, 2020.

-
47. ŽENÍŠEK, Michal; PEŠTA, Jan; TIPKA, Martin; KOČÍ, Vladimír; HÁJEK, Petr. Optimization of RC Structures in Terms of Cost and Environmental Impact—Case Study. *Sustainability* [online]. 2020-10-15, vol. 12, no. 20, s. 8532 [cit. 2021-01-19]. ISSN 2071-1050. Dostupné z DOI: [10.3390/su12208532](https://doi.org/10.3390/su12208532).

Příloha A

Podklady k případovým studiím

Tabulka A.1: Receptury betonů a odpovídající finanční náklady (složení na m³)

Materiál	Obyčejné betony							Vysokopevnostní betony		
	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60	C60/75	C70/85	C80/95
CEM I 42,5 R	-	-	-	390	420	450	470	500	530	560
CEM II 32,5 R	340	370	410	-	-	-	-	-	-	-
Písek 0/4	871	853	826	892	877	863	855	837	811	772
Štěrka 4/8	361	353	342	369	363	357	354	347	336	320
Štěrka 8/16	511	500	484	523	514	506	501	491	475	453
Křemičité úlety	-	-	-	-	-	-	-	-	15	40
Superplastifikátory	-	-	1	2	3	4	5	8	12	16
Voda	211	215	221	179	181	180	179	180	180	185
Součet	2 294	2 291	2 284	2 356	2 357	2 361	2 365	2 362	2 358	2 346
v/c	0,62	0,58	0,54	0,46	0,43	0,4	0,38	0,36	0,34	0,33
Cena [Kč]	1 880	1 970	2 170	2 390	2 580	2 780	2 940	3 840	5 100	6 840

Tabulka A.2: Environmentální dopady použitých surovin

Materiál		GWP	FDP	MDP	TAP	FEP	ODP	PMFP	POFP
		CO ₂ ekv.	kg ropy ekv.	kg Fe ekv.	kg SO ₂ ekv.	kg P ekv.	kg CFC-11 ekv.	kg PM ₁₀ ekv.	kg NMVOC ekv.
CEM I 42,5 R	kg	0,833338	0,043818	0,009445	0,00060040	378×10^{-9}	$3,3297 \times 10^{-15}$	0,0004404	0,00085012
CEM II 32,5 R	kg	0,664145	0,037436	0,007427	0,00048879	301×10^{-9}	$2,6094 \times 10^{-15}$	0,0003892	0,00069103
Písek 0/2	kg	0,00258	0,000730	0,000026	0,00000454	$9,39 \times 10^{-9}$	$0,0525 \times 10^{-15}$	0,0000203	0,00000511
Štěrka 2/32	kg	0,00264	0,000737	0,000028	0,00000472	$16,4 \times 10^{-9}$	$1,94 \times 10^{-15}$	0,0000204	0,00000536
Mikrosilika	kg	0	0	0	0	0	0	0	0
Superplastifikátory	kg	1,14	0,598	0,0927	0,00317	386×10^{-6}	62×10^{-9}	0,0011	0,00264
Voda	kg	0	0	0	0	0	0	0	0
Ocelová výztuž	kg	0,5	0,141	0,609	0,00128	$1,15 \times 10^{-6}$	$8,16 \times 10^{-15}$	0,000409	0,00122
Nákladní doprava	tkm	0,059	0,0191	0,000027	0,0000482	$0,29 \times 10^{-6}$	$9,79 \times 10^{-18}$	0,0000201	0,0000646
Elektrická energie	kWh	0,684	0,162	0,00286	0,00159	$1,76 \times 10^{-6}$	$10,5 \times 10^{-15}$	0,00047	0,00115
Nafta	litr	2,93	0,954	0,00169	0,0315	$14,6 \times 10^{-6}$	$0,736 \times 10^{-15}$	0,0178	0,0552
Normalizační data		6890	1290	445	38,2	0,29	0,0376	14,1	48,9
Váhové faktory		9,3	7	6,4	6,1	6,6	6,2	6,6	6,5

Tabulka A.3: Environmentální dopady pevnostních tříd betonu (na 1 m³)

Beton		GWP	FDP	MDP	TAP	FEP	ODP	PMFP	POFP
		kg CO ₂ ekv.	kg ropy ekv.	kg Fe ekv.	kg SO ₂ ekv.	kg P ekv.	kg CFC-11 ekv.	kg PM ₁₀ ekv.	kg NMVOC ekv.
C20/25		230,4	14,0	2,6	0,17	125 × 10 ⁻⁶	2,62 × 10 ⁻¹²	0,17	0,24
C25/30		250,2	15,1	2,8	0,19	133 × 10 ⁻⁶	2,67 × 10 ⁻¹²	0,18	0,26
C30/37		277,8	17,2	3,2	0,21	531 × 10 ⁻⁶	62,0 × 10 ⁻⁹	0,19	0,29
C35/45		331,9	19,6	3,9	0,25	942 × 10 ⁻⁶	124 × 10 ⁻⁹	0,21	0,35
C40/50		358,0	21,5	4,3	0,27	1,34 × 10 ⁻³	186 × 10 ⁻⁹	0,22	0,37
C45/55		384,1	23,4	4,7	0,29	1,74 × 10 ⁻³	248 × 10 ⁻⁹	0,24	0,40
C50/60		401,8	24,8	4,9	0,31	2,13 × 10 ⁻³	310 × 10 ⁻⁹	0,25	0,42
C60/75		430,2	27,9	5,5	0,33	3,30 × 10 ⁻³	496 × 10 ⁻⁹	0,26	0,45
C70/85		459,6	31,6	6,2	0,36	4,85 × 10 ⁻³	744 × 10 ⁻⁹	0,28	0,49
C80/95		488,9	35,2	6,8	0,39	6,41 × 10 ⁻³	992 × 10 ⁻⁹	0,30	0,53
Míchání betonu	m ³	0,50155	0,11879	0,00210	0,00117	1,29 × 10 ⁻⁶	7,70 × 10 ⁻¹⁵	0,00034	0,00084
Doprava betonu	m ³	1,35700	0,87860	0,00124	0,00222	13,4 × 10 ⁻⁶	0,45 × 10 ⁻¹⁵	0,00092	0,00297
Čerpání betonu	m ³	2,05100	0,66780	0,00118	0,02205	10,2 × 10 ⁻⁶	0,52 × 10 ⁻¹⁵	0,01246	0,03864
Ukládání betonu	m ³	0,12825	0,03038	0,00054	0,00030	330 × 10 ⁻⁹	1,97 × 10 ⁻¹⁵	0,00009	0,00022
Ocelová výztuž									
Výztuž B500B	t	500	141	609	1,28	1,15E-03	8,16E-12	0,409	1,22
Doprava výztuže	t	1,180000	0,382000	0,000540	0,000964	5,84E-06	1,96E-16	0,0004020	0,0012920
Použití jeřábu	t	0,502740	0,119070	0,002102	0,001169	1,29E-06	7,72E-15	0,0003455	0,0008453
Bednění									
Použití jeřábu	m ²	0,646380	0,153090	0,002703	0,001503	1,66 × 10 ⁻⁶	9,92 × 10 ⁻¹⁵	0,0004442	0,0010868
Doprava bednění	m ²	0,053100	0,017190	0,000024	0,000043	263 × 10 ⁻⁹	8,81 × 10 ⁻¹⁸	0,0000181	0,0000581

Poznámka:

Dopady energetických procesů byly stanoveny podle výkonu strojů převzaté z databáze ÚRS:

Míchání betonu: Kontinuální míchačka o objemu 2,5 m³ s motorem o příkonu 55 kW, uvažováno s průměrnou dobou míchání 120 s na jednu záměs (dávkování složek, míchání, vyprazdňování)

Doprava betonu: Domíchávač betonu o objemu 9 m³

Čerpání betonu: Čerpadlo betonových směsí na automobilovém podvozku výkon 170 m³/h dosah 47 m

Ukládání betonu: Ponorný vibrátor s hlavicí D 50 s příkonem 0,75 kW (0,25 Nh na m³ betonu)

Doprava výztuže: Jeřáb věžový stabilní 21 kW (0,035 Sh na tunu výztuže)

Doprava bednění: Jeřáb věžový stabilní 21 kW (0,045 Sh na m² bednění)

Příloha B

Rozbory směrných cen

Příloha uvádí směrné ceny, které byly použity k posouzení finančních nákladů v první i druhé případové studii. Jedná se o data společnosti ÚRS za II. pololetí roku 2018, která byla získána ze stavebního softwaru KROS 4.

V uvedených rozbořech byla cena materiálů (beton, výztuž) nahrazena vlastními cenami. V případě betonu byla cena stanovena kalkulací podle jednotlivých surovin dle receptur - viz [Tabulka A.1](#), v případě výztuže byla uvažována jednotná cena 21 000 Kč/t.

Rozbor ceny			
Položka	273321611	Základové desky ze ŽB bez zvýšených nároků na prostředí tř. C30/37	
TOV	0	MJ	m ³
H	Přímý materiál		2335,00
NC	z toho nákupní cena		2170,00
D	z toho doprava		165,00
M	Mzdové náklady		102,46
P	z toho přímé mzdy		76,47
O	odvody	34,0 % z mezd	26,00
S	Stroje		6,43
T	Ostatní přímé náklady		0,00
SUB	Poddodávky		0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady		108,90
	Přímé náklady	[H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	3 072,18
R1	Výrobní režie	36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	39,20
R2	Správní režie	20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	21,78
R3		0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady	[R1] + [R2] + [R3]	60,98
	Náklady celkem	[H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	3 133,16
Z	Zisk	12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	20,39
R4		0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady		0,00
	Celkem	[H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	2 525,26
	Jednotková cena		2 525,26
	Hmotnost		2,45329
	Normohodiny		0,629

Rozbor ceny

Položka	273361821	Výztuž základových desek betonářskou ocelí 10 505 (R)	
TOV	0		MJ t
H	Přímý materiál		22900,00
NC	z toho nákupní cena		21000,00
D	z toho doprava		1900,00
M	Mzdové náklady		5877,01
P	z toho přímé mzdy		4385,83
O	odvody	34,0 % z mezd	1491,18
S	Stroje		2213,45
T	Ostatní přímé náklady		0,00
SUB	Poddodávky		0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady		8 090,47
	Přímé náklady	[H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	32 371,60
R1	Výrobní režie	36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	2912,57
R2	Správní režie	20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	1618,09
R3		0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady	[R1] + [R2] + [R3]	4 530,66
	Náklady celkem	[H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	36 902,26
Z	Zisk	12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	1514,54
R4		0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady		0,00
	Celkem	[H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	37 035,66
	Jednotková cena		37 035,66
	Hmotnost		1,06017
	Normohodiny		32,821

Rozbor ceny

Položka	275321611	Základové patky ze ŽB bez zvýšených nároků na prostředí tř. C30/37	
TOV	0		MJ m ³
H	Přímý materiál		2335,00
NC	z toho nákupní cena		2170,00
D	z toho doprava		165,00
M	Mzdové náklady		102,46
P	z toho přímé mzdy		76,47
O	odvody	34,0 % z mezd	26,00
S	Stroje		6,43
T	Ostatní přímé náklady		0,00
SUB	Poddodávky		0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady		108,90
	Přímé náklady	[H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	3 072,18
R1	Výrobní režie	36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	39,20
R2	Správní režie	20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	21,78
R3		0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady	[R1] + [R2] + [R3]	60,98
	Náklady celkem	[H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	3 133,16
Z	Zisk	12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	20,39
R4		0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady		0,00
	Celkem	[H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	2 525,26
	Jednotková cena		2 525,26
	Hmotnost		2,45329
	Normohodiny		0,629

Rozbor ceny

Položka 275361821

Výztuž základových patek betonářskou ocelí 10 505 (R)

TOV 0

MJ

t

H	Přímý materiál		22900,00
NC	z toho nákupní cena		21000,00
D	z toho doprava		1900,00
M	Mzdové náklady		5877,01
P	z toho přímé mzdy		4385,83
O	odvody	34,0 % z mezd	1491,18
S	Stroje		2213,45
T	Ostatní přímé náklady		0,00
SUB	Poddodávky		0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady		8 090,47
	Přímé náklady	[H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	32 371,60
R1	Výrobní režie	36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	2912,57
R2	Správní režie	20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	1618,09
R3		0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady	[R1] + [R2] + [R3]	4 530,66
	Náklady celkem	[H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	36 902,26
Z	Zisk	12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	1514,54
R4		0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady		0,00
	Celkem	[H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	37 035,66
	Jednotková cena		37 035,66
	Hmotnost		1,06017
	Normohodiny		32,821

Rozbor ceny

Položka 330321510

Sloupy nebo pilíře ze ŽB tř. C20/25 bez výztuže

TOV 0

MJ

m³

H	Přímý materiál		2045,00
NC	z toho nákupní cena		1880,00
D	z toho doprava		165,00
M	Mzdové náklady		411,22
P	z toho přímé mzdy		306,88
O	odvody	34,0 % z mezd	104,34
S	Stroje		16,08
T	Ostatní přímé náklady		0,00
SUB	Poddodávky		0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady		427,30
	Přímé náklady	[H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	3 001,10
R1	Výrobní režie	36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	153,83
R2	Správní režie	20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	85,46
R3		0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady	[R1] + [R2] + [R3]	239,29
	Náklady celkem	[H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	3 240,39
Z	Zisk	12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	79,99
R4		0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady		0,00
	Celkem	[H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	2 791,58
	Jednotková cena		2 791,58
	Hmotnost		2,45329
	Normohodiny		2,591

Rozbor ceny

Položka	330321410	Sloupy nebo pilíře ze ŽB tř. C25/30 bez výztuže
TOV	0	MJ m ³
H	Přímý materiál	2135,00
NC	z toho nákupní cena	1970,00
D	z toho doprava	165,00
M	Mzdové náklady	411,22
P	z toho přímé mzdy	306,88
O	odvody 34,0 % z mezd	104,34
S	Stroje	16,08
T	Ostatní přímé náklady	0,00
SUB	Poddodávky	0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady	427,30
	Přímé náklady [H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	3 102,10
R1	Výrobní režie 36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	153,83
R2	Správní režie 20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	85,46
R3	0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady [R1] + [R2] + [R3]	239,29
	Náklady celkem [H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	3 341,39
Z	Zisk 12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	79,99
R4	0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady	0,00
	Celkem [H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	2 881,58
	Jednotková cena	2 881,58
	Hmotnost	2,45329
	Normohodiny	2,591

Rozbor ceny

Položka	330321610	Sloupy nebo pilíře ze ŽB tř. C30/37 bez výztuže
TOV	0	MJ m ³
H	Přímý materiál	2335,00
NC	z toho nákupní cena	2170,00
D	z toho doprava	165,00
M	Mzdové náklady	411,22
P	z toho přímé mzdy	306,88
O	odvody 34,0 % z mezd	104,34
S	Stroje	16,08
T	Ostatní přímé náklady	0,00
SUB	Poddodávky	0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady	427,30
	Přímé náklady [H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	3 415,20
R1	Výrobní režie 36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	153,83
R2	Správní režie 20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	85,46
R3	0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady [R1] + [R2] + [R3]	239,29
	Náklady celkem [H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	3 654,49
Z	Zisk 12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	79,99
R4	0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady	0,00
	Celkem [H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	3 081,58
	Jednotková cena	3 081,58
	Hmotnost	2,45329
	Normohodiny	2,591

Rozbor ceny

Položka 330321710

Sloupy nebo pilíře ze ŽB tř. C35/45 bez výztuže

TOV 0

MJ m³

H	Přímý materiál		2555,00
NC	z toho nákupní cena		2390,00
D	z toho doprava		165,00
M	Mzdové náklady		411,22
P	z toho přímé mzdy		306,88
O	odvody	34,0 % z mezd	104,34
S	Stroje		16,08
T	Ostatní přímé náklady		0,00
SUB	Poddodávky		0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady		427,30
	Přímé náklady	[H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	3 576,80
R1	Výrobní režie	36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	153,83
R2	Správní režie	20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	85,46
R3		0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady	[R1] + [R2] + [R3]	239,29
	Náklady celkem	[H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	3 816,09
Z	Zisk	12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	79,99
R4		0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady		0,00
	Celkem	[H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	3 301,58
	Jednotková cena		3 301,58
	Hmotnost		2,45329
	Normohodiny		2,591

Rozbor ceny

Položka 330321810

Sloupy nebo pilíře ze ŽB tř. C40/50 bez výztuže

TOV 0

MJ m³

H	Přímý materiál		2745,00
NC	z toho nákupní cena		2580,00
D	z toho doprava		165,00
M	Mzdové náklady		411,22
P	z toho přímé mzdy		306,88
O	odvody	34,0 % z mezd	104,34
S	Stroje		16,08
T	Ostatní přímé náklady		0,00
SUB	Poddodávky		0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady		427,30
	Přímé náklady	[H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	3 778,80
R1	Výrobní režie	36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	153,83
R2	Správní režie	20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	85,46
R3		0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady	[R1] + [R2] + [R3]	239,29
	Náklady celkem	[H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	4 018,09
Z	Zisk	12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	79,99
R4		0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady		0,00
	Celkem	[H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	3 491,58
	Jednotková cena		3 491,58
	Hmotnost		2,45329
	Normohodiny		2,591

Rozbor ceny

Položka	331351121	Zřízení bednění čtyřúhelníkových sloupů v do 4 m průřezu do 0,16 m ²
TOV	0	MJ m ²
H	Přímý materiál	463,93
NC	z toho nákupní cena	455,88
D	z toho doprava	8,05
M	Mzdové náklady	91,26
P	z toho přímé mzdy	68,10
O	odvody 34,0 % z mezd	23,15
S	Stroje	15,80
T	Ostatní přímé náklady	9,94
SUB	Poddodávky	0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady	117,00
	Přímé náklady [H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	580,93
R1	Výrobní režie 36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	42,12
R2	Správní režie 20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	23,40
R3	0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady [R1] + [R2] + [R3]	65,52
	Náklady celkem [H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	646,44
Z	Zisk 12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	21,90
R4	0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady	0,00
	Celkem [H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	668,35
	Jednotková cena	668,35
	Hmotnost	0,00244
	Normohodiny	0,557

Rozbor ceny

Položka	331351122	Odstranění bednění čtyřúhelníkových sloupů v do 4 m průřezu do 0,16 m ²
TOV	0	MJ m ²
H	Přímý materiál	0,00
NC	z toho nákupní cena	0,00
D	z toho doprava	0,00
M	Mzdové náklady	37,65
P	z toho přímé mzdy	28,09
O	odvody 34,0 % z mezd	9,55
S	Stroje	28,44
T	Ostatní přímé náklady	6,96
SUB	Poddodávky	0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady	73,05
	Přímé náklady [H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	73,05
R1	Výrobní režie 36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	26,30
R2	Správní režie 20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	14,61
R3	0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady [R1] + [R2] + [R3]	40,91
	Náklady celkem [H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	113,95
Z	Zisk 12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	13,67
R4	0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady	0,00
	Celkem [H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	127,63
	Jednotková cena	127,63
	Hmotnost	0,00000
	Normohodiny	0,218

Rozbor ceny

Položka 331351125

Zřízení bednění čtyřúhelníkových sloupů v do 4 m průřezu do 0,36 m²

TOV 0

MJ m²

H	Přímý materiál		312,59
NC	z toho nákupní cena		304,59
D	z toho doprava		8,00
M	Mzdové náklady		71,05
P	z toho přímé mzdy		53,02
O	odvody	34,0 % z mezd	18,03
S	Stroje		10,27
T	Ostatní přímé náklady		6,46
SUB	Poddodávky		0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady		87,78
	Přímé náklady	[H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	400,36
R1	Výrobní režie	36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	31,60
R2	Správní režie	20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	17,56
R3		0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady	[R1] + [R2] + [R3]	49,15
	Náklady celkem	[H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	449,52
Z	Zisk	12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	16,43
R4		0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady		0,00
	Celkem	[H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	465,95
	Jednotková cena		465,95
	Hmotnost		0,00220
	Normohodiny		0,436

Rozbor ceny

Položka 331351126

Odstranění bednění čtyřúhelníkových sloupů v do 4 m průřezu do 0,36 m²

TOV 0

MJ m²

H	Přímý materiál		0,00
NC	z toho nákupní cena		0,00
D	z toho doprava		0,00
M	Mzdové náklady		34,84
P	z toho přímé mzdy		26,00
O	odvody	34,0 % z mezd	8,84
S	Stroje		25,28
T	Ostatní přímé náklady		4,47
SUB	Poddodávky		0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady		64,59
	Přímé náklady	[H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	64,59
R1	Výrobní režie	36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	23,25
R2	Správní režie	20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	12,92
R3		0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady	[R1] + [R2] + [R3]	36,17
	Náklady celkem	[H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	100,76
Z	Zisk	12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	12,09
R4		0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady		0,00
	Celkem	[H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	112,85
	Jednotková cena		112,85
	Hmotnost		0,00000
	Normohodiny		0,202

Rozbor ceny

Položka	331361821	Výztuž sloupů hranatých betonářskou ocelí 10 505	
TOV	0		MJ t
H	Přímý materiál		22900,00
NC	z toho nákupní cena		21000,00
D	z toho doprava		1900,00
M	Mzdové náklady		6792,79
P	z toho přímé mzdy		5069,25
O	odvody	34,0 % z mezd	1723,54
S	Stroje		2252,99
T	Ostatní přímé náklady		0,00
SUB	Poddodávky		0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady		9 045,78
	Přímé náklady	[H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	32 170,14
R1	Výrobní režie	36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	3256,48
R2	Správní režie	20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	1809,16
R3		0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady	[R1] + [R2] + [R3]	5 065,64
	Náklady celkem	[H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	37 235,78
Z	Zisk	12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	1693,37
R4		0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady		0,00
	Celkem	[H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	38 704,79
	Jednotková cena		38 704,79
	Hmotnost		1,05197
	Normohodiny		38,222

Rozbor ceny

Položka	341321510	Stěny nosné ze ŽB tř. C20/25	
TOV	0		MJ m ³
H	Přímý materiál		2045,00
NC	z toho nákupní cena		1880,00
D	z toho doprava		165,00
M	Mzdové náklady		253,10
P	z toho přímé mzdy		188,88
O	odvody	34,0 % z mezd	64,22
S	Stroje		13,40
T	Ostatní přímé náklady		0,00
SUB	Poddodávky		0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady		266,50
	Přímé náklady	[H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	2 846,34
R1	Výrobní režie	36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	95,94
R2	Správní režie	20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	53,30
R3		0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady	[R1] + [R2] + [R3]	149,24
	Náklady celkem	[H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	2 995,58
Z	Zisk	12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	49,89
R4		0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady		0,00
	Celkem	[H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	2 510,63
	Jednotková cena		2 510,63
	Hmotnost		2,45330
	Normohodiny		1,593

Rozbor ceny

Položka 341321410

Stěny nosné ze ŽB tř. C25/30

TOV 0

MJ m³

H	Přímý materiál		2135,00
NC	z toho nákupní cena		1970,00
D	z toho doprava		165,00
M	Mzdové náklady		253,10
P	z toho přímé mzdy		188,88
O	odvody	34,0 % z mezd	64,22
S	Stroje		13,40
T	Ostatní přímé náklady		0,00
SUB	Poddodávky		0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady		266,50
	Přímé náklady	[H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	2 947,34
R1	Výrobní režie	36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	95,94
R2	Správní režie	20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	53,30
R3		0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady	[R1] + [R2] + [R3]	149,24
	Náklady celkem	[H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	3 096,58
Z	Zisk	12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	49,89
R4		0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady		0,00
	Celkem	[H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	2 600,63
	Jednotková cena		2 600,63
	Hmotnost		2,45330
	Normohodiny		1,593

Rozbor ceny

Položka 341321610

Stěny nosné ze ŽB tř. C30/37

TOV 0

MJ m³

H	Přímý materiál		2335,00
NC	z toho nákupní cena		2170,00
D	z toho doprava		165,00
M	Mzdové náklady		253,10
P	z toho přímé mzdy		188,88
O	odvody	34,0 % z mezd	64,22
S	Stroje		13,40
T	Ostatní přímé náklady		0,00
SUB	Poddodávky		0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady		266,50
	Přímé náklady	[H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	3 260,44
R1	Výrobní režie	36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	95,94
R2	Správní režie	20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	53,30
R3		0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady	[R1] + [R2] + [R3]	149,24
	Náklady celkem	[H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	3 409,68
Z	Zisk	12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	49,89
R4		0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady		0,00
	Celkem	[H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	2 800,63
	Jednotková cena		2 800,63
	Hmotnost		2,45330
	Normohodiny		1,593

Rozbor ceny

Položka	341321710	Stěny nosné ze ŽB tř. C35/45	
TOV	0		MJ m ³
H	Přímý materiál		2555,00
NC	z toho nákupní cena		2390,00
D	z toho doprava		165,00
M	Mzdové náklady		253,10
P	z toho přímé mzdy		188,88
O	odvody	34,0 % z mezd	64,22
S	Stroje		13,40
T	Ostatní přímé náklady		0,00
SUB	Poddodávky		0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady		266,50
	Přímé náklady	[H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	3 422,04
R1	Výrobní režie	36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	95,94
R2	Správní režie	20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	53,30
R3		0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady	[R1] + [R2] + [R3]	149,24
	Náklady celkem	[H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	3 571,28
Z	Zisk	12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	49,89
R4		0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady		0,00
	Celkem	[H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	3 020,63
	Jednotková cena		3 020,63
	Hmotnost		2,45330
	Normohodiny		1,593

Rozbor ceny

Položka	341321810	Stěny nosné ze ŽB tř. C40/50	
TOV	0		MJ m ³
H	Přímý materiál		2745,00
NC	z toho nákupní cena		2580,00
D	z toho doprava		165,00
M	Mzdové náklady		253,10
P	z toho přímé mzdy		188,88
O	odvody	34,0 % z mezd	64,22
S	Stroje		13,40
T	Ostatní přímé náklady		0,00
SUB	Poddodávky		0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady		266,50
	Přímé náklady	[H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	3 624,04
R1	Výrobní režie	36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	95,94
R2	Správní režie	20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	53,30
R3		0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady	[R1] + [R2] + [R3]	149,24
	Náklady celkem	[H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	3 773,28
Z	Zisk	12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	49,89
R4		0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady		0,00
	Celkem	[H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	3 210,63
	Jednotková cena		3 210,63
	Hmotnost		2,45330
	Normohodiny		1,593

Rozbor ceny

Položka 341351111

Zřízení oboustranného bednění nosných stěn

TOV 0

MJ m²

H	Přímý materiál		165,39
NC	z toho nákupní cena		158,59
D	z toho doprava		6,80
M	Mzdové náklady		89,92
P	z toho přímé mzdy		67,10
O	odvody	34,0 % z mezd	22,82
S	Stroje		26,07
T	Ostatní přímé náklady		8,46
SUB	Poddodávky		0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady		124,45
	Přímé náklady	[H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	289,84
R1	Výrobní režie	36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	44,80
R2	Správní režie	20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	24,89
R3		0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady	[R1] + [R2] + [R3]	69,69
	Náklady celkem	[H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	359,53
Z	Zisk	12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	23,30
R4		0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady		0,00
	Celkem	[H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	382,83
	Jednotková cena		382,83
	Hmotnost		0,00275
	Normohodiny		0,538

Rozbor ceny

Položka 341351112

Odstranění oboustranného bednění nosných stěn

TOV 0

MJ m²

H	Přímý materiál		0,00
NC	z toho nákupní cena		0,00
D	z toho doprava		0,00
M	Mzdové náklady		30,35
P	z toho přímé mzdy		22,65
O	odvody	34,0 % z mezd	7,70
S	Stroje		22,12
T	Ostatní přímé náklady		6,96
SUB	Poddodávky		0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady		59,43
	Přímé náklady	[H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	59,43
R1	Výrobní režie	36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	21,39
R2	Správní režie	20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	11,89
R3		0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady	[R1] + [R2] + [R3]	33,28
	Náklady celkem	[H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	92,71
Z	Zisk	12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	11,12
R4		0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady		0,00
	Celkem	[H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	103,83
	Jednotková cena		103,83
	Hmotnost		0,00000
	Normohodiny		0,176

Rozbor ceny

Položka	341361821	Výztuž stěn betonářskou ocelí 10 505	
TOV	0		MJ t
H	Přímý materiál		22900,00
NC	z toho nákupní cena		21000,00
D	z toho doprava		1900,00
M	Mzdové náklady		7375,38
P	z toho přímé mzdy		5504,01
O	odvody	34,0 % z mezd	1871,36
S	Stroje		3306,27
T	Ostatní přímé náklady		0,00
SUB	Poddodávky		0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady		10 681,64
	Přímé náklady	[H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	34 235,45
R1	Výrobní režie	36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	3845,39
R2	Správní režie	20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	2136,33
R3		0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady	[R1] + [R2] + [R3]	5 981,72
	Náklady celkem	[H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	40 217,17
Z	Zisk	12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	1999,60
R4		0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady		0,00
	Celkem	[H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	41 562,97
	Jednotková cena		41 562,97
	Hmotnost		1,04614
	Normohodiny		40,607

Rozbor ceny

Položka	411321515	Stropy deskové ze ŽB tř. C20/25	
TOV	0		MJ m ²
H	Přímý materiál		2045,00
NC	z toho nákupní cena		1880,00
D	z toho doprava		165,00
M	Mzdové náklady		196,17
P	z toho přímé mzdy		146,40
O	odvody	34,0 % z mezd	49,78
S	Stroje		13,40
T	Ostatní přímé náklady		0,00
SUB	Poddodávky		0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady		209,57
	Přímé náklady	[H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	2 790,44
R1	Výrobní režie	36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	75,45
R2	Správní režie	20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	41,91
R3		0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady	[R1] + [R2] + [R3]	117,36
	Náklady celkem	[H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	2 907,80
Z	Zisk	12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	39,23
R4		0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady		0,00
	Celkem	[H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	2 411,17
	Jednotková cena		2 411,17
	Hmotnost		2,45343
	Normohodiny		1,224

Rozbor ceny

Položka 411321414

Stropy deskové ze ŽB tř. C25/30

TOV 0

MJ m²

H	Přímý materiál		2135,00
NC	z toho nákupní cena		1970,00
D	z toho doprava		165,00
M	Mzdové náklady		196,17
P	z toho přímé mzdy		146,40
O	odvody	34,0 % z mezd	49,78
S	Stroje		13,40
T	Ostatní přímé náklady		0,00
SUB	Poddodávky		0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady		209,57
	Přímé náklady	[H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	2 891,44
R1	Výrobní režie	36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	75,45
R2	Správní režie	20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	41,91
R3		0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady	[R1] + [R2] + [R3]	117,36
	Náklady celkem	[H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	3 008,80
Z	Zisk	12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	39,23
R4		0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady		0,00
	Celkem	[H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	2 501,17
	Jednotková cena		2 501,17
	Hmotnost		2,45343
	Normohodiny		1,224

Rozbor ceny

Položka 411321616

Stropy deskové ze ŽB tř. C30/37

TOV 0

MJ m²

H	Přímý materiál		2335,00
NC	z toho nákupní cena		2170,00
D	z toho doprava		165,00
M	Mzdové náklady		196,17
P	z toho přímé mzdy		146,40
O	odvody	34,0 % z mezd	49,78
S	Stroje		13,40
T	Ostatní přímé náklady		0,00
SUB	Poddodávky		0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady		209,57
	Přímé náklady	[H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	3 204,54
R1	Výrobní režie	36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	75,45
R2	Správní režie	20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	41,91
R3		0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady	[R1] + [R2] + [R3]	117,36
	Náklady celkem	[H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	3 321,90
Z	Zisk	12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	39,23
R4		0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady		0,00
	Celkem	[H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	2 701,17
	Jednotková cena		2 701,17
	Hmotnost		2,45343
	Normohodiny		1,224

Rozbor ceny

Položka	411321717	Stropy deskové ze ŽB tř. C35/45	
TOV	0		MJ m ²
H	Přímý materiál		2555,00
NC	z toho nákupní cena		2390,00
D	z toho doprava		165,00
M	Mzdové náklady		196,17
P	z toho přímé mzdy		146,40
O	odvody	34,0 % z mezd	49,78
S	Stroje		13,40
T	Ostatní přímé náklady		0,00
SUB	Poddodávky		0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady		209,57
	Přímé náklady	[H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	3 366,14
R1	Výrobní režie	36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	75,45
R2	Správní režie	20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	41,91
R3		0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady	[R1] + [R2] + [R3]	117,36
	Náklady celkem	[H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	3 483,50
Z	Zisk	12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	39,23
R4		0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady		0,00
	Celkem	[H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	2 921,17
	Jednotková cena		2 921,17
	Hmotnost		2,45343
	Normohodiny		1,224

Rozbor ceny

Položka	411321818	Stropy deskové ze ŽB tř. C40/50	
TOV	0		MJ m ²
H	Přímý materiál		2745,00
NC	z toho nákupní cena		2580,00
D	z toho doprava		165,00
M	Mzdové náklady		196,17
P	z toho přímé mzdy		146,40
O	odvody	34,0 % z mezd	49,78
S	Stroje		13,40
T	Ostatní přímé náklady		0,00
SUB	Poddodávky		0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady		209,57
	Přímé náklady	[H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	3 568,14
R1	Výrobní režie	36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	75,45
R2	Správní režie	20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	41,91
R3		0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady	[R1] + [R2] + [R3]	117,36
	Náklady celkem	[H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	3 685,50
Z	Zisk	12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	39,23
R4		0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady		0,00
	Celkem	[H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	3 111,17
	Jednotková cena		3 111,17
	Hmotnost		2,45343
	Normohodiny		1,224

Rozbor ceny

Položka 411351011

Zřízení bednění stropů deskových tl. do 25 cm bez podpěrné kce

TOV 0

MJ m²

H	Přímý materiál		177,48
NC	z toho nákupní cena		155,86
D	z toho doprava		21,62
M	Mzdové náklady		63,43
P	z toho přímé mzdy		47,34
O	odvody	34,0 % z mezd	16,10
S	Stroje		15,80
T	Ostatní přímé náklady		8,46
SUB	Poddodávky		0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady		87,69
	Přímé náklady	[H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	265,18
R1	Výrobní režie	36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	31,57
R2	Správní režie	20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	17,54
R3		0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady	[R1] + [R2] + [R3]	49,11
	Náklady celkem	[H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	314,28
Z	Zisk	12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	16,42
R4		0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady		0,00
	Celkem	[H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	330,70
	Jednotková cena		330,70
	Hmotnost		0,00533
	Normohodiny		0,377

Rozbor ceny

Položka 411351012

Odstranění bednění stropů deskových tl. do 25 cm bez podpěrné kce

TOV 0

MJ m²

H	Přímý materiál		0,00
NC	z toho nákupní cena		0,00
D	z toho doprava		0,00
M	Mzdové náklady		38,05
P	z toho přímé mzdy		28,40
O	odvody	34,0 % z mezd	9,65
S	Stroje		10,27
T	Ostatní přímé náklady		6,46
SUB	Poddodávky		0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady		54,78
	Přímé náklady	[H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	54,78
R1	Výrobní režie	36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	19,72
R2	Správní režie	20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	10,96
R3		0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady	[R1] + [R2] + [R3]	30,68
	Náklady celkem	[H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	85,46
Z	Zisk	12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	10,25
R4		0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady		0,00
	Celkem	[H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	95,71
	Jednotková cena		95,71
	Hmotnost		0,00000
	Normohodiny		0,225

Rozbor ceny

Položka	411354313	Zřízení podpěrné konstrukce stropů výšky do 4 m tl. do 25 cm
TOV	0	MJ m ²
H	Přímý materiál	64,83
NC	z toho nákupní cena	61,38
D	z toho doprava	3,45
M	Mzdové náklady	33,74
P	z toho přímé mzdy	25,18
O	odvody 34,0 % z mezd	8,56
S	Stroje	8,69
T	Ostatní přímé náklady	5,04
SUB	Poddodávky	0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady	47,47
	Přímé náklady [H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	112,30
R1	Výrobní režie 36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	17,09
R2	Správní režie 20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	9,49
R3	0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady [R1] + [R2] + [R3]	26,58
	Náklady celkem [H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	138,88
Z	Zisk 12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	8,89
R4	0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady	0,00
	Celkem [H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	147,76
	Jednotková cena	147,76
	Hmotnost	0,00088
	Normohodiny	0,200

Rozbor ceny

Položka	411354314	Odstranění podpěrné konstrukce stropů výšky do 4 m tl. do 25 cm
TOV	0	MJ m ²
H	Přímý materiál	0,00
NC	z toho nákupní cena	0,00
D	z toho doprava	0,00
M	Mzdové náklady	17,73
P	z toho přímé mzdy	13,23
O	odvody 34,0 % z mezd	4,50
S	Stroje	4,11
T	Ostatní přímé náklady	3,52
SUB	Poddodávky	0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady	25,36
	Přímé náklady [H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	25,36
R1	Výrobní režie 36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	9,13
R2	Správní režie 20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	5,07
R3	0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady [R1] + [R2] + [R3]	14,20
	Náklady celkem [H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	39,56
Z	Zisk 12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	4,75
R4	0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady	0,00
	Celkem [H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	44,30
	Jednotková cena	44,30
	Hmotnost	0,00000
	Normohodiny	0,105

Rozbor ceny

Položka 411361821

Výztuž stropů betonářskou ocelí 10 505

TOV 0

MJ

t

H	Přímý materiál		22900,00
NC	z toho nákupní cena		21000,00
D	z toho doprava		1900,00
M	Mzdové náklady		6835,69
P	z toho přímé mzdy		5101,26
O	odvody	34,0 % z mezd	1734,43
S	Stroje		2495,24
T	Ostatní přímé náklady		0,00
SUB	Poddodávky		0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady		9 330,94
	Přímé náklady	[H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	32 999,89
R1	Výrobní režie	36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	3359,14
R2	Správní režie	20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	1866,19
R3		0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady	[R1] + [R2] + [R3]	5 225,33
	Náklady celkem	[H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	38 225,22
Z	Zisk	12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	1746,75
R4		0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady		0,00
	Celkem	[H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	39 203,02
	Jednotková cena		39 203,02
	Hmotnost		1,05516
	Normohodiny		38,118

Rozbor ceny

Položka 998012021

Přesun hmot pro budovy monolitické v do 6 m

TOV 0

MJ

m²

H	Přímý materiál		0,00
NC	z toho nákupní cena		0,00
D	z toho doprava		0,00
M	Mzdové náklady		111,05
P	z toho přímé mzdy		82,88
O	odvody	34,0 % z mezd	28,18
S	Stroje		14,85
T	Ostatní přímé náklady		0,00
SUB	Poddodávky		0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady		125,90
	Přímé náklady	[H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	125,90
R1	Výrobní režie	36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	45,32
R2	Správní režie	20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	25,18
R3		0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady	[R1] + [R2] + [R3]	70,51
	Náklady celkem	[H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	196,41
Z	Zisk	12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	23,57
R4		0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady		0,00
	Celkem	[H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	219,98
	Jednotková cena		219,98
	Hmotnost		0,00000
	Normohodiny		0,697

Rozbor ceny

Položka	998012022	Přesun hmot pro budovy monolitické v do 12 m	
TOV	0		MJ m ²
H	Přímý materiál		0,00
NC	z toho nákupní cena		0,00
D	z toho doprava		0,00
M	Mzdové náklady		59,21
P	z toho přímé mzdy		44,19
O	odvody	34,0 % z mezd	15,02
S	Stroje		58,76
T	Ostatní přímé náklady		0,00
SUB	Poddodávky		0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady		117,97
	Přímé náklady	[H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	117,97
R1	Výrobní režie	36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	42,47
R2	Správní režie	20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	23,59
R3		0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady	[R1] + [R2] + [R3]	66,06
	Náklady celkem	[H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	184,03
Z	Zisk	12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	22,08
R4		0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady		0,00
	Celkem	[H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	206,11
	Jednotková cena		206,11
	Hmotnost		0,00000
	Normohodiny		0,375

Rozbor ceny

Položka	998012023	Přesun hmot pro budovy monolitické v do 24 m	
TOV	0		MJ m ²
H	Přímý materiál		0,00
NC	z toho nákupní cena		0,00
D	z toho doprava		0,00
M	Mzdové náklady		73,36
P	z toho přímé mzdy		54,75
O	odvody	34,0 % z mezd	18,61
S	Stroje		69,23
T	Ostatní přímé náklady		0,00
SUB	Poddodávky		0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady		142,59
	Přímé náklady	[H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	142,59
R1	Výrobní režie	36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	51,33
R2	Správní režie	20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	28,52
R3		0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady	[R1] + [R2] + [R3]	79,85
	Náklady celkem	[H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	222,44
Z	Zisk	12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	26,69
R4		0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady		0,00
	Celkem	[H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	249,14
	Jednotková cena		249,14
	Hmotnost		0,00000
	Normohodiny		0,465

Rozbor ceny

Položka 998012024

Přesun hmot pro budovy monolitické v do 36 m

TOV 0

MJ

m²

H	Přímý materiál		0,00
NC	z toho nákupní cena		0,00
D	z toho doprava		0,00
M	Mzdové náklady		71,41
P	z toho přímé mzdy		53,29
O	odvody	34,0 % z mezd	18,12
S	Stroje		113,30
T	Ostatní přímé náklady		0,00
SUB	Poddodávky		0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady		184,72
	Přímé náklady	[H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	184,72
R1	Výrobní režie	36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	66,50
R2	Správní režie	20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	36,94
R3		0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady	[R1] + [R2] + [R3]	103,44
	Náklady celkem	[H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	288,16
Z	Zisk	12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	34,58
R4		0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady		0,00
	Celkem	[H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	322,74
	Jednotková cena		322,74
	Hmotnost		0,00000
	Normohodiny		0,452

Rozbor ceny

Položka 998012025

Přesun hmot pro budovy monolitické v do 48 m

TOV 0

MJ

m²

H	Přímý materiál		0,00
NC	z toho nákupní cena		0,00
D	z toho doprava		0,00
M	Mzdové náklady		105,05
P	z toho přímé mzdy		78,40
O	odvody	34,0 % z mezd	26,65
S	Stroje		120,09
T	Ostatní přímé náklady		0,00
SUB	Poddodávky		0,00
PZN	Přímé zpracovací náklady		225,14
	Přímé náklady	[H] + [SUB] + [PZN] + [NK]	225,14
R1	Výrobní režie	36,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	81,05
R2	Správní režie	20,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]	45,03
R3		0,00 % z []	0,00
	Nepřímé náklady	[R1] + [R2] + [R3]	126,08
	Náklady celkem	[H] + [SUB] + [PZN] + [R1] + [R2] + [R3] + [NK]	351,21
Z	Zisk	12,00 % z [P]+[O]+[S]+[T]+[R1]+[R2]	42,15
R4		0,00 % z []	0,00
NK	Nekalkulované náklady		0,00
	Celkem	[H] + [SUB] + [PZN] až [NK]	393,36
	Jednotková cena		393,36
	Hmotnost		0,00000
	Normohodiny		0,667

Příloha C

Výsledky 1. případové studie

C.1 Finanční náklady dle kalkulovaných položek

Třída betonu	Beton			Výztuž			Bednění		Přesun hmot			Celkem
	Základy	Sloupy	Stropní desky	Základy	Sloupy	Stropní desky	Sloupy	Stropní desky	Základy	Sloupy	Stropní desky	
C30/37	60 137	6 910	185 057	39 689	19 275	119 922	28 559	136 689	11 511	1 166	33 110	642 024
C35/45	51 515	7 478	180 762	33 999	21 210	122 117	28 846	136 689	9 861	1 187	29 979	623 642
C40/50	43 758	7 961	178 768	28 879	21 752	124 783	29 037	136 689	8 376	1 197	27 897	609 096
C45/55	43 758	12 280	160 989	28 879	22 913	131 996	35 302	136 689	8 376	1 699	23 744	606 625
C50/60	43 758	12 895	153 426	28 879	23 339	139 798	35 532	136 689	8 376	1 712	21 690	606 092
C60/75	36 818	15 960	183 545	24 299	23 262	141 797	35 646	136 689	7 047	1 716	20 653	627 432
C70/85	36 818	20 257	224 008	24 299	23 145	146 815	35 761	136 689	7 047	1 721	19 631	676 192
C80/95	36 818	26 120	293 225	24 299	22 604	145 208	35 761	136 689	7 047	1 718	19 623	749 111

C.2 Kompletní výsledky optimalizace

Třída betonu	Optimalizační proměnné		Beton			Výztuž			Bednění	
	a m	d m	Základy m ³	Sloupy m ³	Desky m ³	Základy t	Sloupy t	Desky t	Sloupy m ²	Desky m ²
C30/37	0,25	0,31	23,8	2,2	68,5	1,1	0,5	3,1	35,9	221,0
C30/37	0,25	0,32	23,8	2,2	70,7	1,1	0,5	3,0	35,8	221,0
C30/37	0,3	0,31	23,8	3,2	68,5	1,1	0,5	2,9	43,1	221,0
C30/37	0,3	0,32	23,8	3,2	70,7	1,1	0,5	2,9	42,9	221,0
C35/45	0,25	0,28	20,4	2,3	61,9	0,9	0,5	3,1	36,2	221,0
C35/45	0,25	0,29	20,4	2,3	64,1	0,9	0,5	3,1	36,1	221,0
C35/45	0,25	0,3	20,4	2,3	66,3	0,9	0,5	3,0	36,0	221,0
C35/45	0,25	0,31	20,4	2,2	68,5	0,9	0,5	3,0	35,9	221,0
C35/45	0,3	0,28	20,4	3,3	61,9	0,9	0,5	3,0	43,5	221,0
C35/45	0,3	0,29	20,4	3,3	64,1	0,9	0,5	3,0	43,3	221,0
C35/45	0,3	0,3	20,4	3,2	66,3	0,9	0,5	2,9	43,2	221,0
C35/45	0,3	0,31	20,4	3,2	68,5	0,9	0,5	2,9	43,1	221,0

Přesun hmot			Cena	Environmentální dopad							
Základy t	Sloupy t	Desky t	Cena Kč	GWP kg CO ₂ ekv.	FDP kg ropy ekv.	MDP kg Fe ekv.	TAP kg SO ₂ ekv.	FEP kg P ekv.	ODP kg CFC-11 ekv.	PMFP kg PM ₁₀ ekv.	POFP kg NMVOC ekv.
47,8	5,8	145,4	623 642	30 883	2 492	3 122	29,5	0,1	10,5 × 10 ⁻⁶	20,9	38,8
47,8	5,7	150,5	628 356	31 589	2 529	3 089	30,0	0,1	10,8 × 10 ⁻⁶	21,4	39,5
47,8	5,7	155,5	633 073	32 295	2 566	3 057	30,5	0,1	11,0 × 10 ⁻⁶	21,9	40,3
47,8	5,6	160,6	637 788	33 001	2 604	3 024	31,0	0,1	11,3 × 10 ⁻⁶	22,3	41,1
47,8	8,0	145,3	628 886	31 169	2 499	3 060	29,6	0,1	10,6 × 10 ⁻⁶	21,1	39,0
47,8	8,0	150,4	633 874	31 877	2 537	3 032	30,1	0,1	10,9 × 10 ⁻⁶	21,6	39,8
47,8	8,0	155,4	638 790	32 585	2 575	3 003	30,7	0,1	11,2 × 10 ⁻⁶	22,1	40,6
47,8	7,9	160,5	644 294	33 300	2 615	2 983	31,2	0,1	11,4 × 10 ⁻⁶	22,5	41,4
40,6	0,0	130,3	Nelze nadimenzovat výztuž...								
40,6	5,8	135,3	609 096	30 351	2 470	3 088	29,0	0,1	14,3 × 10 ⁻⁶	20,3	37,9
40,6	5,8	140,4	613 834	31 110	2 510	3 049	29,5	0,1	14,7 × 10 ⁻⁶	20,8	38,8
40,6	5,7	145,4	617 985	31 860	2 548	3 002	30,1	0,1	15,2 × 10 ⁻⁶	21,3	39,6
40,6	8,1	130,2	609 855	29 908	2 439	3 063	28,6	0,1	14,1 × 10 ⁻⁶	20,0	37,4
40,6	8,1	135,2	614 555	30 665	2 479	3 025	29,1	0,1	14,5 × 10 ⁻⁶	20,5	38,2
40,6	8,1	140,3	619 769	31 428	2 521	2 995	29,7	0,1	14,9 × 10 ⁻⁶	21,0	39,1
40,6	8,0	145,3	625 139	32 194	2 563	2 967	30,3	0,1	15,3 × 10 ⁻⁶	21,5	39,9

Optimalizační proměnné			Beton			Výztuž			Bednění	
Třída betonu	a m	d m	Základy m ³	Sloupy m ³	Desky m ³	Základy t	Sloupy t	Desky t	Sloupy m ²	Desky m ²
C40/50	0,25	0,25	17,3	2,3	55,3	0,8	-	3,2	36,6	221,0
C40/50	0,25	0,26	17,3	2,3	57,5	0,8	0,6	3,2	36,5	221,0
C40/50	0,25	0,27	17,3	2,3	59,7	0,8	0,5	3,1	36,4	221,0
C40/50	0,25	0,28	17,3	2,3	61,9	0,8	0,5	3,1	36,2	221,0
C40/50	0,3	0,25	17,3	3,3	55,3	0,8	0,6	3,2	43,9	221,0
C40/50	0,3	0,26	17,3	3,3	57,5	0,8	0,5	3,1	43,8	221,0
C40/50	0,3	0,27	17,3	3,3	59,7	0,8	0,5	3,0	43,6	221,0
C40/50	0,3	0,28	17,3	3,3	61,9	0,8	0,5	3,0	43,5	221,0
C45/55	0,3	0,22	17,3	3,3	48,6	0,8	0,6	3,4	44,4	221,0
C45/55	0,3	0,23	17,3	3,3	50,8	0,8	0,6	3,3	44,2	221,0
C45/55	0,3	0,24	17,3	3,3	53,0	0,8	0,6	3,2	44,1	221,0
C45/55	0,3	0,25	17,3	3,3	55,3	0,8	0,5	3,1	43,9	221,0
C45/55	0,35	0,22	17,3	4,5	48,6	0,8	0,6	3,3	51,7	221,0
C45/55	0,35	0,23	17,3	4,5	50,8	0,8	0,5	3,2	51,6	221,0
C45/55	0,35	0,24	17,3	4,5	53,0	0,8	0,5	3,2	51,4	221,0
C45/55	0,35	0,25	17,3	4,5	55,3	0,8	0,5	3,1	51,2	221,0
C50/60	0,3	0,2	17,3	3,3	44,2	0,8	0,6	3,6	44,6	221,0
C50/60	0,3	0,21	17,3	3,3	46,4	0,8	0,6	3,4	44,5	221,0
C50/60	0,3	0,22	17,3	3,3	48,6	0,8	0,6	3,3	44,4	221,0
C50/60	0,3	0,23	17,3	3,3	50,8	0,8	0,6	3,2	44,2	221,0
C50/60	0,35	0,2	17,3	4,6	44,2	0,8	0,5	3,5	52,1	221,0
C50/60	0,35	0,21	17,3	4,5	46,4	0,8	0,5	3,4	51,9	221,0
C50/60	0,35	0,22	17,3	4,5	48,6	0,8	0,5	3,3	51,7	221,0
C50/60	0,35	0,23	17,3	4,5	50,8	0,8	0,5	3,2	51,6	221,0
C60/75	0,3	0,19	14,6	3,4	42,0	0,7	0,6	3,6	44,8	221,0
C60/75	0,3	0,2	14,6	3,3	44,2	0,7	0,6	3,5	44,6	221,0
C60/75	0,3	0,21	14,6	3,3	46,4	0,7	0,6	3,4	44,5	221,0
C60/75	0,3	0,22	14,6	3,3	48,6	0,7	0,6	3,3	44,4	221,0
C60/75	0,35	0,19	14,6	4,6	42,0	0,7	0,5	3,6	52,2	221,0
C60/75	0,35	0,2	14,6	4,6	44,2	0,7	0,5	3,5	52,1	221,0
C60/75	0,35	0,21	14,6	4,5	46,4	0,7	0,5	3,4	51,9	221,0
C60/75	0,35	0,22	14,6	4,5	48,6	0,7	0,5	3,3	51,7	221,0
C70/85	0,3	0,18	14,6	3,4	39,8	0,7	0,6	3,7	44,9	221,0
C70/85	0,3	0,19	14,6	3,4	42,0	0,7	0,6	3,6	44,8	221,0
C70/85	0,3	0,2	14,6	3,3	44,2	0,7	0,6	3,5	44,6	221,0
C70/85	0,3	0,21	14,6	3,3	46,4	0,7	0,6	3,4	44,5	221,0
C70/85	0,35	0,18	14,6	4,6	39,8	0,7	0,5	3,7	52,4	221,0
C70/85	0,35	0,19	14,6	4,6	42,0	0,7	0,5	3,6	52,2	221,0
C70/85	0,35	0,2	14,6	4,6	44,2	0,7	0,5	3,5	52,1	221,0
C70/85	0,35	0,21	14,6	4,5	46,4	0,7	0,5	3,3	51,9	221,0
C80/95	0,3	0,18	14,6	3,4	39,8	0,7	0,6	3,7	44,9	221,0
C80/95	0,3	0,19	14,6	3,4	42,0	0,7	0,6	3,5	44,8	221,0
C80/95	0,3	0,2	14,6	3,3	44,2	0,7	0,6	3,5	44,6	221,0
C80/95	0,3	0,21	14,6	3,3	46,4	0,7	0,6	3,3	44,5	221,0
C80/95	0,35	0,18	14,6	4,6	39,8	0,7	0,5	3,7	52,4	221,0
C80/95	0,35	0,19	14,6	4,6	42,0	0,7	0,5	3,5	52,2	221,0
C80/95	0,35	0,2	14,6	4,6	44,2	0,7	0,5	3,4	52,1	221,0
C80/95	0,35	0,21	14,6	4,5	46,4	0,7	0,5	3,3	51,9	221,0

Přesun hmot			Cena	Environmentální dopad							
Základy t	Sloupy t	Desky t	Cena Kč	GWP kg CO ₂ ekv.	FDP kg ropy ekv.	MDP kg Fe ekv.	TAP kg SO ₂ ekv.	FEP kg P ekv.	ODP kg CFC-11 ekv.	PMFP kg PM ₁₀ ekv.	POFP kg NMVOC ekv.
40,6	8,2	115,2	606 625	29 449	2 453	3 210	28,4	0,1	17,2 × 10 ⁻⁶	19,5	36,9
40,6	8,2	120,2	610 542	30 248	2 492	3 154	29,0	0,1	17,7 × 10 ⁻⁶	20,0	37,8
40,6	8,2	125,2	614 814	31 051	2 533	3 104	29,5	0,1	18,3 × 10 ⁻⁶	20,5	38,6
40,6	8,1	130,2	620 233	31 869	2 578	3 071	30,1	0,1	18,8 × 10 ⁻⁶	21,0	39,5
40,6	11,0	115,2	615 011	29 888	2 475	3 177	28,7	0,1	17,5 × 10 ⁻⁶	19,8	37,4
40,6	10,9	120,1	618 574	30 681	2 513	3 116	29,3	0,1	18,0 × 10 ⁻⁶	20,3	38,2
40,6	10,9	125,2	623 672	31 494	2 557	3 079	29,9	0,1	18,6 × 10 ⁻⁶	20,8	39,1
40,6	10,9	130,2	629 203	32 312	2 603	3 048	30,5	0,1	19,1 × 10 ⁻⁶	21,3	40,0
55,8	5,7	160,6	642 024	29 149	2 482	3 121	28,7	0,1	5,86 × 10 ⁻⁶	21,7	37,8
55,8	5,6	165,7	646 369	29 737	2 514	3 088	29,2	0,1	6,00 × 10 ⁻⁶	22,1	38,5
55,8	7,9	160,5	646 583	29 373	2 485	3 052	28,8	0,1	5,92 × 10 ⁻⁶	21,9	38,0
55,8	7,9	165,5	651 639	29 970	2 520	3 031	29,3	0,1	6,06 × 10 ⁻⁶	22,3	38,7
40,6	8,3	105,2	606 092	29 000	2 467	3 336	28,3	0,1	20,1 × 10 ⁻⁶	19,1	36,5
40,6	8,3	110,2	609 377	29 825	2 506	3 265	28,8	0,2	20,8 × 10 ⁻⁶	19,6	37,3
40,6	8,2	115,2	613 485	30 661	2 549	3 207	29,4	0,2	21,5 × 10 ⁻⁶	20,1	38,2
40,6	8,2	120,2	617 519	31 496	2 591	3 148	30,0	0,2	22,2 × 10 ⁻⁶	20,7	39,1
40,6	11,0	105,2	613 609	29 449	2 487	3 285	28,6	0,1	20,5 × 10 ⁻⁶	19,4	36,9
40,6	11,0	110,1	617 046	30 275	2 527	3 218	29,1	0,2	21,2 × 10 ⁻⁶	19,9	37,8
40,6	11,0	115,1	622 019	31 121	2 573	3 174	29,7	0,2	21,8 × 10 ⁻⁶	20,4	38,7
40,6	10,9	120,1	626 368	31 959	2 616	3 120	30,3	0,2	22,5 × 10 ⁻⁶	21,0	39,6
34,2	8,3	100,2	627 432	28 652	2 510	3 300	28,2	0,2	29,7 × 10 ⁻⁶	18,7	36,1
34,2	8,3	105,2	634 156	29 558	2 561	3 253	28,8	0,2	30,8 × 10 ⁻⁶	19,3	37,1
34,2	8,2	110,2	639 338	30 445	2 607	3 182	29,5	0,2	31,9 × 10 ⁻⁶	19,8	38,0
34,2	8,2	115,1	644 916	31 336	2 654	3 117	30,1	0,2	33,0 × 10 ⁻⁶	20,4	38,9
34,2	11,1	100,2	636 077	29 137	2 534	3 250	28,5	0,2	30,3 × 10 ⁻⁶	19,0	36,6
34,2	11,0	105,2	643 383	30 050	2 587	3 212	29,2	0,2	31,4 × 10 ⁻⁶	19,6	37,6
34,2	11,0	110,1	648 958	30 940	2 635	3 148	29,8	0,2	32,5 × 10 ⁻⁶	20,1	38,5
34,2	10,9	115,1	655 003	31 836	2 684	3 092	30,5	0,2	33,6 × 10 ⁻⁶	20,7	39,5
34,2	8,3	95,2	676 192	29 458	2 674	3 401	29,3	0,3	43,0 × 10 ⁻⁶	19,1	37,2
34,2	8,3	100,2	682 215	30 385	2 721	3 302	29,9	0,3	44,6 × 10 ⁻⁶	19,7	38,2
34,2	8,3	105,2	691 903	31 358	2 781	3 260	30,7	0,3	46,2 × 10 ⁻⁶	20,3	39,2
34,2	8,2	110,1	699 779	32 309	2 835	3 189	31,3	0,3	47,9 × 10 ⁻⁶	20,9	40,2
34,2	11,1	95,2	686 605	29 984	2 703	3 355	29,7	0,3	43,9 × 10 ⁻⁶	19,4	37,8
34,2	11,1	100,1	693 564	30 921	2 754	3 271	30,3	0,3	45,5 × 10 ⁻⁶	20,0	38,7
34,2	11,0	105,1	702 967	31 890	2 813	3 225	31,1	0,3	47,1 × 10 ⁻⁶	20,6	39,8
34,2	11,0	110,1	710 835	32 838	2 867	3 155	31,7	0,3	48,8 × 10 ⁻⁶	21,2	40,8
34,2	8,3	95,2	749 111	31 126	2 877	3 405	31,0	0,4	57,3 × 10 ⁻⁶	20,0	39,2
34,2	8,3	100,1	759 982	32 130	2 936	3 324	31,7	0,4	59,4 × 10 ⁻⁶	20,6	40,3
34,2	8,3	105,1	772 983	33 162	3 002	3 275	32,5	0,4	61,6 × 10 ⁻⁶	21,3	41,4
34,2	8,2	110,1	785 119	34 182	3 065	3 212	33,3	0,4	63,8 × 10 ⁻⁶	21,9	42,5
34,2	11,1	95,2	762 110	31 693	2 913	3 367	31,4	0,4	58,5 × 10 ⁻⁶	20,4	39,8
34,2	11,0	100,1	772 770	32 693	2 971	3 283	32,1	0,4	60,7 × 10 ⁻⁶	21,0	40,9
34,2	11,0	105,1	785 877	33 725	3 037	3 237	32,9	0,4	62,8 × 10 ⁻⁶	21,6	42,0
34,2	11,0	110,1	798 467	34 750	3 102	3 182	33,7	0,4	65,0 × 10 ⁻⁶	22,2	43,1

Příloha D

Výsledky 2. případové studie

D.1 Varianta se 4 podlažími a osovou vzd. sloupů 4 m

Optim. proměnné			Beton				Výztuž				Bednění		
Třída betonu	a m	d m	Základy m ³	Sloupy m ³	Desky m ³	Stěny m ³	Základy t	Sloupy t	Desky t	Stěny t	Sloupy m ²	Desky m ²	Stěny m ²
C20/25	0,25	0,16	406,4	43,8	688,8	142,9	61,0	6,0	20,2	5,6	768,7	4 305,3	1 429,1
C20/25	0,25	0,17	406,4	43,6	731,9	142,9	61,0	6,0	19,5	5,6	766,2	4 305,3	1 429,1
C20/25	0,25	0,18	406,4	43,5	774,9	142,9	61,0	6,1	19,2	5,6	763,8	4 305,3	1 429,1
C20/25	0,25	0,19	406,4	43,4	818,0	142,9	61,0	6,1	18,9	5,6	761,3	4 305,3	1 429,1
C20/25	0,3	0,16	406,4	65,1	688,8	142,9	61,0	6,4	20,1	5,6	939,5	4 305,3	1 429,1
C20/25	0,3	0,17	406,4	64,9	731,9	142,9	61,0	6,4	19,2	5,6	936,5	4 305,3	1 429,1
C20/25	0,3	0,18	406,4	64,7	774,9	142,9	61,0	6,4	18,9	5,6	933,5	4 305,3	1 429,1
C20/25	0,3	0,19	406,4	64,5	818,0	142,9	61,0	6,4	18,8	5,6	930,5	4 305,3	1 429,1
C25/30	0,2	0,15	406,4	34,3	645,8	142,9	61,0	6,2	21,0	5,6	685,4	4 305,3	1 429,1
C25/30	0,2	0,16	406,4	34,2	688,8	142,9	61,0	6,3	20,1	5,6	683,3	4 305,3	1 429,1
C25/30	0,2	0,17	406,4	34,1	731,9	142,9	61,0	6,5	19,4	5,6	681,1	4 305,3	1 429,1
C25/30	0,2	0,18	406,4	33,9	774,9	142,9	61,0	6,6	18,7	5,7	678,9	4 305,3	1 429,1
C25/30	0,25	0,15	406,4	43,9	645,8	142,9	61,0	5,8	20,4	5,6	771,1	4 305,3	1 429,1
C25/30	0,25	0,16	406,4	43,8	688,8	142,9	61,0	5,8	19,7	5,6	768,7	4 305,3	1 429,1
C25/30	0,25	0,17	406,4	43,6	731,9	142,9	61,0	5,8	19,1	5,6	766,2	4 305,3	1 429,1
C25/30	0,25	0,18	406,4	43,5	774,9	142,9	61,0	5,8	18,4	5,6	763,8	4 305,3	1 429,1
C30/37	0,2	0,14	406,4	34,4	602,7	142,9	61,0	5,7	21,6	5,6	687,6	4 305,3	1 429,1
C30/37	0,2	0,15	406,4	34,3	645,8	142,9	61,0	5,7	20,4	5,6	685,4	4 305,3	1 429,1
C30/37	0,2	0,16	406,4	34,2	688,8	142,9	61,0	5,8	19,5	5,6	683,3	4 305,3	1 429,1
C30/37	0,2	0,17	406,4	34,1	731,9	142,9	61,0	5,9	19,0	5,6	681,1	4 305,3	1 429,1
C30/37	0,25	0,14	406,4	44,1	602,7	142,9	61,0	5,7	21,4	5,6	773,6	4 305,3	1 429,1
C30/37	0,25	0,15	406,4	43,9	645,8	142,9	61,0	5,7	20,3	5,6	771,1	4 305,3	1 429,1
C30/37	0,25	0,16	406,4	43,8	688,8	142,9	61,0	5,7	19,2	5,6	768,7	4 305,3	1 429,1
C30/37	0,25	0,17	406,4	43,6	731,9	142,9	61,0	5,7	18,8	5,6	766,2	4 305,3	1 429,1
C35/45	0,2	0,13	406,4	34,5	559,7	142,9	61,0	5,4	23,1	5,6	689,8	4 305,3	1 429,1
C35/45	0,2	0,14	406,4	34,4	602,7	142,9	61,0	5,4	21,5	5,6	687,6	4 305,3	1 429,1
C35/45	0,2	0,15	406,4	34,3	645,8	142,9	61,0	5,4	20,2	5,6	685,4	4 305,3	1 429,1
C35/45	0,2	0,16	406,4	34,2	688,8	142,9	61,0	5,5	19,5	5,6	683,3	4 305,3	1 429,1
C35/45	0,25	0,13	406,4	44,2	559,7	142,9	61,0	5,7	22,8	5,6	776,0	4 305,3	1 429,1
C35/45	0,25	0,14	406,4	44,1	602,7	142,9	61,0	5,7	21,3	5,6	773,6	4 305,3	1 429,1
C35/45	0,25	0,15	406,4	43,9	645,8	142,9	61,0	5,7	20,1	5,6	771,1	4 305,3	1 429,1
C35/45	0,25	0,16	406,4	43,8	688,8	142,9	61,0	5,7	19,3	5,6	768,7	4 305,3	1 429,1

Přesun hmot				Cena	Environmentální dopad							
Základy t	Sloupy t	Desky t	Stěny t	Cena Kč	GWP kg CO ₂ ekv.	FDP kg ropy ekv.	MDP kg Fe ekv.	TAP kg SO ₂ ekv.	FEP kg P ekv.	ODP kg CFC-11 ekv.	PMFP kg PM ₁₀ ekv.	POFP kg NMVOC ekv.
995,6	106,6	1 604,5	334,3	11 410 572	351 553	34 361	59 814	385,3	0,3	4.20 × 10 ⁻⁹	273,8	488,4
995,6	106,4	1 702,8	334,3	11 509 546	361 266	34 938	59 507	393,0	0,3	4.31 × 10 ⁻⁹	281,3	499,8
995,6	106,1	1 801,5	334,3	11 626 078	371 202	35 577	59 470	401,3	0,3	4.42 × 10 ⁻⁹	289,0	511,9
995,6	105,9	1 900,3	334,3	11 743 783	381 153	36 221	59 453	409,6	0,3	4.53 × 10 ⁻⁹	296,7	523,9
995,6	156,2	1 604,4	334,3	11 627 949	356 801	34 761	60 020	390,2	0,3	4.26 × 10 ⁻⁹	277,9	495,0
995,6	155,7	1 702,5	334,3	11 718 630	366 401	35 309	59 595	397,6	0,3	4.36 × 10 ⁻⁹	285,3	506,2
995,6	155,2	1 801,3	334,3	11 833 497	376 307	35 943	59 543	405,9	0,3	4.48 × 10 ⁻⁹	293,0	518,2
995,6	154,7	1 900,2	334,3	11 954 518	386 292	36 600	59 585	414,3	0,3	4.59 × 10 ⁻⁹	300,7	530,3
995,6	85,1	1 506,3	334,3	11 299 215	364 080	35 019	60 590	393,9	0,3	4.12 × 10 ⁻⁹	278,1	499,8
995,6	84,9	1 604,5	334,3	11 399 515	374 616	35 632	60 248	402,1	0,3	4.23 × 10 ⁻⁹	286,1	512,0
995,6	84,8	1 702,7	334,3	11 504 613	385 213	36 263	59 981	410,5	0,3	4.34 × 10 ⁻⁹	294,1	524,4
995,6	84,7	1 801,0	334,3	11 613 683	395 860	36 909	59 775	419,0	0,3	4.45 × 10 ⁻⁹	302,1	537,0
995,6	106,8	1 505,7	334,3	11 359 978	366 070	35 048	59 985	394,7	0,3	4.14 × 10 ⁻⁹	279,6	501,5
995,6	106,4	1 604,0	334,3	11 461 697	376 619	35 667	59 669	403,0	0,3	4.25 × 10 ⁻⁹	287,6	513,9
995,6	106,1	1 702,4	334,3	11 566 848	387 212	36 299	59 407	411,4	0,3	4.36 × 10 ⁻⁹	295,6	526,3
995,6	105,8	1 800,8	334,3	11 670 540	397 786	36 925	59 122	419,8	0,3	4.47 × 10 ⁻⁹	303,6	538,6
995,6	84,7	1 407,9	334,3	11 328 015	385 898	36 745	60 973	411,4	0,8	73.6 × 10 ⁻⁶	288,3	522,2
995,6	84,6	1 505,7	334,3	11 421 175	397 417	37 391	60 405	420,1	0,8	76.2 × 10 ⁻⁶	296,8	535,3
995,6	84,4	1 603,8	334,3	11 526 834	409 095	38 081	60 030	429,2	0,8	78.9 × 10 ⁻⁶	305,4	548,8
995,6	84,2	1 702,4	334,3	11 650 886	421 007	38 838	59 939	438,9	0,8	81.5 × 10 ⁻⁶	314,2	562,8
995,6	107,0	1 407,6	334,3	11 422 814	388 569	36 910	60 866	413,5	0,8	74.2 × 10 ⁻⁶	290,3	525,3
995,6	106,7	1 505,6	334,3	11 518 358	400 114	37 565	60 340	422,3	0,8	76.8 × 10 ⁻⁶	298,8	538,5
995,6	106,4	1 603,5	334,3	11 615 049	411 673	38 224	59 831	431,1	0,8	79.5 × 10 ⁻⁶	307,3	551,6
995,6	106,1	1 702,1	334,3	11 736 713	423 549	38 972	59 708	440,7	0,9	82.1 × 10 ⁻⁶	316,0	565,6
995,6	84,8	1 310,4	334,3	11 399 389	436 369	38 893	62 416	445,7	1,2	142 × 10 ⁻⁶	298,2	568,2
995,6	84,5	1 407,8	334,3	11 483 763	449 983	39 578	61 598	455,4	1,3	147 × 10 ⁻⁶	307,1	582,9
995,6	84,3	1 505,5	334,3	11 581 233	463 764	40 310	60 982	465,6	1,3	152 × 10 ⁻⁶	316,2	598,0
995,6	84,0	1 603,8	334,3	11 703 344	477 858	41 130	60 747	476,5	1,3	158 × 10 ⁻⁶	325,6	613,9
995,6	107,3	1 310,1	334,3	11 505 311	439 687	39 114	62 452	448,5	1,2	143 × 10 ⁻⁶	300,4	572,1
995,6	107,0	1 407,6	334,3	11 593 884	453 348	39 814	61 704	458,4	1,3	148 × 10 ⁻⁶	309,4	586,9
995,6	106,7	1 505,4	334,3	11 691 886	467 129	40 548	61 101	468,5	1,3	154 × 10 ⁻⁶	318,5	602,0
995,6	106,4	1 603,6	334,3	11 810 169	481 168	41 355	60 811	479,3	1,4	159 × 10 ⁻⁶	327,8	617,8

Optim. proměnné			Beton				Výztuž				Bednění		
Třída betonu	a m	d m	Základy m ³	Sloupy m ³	Desky m ³	Stěny m ³	Základy t	Sloupy t	Desky t	Stěny t	Sloupy m ²	Desky m ²	Stěny m ²
C40/50	0,2	0,12	406,4	34,6	516,6	142,9	61,0	5,4	24,4	5,6	692,0	4 305,3	1 429,1
C40/50	0,2	0,13	406,4	34,5	559,7	142,9	61,0	5,4	22,5	5,6	689,8	4 305,3	1 429,1
C40/50	0,2	0,14	406,4	34,4	602,7	142,9	61,0	5,4	20,8	5,6	687,6	4 305,3	1 429,1
C40/50	0,2	0,15	406,4	34,3	645,8	142,9	61,0	5,4	19,9	5,6	685,4	4 305,3	1 429,1
C40/50	0,25	0,12	406,4	44,3	516,6	142,9	61,0	5,6	24,3	5,6	778,5	4 305,3	1 429,1
C40/50	0,25	0,13	406,4	44,2	559,7	142,9	61,0	5,6	22,3	5,6	776,0	4 305,3	1 429,1
C40/50	0,25	0,14	406,4	44,1	602,7	142,9	61,0	5,6	20,6	5,6	773,6	4 305,3	1 429,1
C40/50	0,25	0,15	406,4	43,9	645,8	142,9	61,0	5,6	19,7	5,6	771,1	4 305,3	1 429,1
C45/55	0,2	0,12	406,4	34,6	516,6	142,9	61,0	5,4	23,9	5,6	692,0	4 305,3	1 429,1
C45/55	0,2	0,13	406,4	34,5	559,7	142,9	61,0	5,4	21,2	5,6	689,8	4 305,3	1 429,1
C45/55	0,2	0,14	406,4	34,4	602,7	142,9	61,0	5,4	20,1	5,6	687,6	4 305,3	1 429,1
C45/55	0,2	0,15	406,4	34,3	645,8	142,9	61,0	5,4	19,0	5,6	685,4	4 305,3	1 429,1
C45/55	0,25	0,12	406,4	44,3	516,6	142,9	61,0	5,6	23,5	5,6	778,5	4 305,3	1 429,1
C45/55	0,25	0,13	406,4	44,2	559,7	142,9	61,0	5,6	21,1	5,6	776,0	4 305,3	1 429,1
C45/55	0,25	0,14	406,4	44,1	602,7	142,9	61,0	5,6	19,9	5,6	773,6	4 305,3	1 429,1
C45/55	0,25	0,15	406,4	43,9	645,8	142,9	61,0	5,6	18,7	5,6	771,1	4 305,3	1 429,1
C50/60	0,2	0,12	406,4	34,6	516,6	142,9	61,0	5,3	22,9	5,6	692,0	4 305,3	1 429,1
C50/60	0,2	0,13	406,4	34,5	559,7	142,9	61,0	5,3	21,0	5,6	689,8	4 305,3	1 429,1
C50/60	0,2	0,14	406,4	34,4	602,7	142,9	61,0	5,3	19,5	5,6	687,6	4 305,3	1 429,1
C50/60	0,2	0,15	406,4	34,3	645,8	142,9	61,0	5,3	18,9	5,6	685,4	4 305,3	1 429,1
C50/60	0,25	0,12	406,4	44,3	516,6	142,9	61,0	5,6	22,7	5,6	778,5	4 305,3	1 429,1
C50/60	0,25	0,13	406,4	44,2	559,7	142,9	61,0	5,6	20,8	5,6	776,0	4 305,3	1 429,1
C50/60	0,25	0,14	406,4	44,1	602,7	142,9	61,0	5,6	19,2	5,6	773,6	4 305,3	1 429,1
C50/60	0,25	0,15	406,4	43,9	645,8	142,9	61,0	5,6	18,6	5,6	771,1	4 305,3	1 429,1
C60/75	0,2	0,12	406,4	34,6	516,6	142,9	61,0	5,3	21,6	5,6	692,0	4 305,3	1 429,1
C60/75	0,2	0,13	406,4	34,5	559,7	142,9	61,0	5,3	19,7	5,6	689,8	4 305,3	1 429,1
C60/75	0,2	0,14	406,4	34,4	602,7	142,9	61,0	5,3	19,3	5,6	687,6	4 305,3	1 429,1
C60/75	0,2	0,15	406,4	34,3	645,8	142,9	61,0	5,3	19,5	5,6	685,4	4 305,3	1 429,1
C60/75	0,25	0,12	406,4	44,3	516,6	142,9	61,0	5,6	21,4	5,6	778,5	4 305,3	1 429,1
C60/75	0,25	0,13	406,4	44,2	559,7	142,9	61,0	5,6	19,4	5,6	776,0	4 305,3	1 429,1
C60/75	0,25	0,14	406,4	44,1	602,7	142,9	61,0	5,6	19,0	5,6	773,6	4 305,3	1 429,1
C60/75	0,25	0,15	406,4	43,9	645,8	142,9	61,0	5,6	19,2	5,6	771,1	4 305,3	1 429,1
C70/85	0,2	0,12	406,4	34,6	516,6	142,9	61,0	5,3	20,8	5,6	692,0	4 305,3	1 429,1
C70/85	0,2	0,13	406,4	34,5	559,7	142,9	61,0	5,3	19,8	5,6	689,8	4 305,3	1 429,1
C70/85	0,2	0,14	406,4	34,4	602,7	142,9	61,0	5,3	19,6	5,6	687,6	4 305,3	1 429,1
C70/85	0,2	0,15	406,4	34,3	645,8	142,9	61,0	5,3	19,9	5,6	685,4	4 305,3	1 429,1
C70/85	0,25	0,12	406,4	44,3	516,6	142,9	61,0	5,6	20,5	5,6	778,5	4 305,3	1 429,1
C70/85	0,25	0,13	406,4	44,2	559,7	142,9	61,0	5,6	19,6	5,6	776,0	4 305,3	1 429,1
C70/85	0,25	0,14	406,4	44,1	602,7	142,9	61,0	5,6	19,4	5,6	773,6	4 305,3	1 429,1
C70/85	0,25	0,15	406,4	43,9	645,8	142,9	61,0	5,6	19,7	5,6	771,1	4 305,3	1 429,1
C80/95	0,2	0,12	406,4	34,6	516,6	142,9	61,0	5,3	20,8	5,6	692,0	4 305,3	1 429,1
C80/95	0,2	0,13	406,4	34,5	559,7	142,9	61,0	5,3	20,0	5,6	689,8	4 305,3	1 429,1
C80/95	0,2	0,14	406,4	34,4	602,7	142,9	61,0	5,3	20,0	5,6	687,6	4 305,3	1 429,1
C80/95	0,2	0,15	406,4	34,3	645,8	142,9	61,0	5,3	20,4	5,6	685,4	4 305,3	1 429,1
C80/95	0,25	0,12	406,4	44,3	516,6	142,9	61,0	5,6	20,6	5,6	778,5	4 305,3	1 429,1
C80/95	0,25	0,13	406,4	44,2	559,7	142,9	61,0	5,6	19,8	5,6	776,0	4 305,3	1 429,1
C80/95	0,25	0,14	406,4	44,1	602,7	142,9	61,0	5,6	19,7	5,6	773,6	4 305,3	1 429,1
C80/95	0,25	0,15	406,4	43,9	645,8	142,9	61,0	5,6	20,2	5,6	771,1	4 305,3	1 429,1

Přesun hmot				Cena	Environmentální dopad							
Základy t	Sloupy t	Desky t	Stěny t	Cena Kč	GWP kg CO ₂ ekv.	FDP kg ropy ekv.	MDP kg Fe ekv.	TAP kg SO ₂ ekv.	FEP kg P ekv.	ODP kg CFC-11 ekv.	PMFP kg PM ₁₀ ekv.	POFP kg NMVOC ekv.
995,6	85,0	1 212,6	334,3	11 432 053	451 244	40 235	63 417	458,7	1,6	205 × 10 ⁻⁶	304,1	583,8
995,6	84,7	1 309,7	334,3	11 513 460	465 835	40 961	62 444	468,9	1,7	213 × 10 ⁻⁶	313,6	599,4
995,6	84,5	1 407,1	334,3	11 605 203	480 558	41 724	61 629	479,5	1,7	221 × 10 ⁻⁶	323,1	615,3
995,6	84,2	1 505,2	334,3	11 725 000	495 638	42 587	61 248	491,0	1,8	229 × 10 ⁻⁶	332,9	632,0
995,6	107,6	1 212,6	334,3	11 547 457	454 918	40 501	63 570	461,9	1,6	207 × 10 ⁻⁶	306,5	588,2
995,6	107,3	1 309,6	334,3	11 625 801	469 464	41 216	62 554	472,1	1,7	214 × 10 ⁻⁶	315,9	603,7
995,6	107,0	1 406,9	334,3	11 714 321	484 139	41 968	61 695	482,6	1,8	222 × 10 ⁻⁶	325,4	619,4
995,6	106,6	1 505,0	334,3	11 833 417	499 202	42 829	61 308	494,0	1,8	230 × 10 ⁻⁶	335,3	636,2
995,6	84,9	1 212,2	334,3	11 551 720	479 691	42 249	63 535	481,2	2,1	273 × 10 ⁻⁶	319,1	614,0
995,6	84,7	1 308,5	334,3	11 611 416	495 017	42 948	62 109	491,4	2,1	284 × 10 ⁻⁶	328,8	629,9
995,6	84,4	1 406,4	334,3	11 730 291	511 095	43 859	61 597	503,5	2,2	294 × 10 ⁻⁶	339,1	647,5
995,6	84,2	1 504,3	334,3	11 853 035	527 223	44 783	61 145	515,7	2,3	305 × 10 ⁻⁶	349,5	665,3
995,6	107,6	1 211,8	334,3	11 656 288	483 456	42 488	63 493	484,3	2,1	275 × 10 ⁻⁶	321,5	618,3
995,6	107,2	1 308,4	334,3	11 727 316	498 919	43 227	62 248	494,8	2,2	286 × 10 ⁻⁶	331,3	634,5
995,6	106,9	1 406,1	334,3	11 841 147	514 925	44 121	61 663	506,7	2,2	297 × 10 ⁻⁶	341,6	652,0
995,6	106,6	1 504,0	334,3	11 959 041	530 983	45 028	61 142	518,8	2,3	307 × 10 ⁻⁶	351,9	669,6
995,6	84,9	1 211,1	334,3	11 621 566	498 718	43 711	63 208	496,5	2,5	341 × 10 ⁻⁶	329,2	634,3
995,6	84,7	1 308,3	334,3	11 719 971	515 211	44 587	62 286	508,4	2,6	354 × 10 ⁻⁶	339,7	651,9
995,6	84,4	1 405,8	334,3	11 832 422	531 883	45 513	61 581	520,7	2,7	368 × 10 ⁻⁶	350,2	670,0
995,6	84,2	1 504,2	334,3	11 979 356	548 994	46 562	61 408	534,1	2,8	381 × 10 ⁻⁶	361,2	689,2
995,6	107,5	1 211,0	334,3	11 736 528	502 768	43 996	63 305	500,0	2,5	344 × 10 ⁻⁶	331,8	639,0
995,6	107,2	1 308,0	334,3	11 831 226	519 207	44 858	62 332	511,7	2,6	357 × 10 ⁻⁶	342,2	656,5
995,6	106,9	1 405,5	334,3	11 941 155	535 839	45 776	61 593	523,9	2,7	371 × 10 ⁻⁶	352,8	674,6
995,6	106,6	1 503,9	334,3	12 089 823	552 963	46 832	61 452	537,4	2,8	384 × 10 ⁻⁶	363,8	693,8
995,6	84,9	1 209,9	334,3	12 195 292	529 240	46 920	63 037	525,0	3,8	546 × 10 ⁻⁶	346,0	669,3
995,6	84,6	1 306,9	334,3	12 328 402	546 900	47 913	62 078	537,9	3,9	567 × 10 ⁻⁶	357,1	688,2
995,6	84,4	1 405,6	334,3	12 523 846	565 352	49 131	62 082	552,8	4,1	588 × 10 ⁻⁶	368,8	709,1
995,6	84,1	1 504,8	334,3	12 742 767	584 103	50 432	62 448	568,5	4,2	610 × 10 ⁻⁶	380,8	730,8
995,6	107,5	1 209,7	334,3	12 317 749	533 550	47 230	63 121	528,7	3,8	551 × 10 ⁻⁶	348,8	674,3
995,6	107,2	1 306,7	334,3	12 448 586	551 172	48 216	62 133	541,5	4,0	572 × 10 ⁻⁶	359,8	693,2
995,6	106,9	1 405,3	334,3	12 642 741	569 600	49 429	62 122	556,4	4,1	593 × 10 ⁻⁶	371,6	714,0
995,6	106,6	1 504,5	334,3	12 862 264	588 350	50 733	62 503	572,1	4,2	615 × 10 ⁻⁶	383,5	735,7
995,6	84,9	1 209,0	334,3	13 036 456	561 192	50 836	63 239	557,4	5,5	819 × 10 ⁻⁶	363,9	707,6
995,6	84,6	1 307,1	334,3	13 263 483	580 622	52 130	62 923	572,9	5,7	851 × 10 ⁻⁶	376,1	729,4
995,6	84,4	1 405,9	334,3	13 520 572	600 434	53 532	63 071	589,4	5,9	883 × 10 ⁻⁶	388,6	752,0
995,6	84,1	1 505,3	334,3	13 797 823	620 502	55 006	63 530	606,5	6,1	915 × 10 ⁻⁶	401,3	775,3
995,6	107,5	1 208,8	334,3	13 170 504	565 780	51 179	63 318	561,3	5,5	826 × 10 ⁻⁶	366,8	712,9
995,6	107,2	1 306,8	334,3	13 396 045	585 182	52 468	62 986	576,8	5,7	858 × 10 ⁻⁶	379,0	734,6
995,6	106,9	1 405,7	334,3	13 652 203	604 973	53 867	63 126	593,2	6,0	890 × 10 ⁻⁶	391,5	757,3
995,6	106,6	1 505,0	334,3	13 929 623	625 034	55 342	63 594	610,4	6,2	922 × 10 ⁻⁶	404,2	780,6
995,6	84,9	1 209,1	334,3	14 247 224	593 541	54 864	64 002	590,9	7,2	1.09 × 10 ⁻³	381,6	747,0
995,6	84,6	1 307,3	334,3	14 554 851	614 306	56 336	63 805	607,9	7,5	1.13 × 10 ⁻³	394,5	770,4
995,6	84,4	1 406,3	334,3	14 892 856	635 458	57 916	64 076	625,8	7,8	1.18 × 10 ⁻³	407,8	794,8
995,6	84,1	1 505,7	334,3	15 248 499	656 833	59 561	64 620	644,4	8,0	1.22 × 10 ⁻³	421,3	819,7
995,6	107,5	1 208,9	334,3	14 398 085	598 414	55 242	64 086	595,1	7,3	1.10 × 10 ⁻³	384,6	752,6
995,6	107,2	1 307,1	334,3	14 704 528	619 154	56 710	63 878	612,1	7,5	1.14 × 10 ⁻³	397,6	776,0
995,6	106,9	1 406,0	334,3	15 041 628	640 285	58 288	64 142	630,0	7,8	1.19 × 10 ⁻³	410,8	800,4
995,6	106,6	1 505,5	334,3	15 397 111	661 649	59 932	64 691	648,6	8,1	1.23 × 10 ⁻³	424,3	825,3

D.2 Varianta se 4 podlažími a osovou vzd. sloupů 8 m

Optim. proměnné			Beton				Výztuž				Bednění		
Třída betonu	a m	d m	Základy m ³	Sloupy m ³	Desky m ³	Stěny m ³	Základy t	Sloupy t	Desky t	Stěny t	Sloupy m ²	Desky m ²	Stěny m ²
C30/37	0,4	0,31	832,3	33,8	1 334,6	142,9	125,4	3,8	39,6	6,4	358,8	4 305,3	1 429,1
C30/37	0,4	0,32	832,3	33,7	1 377,7	142,9	125,4	-	39,5	6,4	357,6	4 305,3	1 429,1
C30/37	0,45	0,31	832,3	43,4	1 334,6	142,9	125,4	3,3	38,7	6,3	406,6	4 305,3	1 429,1
C30/37	0,45	0,32	832,3	43,2	1 377,7	142,9	125,4	3,3	38,6	6,3	405,3	4 305,3	1 429,1
C30/37	0,5	0,31	832,3	54,1	1 334,6	142,9	125,4	3,1	38,2	6,3	454,5	4 305,3	1 429,1
C30/37	0,5	0,32	832,3	53,9	1 377,7	142,9	125,4	3,1	38,0	6,3	453,0	4 305,3	1 429,1
C35/45	0,4	0,28	832,3	34,1	1 205,5	142,9	125,4	3,1	40,5	6,4	362,4	4 305,3	1 429,1
C35/45	0,4	0,29	832,3	34,0	1 248,5	142,9	125,4	3,1	40,2	6,4	361,2	4 305,3	1 429,1
C35/45	0,4	0,3	832,3	33,9	1 291,6	142,9	125,4	3,1	39,9	6,4	360,0	4 305,3	1 429,1
C35/45	0,4	0,31	832,3	33,8	1 334,6	142,9	125,4	3,1	39,8	6,4	358,8	4 305,3	1 429,1
C35/45	0,45	0,28	832,3	43,8	1 205,5	142,9	125,4	3,0	39,8	6,3	410,7	4 305,3	1 429,1
C35/45	0,45	0,29	832,3	43,6	1 248,5	142,9	125,4	3,0	39,5	6,3	409,4	4 305,3	1 429,1
C35/45	0,45	0,3	832,3	43,5	1 291,6	142,9	125,4	3,0	39,3	6,3	408,0	4 305,3	1 429,1
C35/45	0,45	0,31	832,3	43,4	1 334,6	142,9	125,4	3,0	39,1	6,3	406,6	4 305,3	1 429,1
C40/50	0,35	0,25	774,3	25,9	1 076,3	142,9	116,1	3,2	42,8	6,4	317,2	4 305,3	1 429,1
C40/50	0,35	0,26	774,3	25,8	1 119,4	142,9	116,1	-	42,4	6,4	316,2	4 305,3	1 429,1
C40/50	0,35	0,27	774,3	25,8	1 162,4	142,9	116,1	-	42,1	6,4	315,1	4 305,3	1 429,1
C40/50	0,35	0,28	774,3	25,7	1 205,5	142,9	116,1	-	41,8	6,4	314,1	4 305,3	1 429,1
C40/50	0,4	0,25	774,3	34,5	1 076,3	142,9	116,1	2,9	41,8	6,4	366,0	4 305,3	1 429,1
C40/50	0,4	0,26	774,3	34,4	1 119,4	142,9	116,1	2,9	41,3	6,4	364,8	4 305,3	1 429,1
C40/50	0,4	0,27	774,3	34,2	1 162,4	142,9	116,1	2,9	40,9	6,4	363,6	4 305,3	1 429,1
C40/50	0,4	0,28	774,3	34,1	1 205,5	142,9	116,1	2,9	40,6	6,4	362,4	4 305,3	1 429,1
C45/55	0,35	0,22	706,4	26,2	947,2	142,9	119,0	3,0	44,7	6,4	320,3	4 305,3	1 429,1
C45/55	0,35	0,23	706,4	26,1	990,2	142,9	122,0	2,9	43,8	6,4	319,3	4 305,3	1 429,1
C45/55	0,35	0,24	706,4	26,0	1 033,3	142,9	124,9	2,9	43,2	6,4	318,2	4 305,3	1 429,1
C45/55	0,35	0,25	706,4	25,9	1 076,3	142,9	127,8	2,9	42,8	6,4	317,2	4 305,3	1 429,1
C45/55	0,4	0,22	706,4	34,8	947,2	142,9	130,6	2,9	43,9	6,4	369,6	4 305,3	1 429,1
C45/55	0,4	0,23	706,4	34,7	990,2	142,9	133,5	2,9	42,8	6,4	368,4	4 305,3	1 429,1
C45/55	0,4	0,24	706,4	34,6	1 033,3	142,9	136,4	2,8	42,1	6,4	367,2	4 305,3	1 429,1
C45/55	0,4	0,25	706,4	34,5	1 076,3	142,9	139,2	2,8	41,6	6,4	366,0	4 305,3	1 429,1
C50/60	0,35	0,2	648,4	26,4	861,1	142,9	95,9	2,9	47,0	6,4	322,4	4 305,3	1 429,1
C50/60	0,35	0,21	648,4	26,3	904,1	142,9	95,9	2,8	45,6	6,4	321,4	4 305,3	1 429,1
C50/60	0,35	0,22	648,4	26,2	947,2	142,9	95,9	2,8	44,7	6,4	320,3	4 305,3	1 429,1
C50/60	0,35	0,23	648,4	26,1	990,2	142,9	95,9	2,7	43,8	6,4	319,3	4 305,3	1 429,1
C50/60	0,4	0,2	648,4	35,0	861,1	142,9	95,9	3,0	46,1	6,4	372,0	4 305,3	1 429,1
C50/60	0,4	0,21	648,4	34,9	904,1	142,9	95,9	2,9	44,9	6,4	370,8	4 305,3	1 429,1
C50/60	0,4	0,22	648,4	34,8	947,2	142,9	95,9	2,9	43,7	6,4	369,6	4 305,3	1 429,1
C50/60	0,4	0,23	648,4	34,7	990,2	142,9	95,9	2,9	42,9	6,4	368,4	4 305,3	1 429,1
C60/75	0,3	0,19	590,3	19,0	818,0	142,9	86,6	3,0	49,2	6,5	273,7	4 305,3	1 429,1
C60/75	0,3	0,2	590,3	18,9	861,1	142,9	86,6	2,9	47,9	6,5	272,8	4 305,3	1 429,1
C60/75	0,3	0,21	590,3	18,8	904,1	142,9	86,6	2,7	46,8	6,5	271,9	4 305,3	1 429,1
C60/75	0,3	0,22	590,3	18,8	947,2	142,9	86,6	2,6	45,8	6,5	271,0	4 305,3	1 429,1
C60/75	0,35	0,19	590,3	26,4	818,0	142,9	86,6	2,9	47,8	6,4	323,4	4 305,3	1 429,1
C60/75	0,35	0,2	590,3	26,4	861,1	142,9	86,6	2,8	46,6	6,4	322,4	4 305,3	1 429,1
C60/75	0,35	0,21	590,3	26,3	904,1	142,9	86,6	2,7	45,3	6,4	321,4	4 305,3	1 429,1
C60/75	0,35	0,22	590,3	26,2	947,2	142,9	86,6	2,7	44,4	6,4	320,3	4 305,3	1 429,1

Přesun hmot				Cena	Environmentální dopad							
Základy t	Sloupce t	Desky t	Stěny t	Cena Kč	GWP kg CO ₂ ekv.	FDP kg ropy ekv.	MDP kg Fe ekv.	TAP kg SO ₂ ekv.	FEP kg P ekv.	ODP kg CFC-11 ekv.	PMFP kg PM ₁₀ ekv.	POFP kg NMVOC ekv.
1 880,6	81,5	3 109,3	335,1	18 037 076	752 552	70 010	114 164	789,3	1,5	145 × 10 ⁻⁶	562,3	1 011,5
1 880,6	0,0	3 208,2	335,1	Nelze nadimenzovat výztuž...								
1 880,6	103,0	3 108,4	335,0	18 053 863	754 565	69 997	113 325	789,8	1,5	146 × 10 ⁻⁶	563,7	1 013,1
1 880,6	102,7	3 207,2	335,0	18 186 035	766 564	70 780	113 351	799,8	1,5	149 × 10 ⁻⁶	572,6	1 027,3
1 880,6	127,6	3 107,8	335,0	18 099 908	757 233	70 095	112 875	791,5	1,5	147 × 10 ⁻⁶	565,7	1 015,8
1 880,6	127,2	3 206,7	335,0	18 232 484	769 230	70 880	112 911	801,4	1,6	149 × 10 ⁻⁶	574,5	1 030,0
1 880,6	81,6	2 813,1	335,1	17 932 599	836 399	73 012	115 533	842,3	2,4	275 × 10 ⁻⁶	571,0	1 082,6
1 880,6	81,4	2 911,8	335,1	18 068 904	850 663	73 881	115 505	853,7	2,4	280 × 10 ⁻⁶	580,5	1 098,9
1 880,6	81,1	3 010,6	335,1	18 207 417	864 955	74 757	115 510	865,1	2,4	285 × 10 ⁻⁶	590,0	1 115,2
1 880,6	80,9	3 109,5	335,1	18 351 003	879 312	75 651	115 595	876,7	2,5	291 × 10 ⁻⁶	599,6	1 131,8
1 880,6	103,7	2 812,4	335,0	17 971 070	839 204	73 092	114 994	843,8	2,4	276 × 10 ⁻⁶	572,8	1 085,2
1 880,6	103,3	2 911,1	335,0	18 107 517	853 462	73 961	114 971	855,2	2,4	281 × 10 ⁻⁶	582,3	1 101,5
1 880,6	103,0	3 009,9	335,0	18 246 864	867 757	74 841	114 994	866,6	2,4	286 × 10 ⁻⁶	591,8	1 117,9
1 880,6	102,7	3 108,8	335,0	18 391 305	882 117	75 738	115 095	878,3	2,5	292 × 10 ⁻⁶	601,4	1 134,5
1 737,8	62,9	2 518,3	335,1	17 218 156	819 875	71 684	111 320	822,2	3,0	376 × 10 ⁻⁶	552,0	1 054,6
1 737,8	0,0	2 616,9	335,1	Nelze nadimenzovat výztuž...								
1 737,8	0,0	2 715,6	335,1	Nelze nadimenzovat výztuž...								
1 737,8	0,0	2 814,4	335,1	Nelze nadimenzovat výztuž...								
1 737,8	82,2	2 517,3	335,1	17 239 221	822 333	71 702	110 546	823,1	3,0	377 × 10 ⁻⁶	553,5	1 056,6
1 737,8	81,9	2 615,9	335,1	17 375 605	837 613	72 622	110 409	835,1	3,0	385 × 10 ⁻⁶	563,5	1 073,9
1 737,8	81,7	2 714,5	335,1	17 518 870	852 981	73 567	110 379	847,3	3,1	393 × 10 ⁻⁶	573,6	1 091,3
1 737,8	81,4	2 813,2	335,1	17 664 074	868 373	74 519	110 378	859,6	3,1	401 × 10 ⁻⁶	583,7	1 108,8
1 570,8	63,2	2 223,2	335,1	16 421 679	791 573	69 280	105 589	790,7	3,4	452 × 10 ⁻⁶	526,6	1 012,5
1 570,8	62,9	2 321,3	335,1	16 549 158	807 758	70 219	105 194	803,1	3,5	463 × 10 ⁻⁶	537,0	1 030,4
1 570,8	62,7	2 419,7	335,1	16 689 778	824 110	71 205	105 002	815,8	3,6	473 × 10 ⁻⁶	547,6	1 048,7
1 570,8	62,5	2 518,3	335,1	16 837 797	840 556	72 217	104 925	828,9	3,6	484 × 10 ⁻⁶	558,2	1 067,3
1 570,8	83,0	2 222,4	335,1	16 460 477	794 483	69 371	105 056	792,3	3,4	454 × 10 ⁻⁶	528,4	1 015,2
1 570,8	82,7	2 320,3	335,1	16 580 242	810 562	70 283	104 546	804,4	3,5	465 × 10 ⁻⁶	538,7	1 032,9
1 570,8	82,3	2 418,6	335,1	16 717 573	826 864	71 257	104 307	817,1	3,6	475 × 10 ⁻⁶	549,2	1 051,1
1 570,8	82,0	2 517,2	335,1	16 861 716	843 253	72 256	104 174	830,0	3,6	486 × 10 ⁻⁶	559,8	1 069,5
1 428,0	63,5	2 027,4	335,1	15 813 348	761 937	67 117	101 044	761,4	3,8	520 × 10 ⁻⁶	503,6	972,5
1 428,0	63,3	2 125,0	335,1	15 929 448	778 653	68 053	100 379	773,8	3,9	534 × 10 ⁻⁶	514,2	990,7
1 428,0	63,0	2 223,1	335,1	16 064 780	795 613	69 058	100 012	786,8	4,0	547 × 10 ⁻⁶	525,0	1 009,5
1 428,0	62,7	2 321,2	335,1	16 198 317	812 551	70 056	99 616	799,8	4,1	560 × 10 ⁻⁶	535,8	1 028,2
1 428,0	83,6	2 026,6	335,1	15 859 699	765 095	67 243	100 603	763,3	3,8	523 × 10 ⁻⁶	505,5	975,7
1 428,0	83,2	2 124,3	335,1	15 979 592	781 851	68 193	100 000	775,8	3,9	536 × 10 ⁻⁶	516,2	994,0
1 428,0	82,9	2 222,2	335,1	16 104 814	798 675	69 162	99 481	788,5	4,0	550 × 10 ⁻⁶	526,9	1 012,4
1 428,0	82,6	2 320,4	335,1	16 244 692	815 685	70 183	99 187	801,7	4,1	563 × 10 ⁻⁶	537,8	1 031,3
1 285,2	46,6	1 930,6	335,2	16 018 048	758 889	68 093	97 188	759,4	5,4	779 × 10 ⁻⁶	497,1	965,9
1 285,2	46,4	2 028,3	335,2	16 173 390	776 836	69 163	96 551	773,0	5,5	800 × 10 ⁻⁶	508,4	985,5
1 285,2	46,1	2 126,2	335,2	16 335 703	794 872	70 258	96 023	786,8	5,7	821 × 10 ⁻⁶	519,8	1 005,4
1 285,2	45,8	2 224,3	335,2	16 505 505	813 003	71 380	95 610	800,9	5,8	843 × 10 ⁻⁶	531,3	1 025,4
1 285,2	63,7	1 929,2	335,1	16 036 745	761 395	68 105	96 294	760,2	5,4	783 × 10 ⁻⁶	498,6	967,8
1 285,2	63,4	2 027,0	335,1	16 195 818	779 382	69 189	95 720	773,9	5,6	804 × 10 ⁻⁶	509,9	987,5
1 285,2	63,1	2 124,7	335,1	16 352 771	797 343	70 265	95 113	787,6	5,7	825 × 10 ⁻⁶	521,3	1 007,2
1 285,2	62,9	2 222,8	335,1	16 524 587	815 492	71 395	94 735	801,7	5,8	846 × 10 ⁻⁶	532,8	1 027,3

Optim. proměnné			Beton				Výztuž				Bednění		
Třída betonu	a m	d m	Základy m ³	Sloupy m ³	Desky m ³	Stěny m ³	Základy t	Sloupy t	Desky t	Stěny t	Sloupy m ²	Desky m ²	Stěny m ²
C70/85	0,3	0,18	590,3	19,0	774,9	142,9	86,6	2,9	50,4	6,5	274,6	4 305,3	1 429,1
C70/85	0,3	0,19	590,3	19,0	818,0	142,9	86,6	2,7	48,8	6,5	273,7	4 305,3	1 429,1
C70/85	0,3	0,2	590,3	18,9	861,1	142,9	86,6	2,6	47,6	6,5	272,8	4 305,3	1 429,1
C70/85	0,3	0,21	590,3	18,8	904,1	142,9	86,6	2,5	46,5	6,5	271,9	4 305,3	1 429,1
C70/85	0,35	0,18	590,3	26,5	774,9	142,9	86,6	3,0	48,7	6,4	324,5	4 305,3	1 429,1
C70/85	0,35	0,19	590,3	26,4	818,0	142,9	86,6	2,9	47,4	6,4	323,4	4 305,3	1 429,1
C70/85	0,35	0,2	590,3	26,4	861,1	142,9	86,6	2,8	46,1	6,4	322,4	4 305,3	1 429,1
C70/85	0,35	0,21	590,3	26,3	904,1	142,9	86,6	2,7	45,0	6,4	321,4	4 305,3	1 429,1
C80/95	0,3	0,18	590,3	19,0	774,9	142,9	86,6	2,8	49,7	6,5	274,6	4 305,3	1 429,1
C80/95	0,3	0,19	590,3	19,0	818,0	142,9	86,6	2,6	48,3	6,5	273,7	4 305,3	1 429,1
C80/95	0,3	0,2	590,3	18,9	861,1	142,9	86,6	2,5	47,1	6,5	272,8	4 305,3	1 429,1
C80/95	0,3	0,21	590,3	18,8	904,1	142,9	86,6	2,4	46,2	6,5	271,9	4 305,3	1 429,1
C80/95	0,35	0,18	590,3	26,5	774,9	142,9	86,6	3,0	48,4	6,4	324,5	4 305,3	1 429,1
C80/95	0,35	0,19	590,3	26,4	818,0	142,9	86,6	2,9	46,8	6,4	323,4	4 305,3	1 429,1
C80/95	0,35	0,2	590,3	26,4	861,1	142,9	86,6	2,8	45,6	6,4	322,4	4 305,3	1 429,1
C80/95	0,35	0,21	590,3	26,3	904,1	142,9	86,6	2,7	44,7	6,4	321,4	4 305,3	1 429,1

Přesun hmot				Cena	Environmentální dopad							
Základy t	Sloupy t	Desky t	Stěny t	Cena Kč	GWP kg CO ₂ ekv.	FDP kg ropy ekv.	MDP kg Fe ekv.	TAP kg SO ₂ ekv.	FEP kg P ekv.	ODP kg CFC-11 ekv.	PMFP kg PM ₁₀ ekv.	POFP kg NMVOC ekv.
1 285,2	46,7	1 832,8	335,2	17 029 265	785 696	72 573	98 604	791,8	7,6	1.14 × 10 ⁻³	510,9	1 000,4
1 285,2	46,3	1 930,2	335,2	17 223 029	804 707	73 745	97 752	806,2	7,8	1.17 × 10 ⁻³	522,8	1 021,1
1 285,2	46,1	2 028,0	335,2	17 436 125	823 964	74 985	97 199	821,3	8,0	1.20 × 10 ⁻³	534,8	1 042,4
1 285,2	45,8	2 126,0	335,2	17 657 138	843 323	76 255	96 769	836,5	8,3	1.23 × 10 ⁻³	547,0	1 063,9
1 285,2	64,0	1 831,1	335,1	17 054 596	788 395	72 603	97 670	792,8	7,7	1.14 × 10 ⁻³	512,5	1 002,5
1 285,2	63,7	1 928,8	335,1	17 262 740	807 582	73 826	97 045	807,6	7,9	1.17 × 10 ⁻³	524,5	1 023,7
1 285,2	63,4	2 026,5	335,1	17 474 031	826 809	75 061	96 469	822,6	8,1	1.21 × 10 ⁻³	536,5	1 044,9
1 285,2	63,1	2 124,5	335,1	17 694 543	846 153	76 329	96 035	837,9	8,3	1.24 × 10 ⁻³	548,7	1 066,4
1 285,2	46,6	1 832,1	335,2	18 630 206	830 164	78 043	99 148	837,2	10,0	1.51 × 10 ⁻³	535,1	1 054,0
1 285,2	46,3	1 929,7	335,2	18 906 826	850 539	79 401	98 448	853,2	10,3	1.56 × 10 ⁻³	547,8	1 076,5
1 285,2	46,0	2 027,6	335,2	19 195 973	871 074	80 803	97 942	869,6	10,6	1.60 × 10 ⁻³	560,5	1 099,3
1 285,2	45,7	2 125,6	335,2	19 495 028	891 736	82 240	97 590	886,2	10,8	1.64 × 10 ⁻³	573,4	1 122,5
1 285,2	64,0	1 830,7	335,1	18 682 206	833 256	78 150	98 429	838,8	10,1	1.52 × 10 ⁻³	537,0	1 056,8
1 285,2	63,7	1 928,2	335,1	18 958 251	853 617	79 505	97 727	854,8	10,3	1.57 × 10 ⁻³	549,6	1 079,2
1 285,2	63,4	2 026,0	335,1	19 246 706	874 136	80 905	97 216	871,1	10,6	1.61 × 10 ⁻³	562,3	1 102,1
1 285,2	63,1	2 124,1	335,1	19 547 470	894 812	82 349	96 895	887,9	10,9	1.65 × 10 ⁻³	575,2	1 125,3

D.3 Varianta s 8 podlažími a osovou vzd. sloupů 4 m

Optim. proměnné			Beton				Výztuž				Bednění		
Třída betonu	a m	d m	Základy m ³	Sloupy m ³	Desky m ³	Stěny m ³	Základy t	Sloupy t	Desky t	Stěny t	Sloupy m ²	Desky m ²	Stěny m ²
C20/25	0,35	0,16	580,5	134,5	1 374,3	285,8	87,1	13,7	43,4	11,3	1 879,0	8 589,6	2 858,2
C20/25	0,35	0,17	580,5	134,1	1 460,2	285,8	87,1	14,0	42,2	11,3	1 873,0	8 589,6	2 858,2
C20/25	0,35	0,18	580,5	133,7	1 546,1	285,8	87,1	14,3	41,0	11,3	1 867,0	8 589,6	2 858,2
C20/25	0,35	0,19	580,5	133,2	1 632,0	285,8	87,1	14,7	40,8	11,3	1 861,0	8 589,6	2 858,2
C20/25	0,4	0,16	580,5	185,8	1 374,3	285,8	87,1	13,8	42,5	11,3	2 220,6	8 589,6	2 858,2
C20/25	0,4	0,17	580,5	185,2	1 460,2	285,8	87,1	13,8	41,2	11,3	2 213,5	8 589,6	2 858,2
C20/25	0,4	0,18	580,5	184,6	1 546,1	285,8	87,1	13,8	39,9	11,3	2 206,5	8 589,6	2 858,2
C20/25	0,4	0,19	580,5	184,0	1 632,0	285,8	87,1	13,8	39,9	11,3	2 199,4	8 589,6	2 858,2
C25/30	0,3	0,15	580,5	99,6	1 288,4	285,8	87,1	14,3	46,4	11,3	1 627,9	8 589,6	2 858,2
C25/30	0,3	0,16	580,5	99,3	1 374,3	285,8	87,1	14,8	44,0	11,3	1 622,8	8 589,6	2 858,2
C25/30	0,3	0,17	580,5	99,0	1 460,2	285,8	87,1	15,3	43,0	11,4	1 617,6	8 589,6	2 858,2
C25/30	0,3	0,18	580,5	98,7	1 546,1	285,8	87,1	15,9	42,8	11,4	1 612,4	8 589,6	2 858,2
C25/30	0,35	0,15	580,5	134,9	1 288,4	285,8	87,1	12,6	45,2	11,3	1 885,0	8 589,6	2 858,2
C25/30	0,35	0,16	580,5	134,5	1 374,3	285,8	87,1	12,6	42,6	11,3	1 879,0	8 589,6	2 858,2
C25/30	0,35	0,17	580,5	134,1	1 460,2	285,8	87,1	12,6	41,5	11,3	1 873,0	8 589,6	2 858,2
C25/30	0,35	0,18	580,5	133,7	1 546,1	285,8	87,1	12,6	41,1	11,3	1 867,0	8 589,6	2 858,2
C30/37	0,3	0,14	580,5	99,9	1 202,5	285,8	87,1	12,1	47,5	11,3	1 633,1	8 589,6	2 858,2
C30/37	0,3	0,15	580,5	99,6	1 288,4	285,8	87,1	12,3	44,6	11,3	1 627,9	8 589,6	2 858,2
C30/37	0,3	0,16	580,5	99,3	1 374,3	285,8	87,1	12,5	43,3	11,3	1 622,8	8 589,6	2 858,2
C30/37	0,3	0,17	580,5	99,0	1 460,2	285,8	87,1	12,7	41,9	11,4	1 617,6	8 589,6	2 858,2
C30/37	0,35	0,14	580,5	135,4	1 202,5	285,8	87,1	12,5	46,2	11,3	1 890,9	8 589,6	2 858,2
C30/37	0,35	0,15	580,5	134,9	1 288,4	285,8	87,1	12,5	43,2	11,3	1 885,0	8 589,6	2 858,2
C30/37	0,35	0,16	580,5	134,5	1 374,3	285,8	87,1	12,5	41,8	11,3	1 879,0	8 589,6	2 858,2
C30/37	0,35	0,17	580,5	134,1	1 460,2	285,8	87,1	12,5	40,6	11,3	1 873,0	8 589,6	2 858,2
C35/45	0,3	0,13	580,5	100,2	1 116,7	285,8	87,1	11,6	50,3	11,3	1 638,3	8 589,6	2 858,2
C35/45	0,3	0,14	580,5	99,9	1 202,5	285,8	87,1	11,6	46,5	11,3	1 633,1	8 589,6	2 858,2
C35/45	0,3	0,15	580,5	99,6	1 288,4	285,8	87,1	11,6	44,3	11,3	1 627,9	8 589,6	2 858,2
C35/45	0,3	0,16	580,5	99,3	1 374,3	285,8	87,1	11,6	41,9	11,3	1 622,8	8 589,6	2 858,2
C35/45	0,35	0,13	580,5	135,8	1 116,7	285,8	87,1	12,4	49,2	11,3	1 896,9	8 589,6	2 858,2
C35/45	0,35	0,14	580,5	135,4	1 202,5	285,8	87,1	12,4	45,4	11,3	1 890,9	8 589,6	2 858,2
C35/45	0,35	0,15	580,5	134,9	1 288,4	285,8	87,1	12,4	43,6	11,3	1 885,0	8 589,6	2 858,2
C35/45	0,35	0,16	580,5	134,5	1 374,3	285,8	87,1	12,4	41,1	11,3	1 879,0	8 589,6	2 858,2
C40/50	0,25	0,12	580,5	78,9	1 030,8	285,8	87,1	12,0	54,0	11,3	1 470,4	8 589,6	2 858,2
C40/50	0,25	0,13	580,5	78,7	1 116,7	285,8	87,1	12,2	49,6	11,3	1 465,8	8 589,6	2 858,2
C40/50	0,25	0,14	580,5	78,4	1 202,5	285,8	87,1	-	47,3	11,3	1 461,2	8 589,6	2 858,2
C40/50	0,25	0,15	580,5	78,2	1 288,4	285,8	87,1	-	44,4	11,4	1 456,6	8 589,6	2 858,2
C40/50	0,3	0,12	580,5	100,6	1 030,8	285,8	87,1	11,5	53,2	11,3	1 643,4	8 589,6	2 858,2
C40/50	0,3	0,13	580,5	100,2	1 116,7	285,8	87,1	11,5	48,5	11,3	1 638,3	8 589,6	2 858,2
C40/50	0,3	0,14	580,5	99,9	1 202,5	285,8	87,1	11,5	46,1	11,3	1 633,1	8 589,6	2 858,2
C40/50	0,3	0,15	580,5	99,6	1 288,4	285,8	87,1	11,5	43,2	11,3	1 627,9	8 589,6	2 858,2
C45/55	0,25	0,12	580,5	78,9	1 030,8	285,8	87,1	11,3	53,2	11,3	1 470,4	8 589,6	2 858,2
C45/55	0,25	0,13	580,5	78,7	1 116,7	285,8	87,1	11,4	49,9	11,3	1 465,8	8 589,6	2 858,2
C45/55	0,25	0,14	580,5	78,4	1 202,5	285,8	87,1	11,5	46,2	11,3	1 461,2	8 589,6	2 858,2
C45/55	0,25	0,15	580,5	78,2	1 288,4	285,8	87,1	11,7	44,1	11,4	1 456,6	8 589,6	2 858,2
C45/55	0,3	0,12	580,5	100,6	1 030,8	285,8	87,1	11,5	52,3	11,3	1 643,4	8 589,6	2 858,2
C45/55	0,3	0,13	580,5	100,2	1 116,7	285,8	87,1	11,5	48,7	11,3	1 638,3	8 589,6	2 858,2
C45/55	0,3	0,14	580,5	99,9	1 202,5	285,8	87,1	11,5	44,8	11,3	1 633,1	8 589,6	2 858,2
C45/55	0,3	0,15	580,5	99,6	1 288,4	285,8	87,1	11,5	42,3	11,3	1 627,9	8 589,6	2 858,2

Přesun hmot				Cena	Environmentální dopad							
Základy t	Sloupy t	Desky t	Stěny t	Cena Kč	GWP kg CO ₂ ekv.	FDP kg ropy ekv.	MDP kg Fe ekv.	TAP kg SO ₂ ekv.	FEP kg P ekv.	ODP kg CFC-11 ekv.	PMFP kg PM ₁₀ ekv.	POFP kg NMVOC ekv.
1 422,2	323,1	3 204,3	668,7	21 809 480	644 030	61 558	100 813	694,9	0,6	7.66×10^{-9}	501,2	886,3
1 422,2	322,4	3 400,7	668,7	22 039 832	663 626	62 777	100 507	710,9	0,6	7.88×10^{-9}	516,4	909,7
1 422,2	321,7	3 597,1	668,7	22 269 870	683 218	63 994	100 197	726,8	0,6	8.09×10^{-9}	531,6	933,2
1 422,2	321,1	3 794,4	668,7	22 540 392	703 324	65 357	100 511	744,1	0,6	8.32×10^{-9}	547,1	957,9
1 422,2	441,0	3 203,5	668,7	22 232 601	655 902	62 314	100 486	704,7	0,6	7.79×10^{-9}	510,4	900,4
1 422,2	439,7	3 399,7	668,7	22 443 590	675 230	63 465	99 902	720,1	0,6	8.00×10^{-9}	525,3	923,3
1 422,2	438,3	3 596,0	668,7	22 654 500	694 557	64 616	99 317	735,4	0,6	8.22×10^{-9}	540,3	946,1
1 422,2	437,0	3 793,5	668,7	22 918 218	714 554	65 957	99 545	752,5	0,6	8.44×10^{-9}	555,8	970,6
1 422,2	243,3	3 009,8	668,7	21 509 204	662 061	62 603	103 210	707,7	0,6	7.46×10^{-9}	505,3	902,1
1 422,2	243,1	3 205,0	668,7	21 710 186	682 898	63 782	102 338	723,7	0,6	7.68×10^{-9}	521,1	926,2
1 422,2	243,0	3 401,5	668,8	21 963 995	704 407	65 150	102 281	741,4	0,6	7.90×10^{-9}	537,3	951,9
1 422,2	242,9	3 598,9	668,8	22 255 087	726 388	66 651	102 798	760,3	0,6	8.13×10^{-9}	554,0	978,7
1 422,2	322,9	3 008,6	668,7	21 726 330	669 749	62 824	101 517	711,9	0,6	7.54×10^{-9}	511,0	909,7
1 422,2	322,0	3 203,6	668,7	21 897 170	690 185	63 896	100 193	726,9	0,6	7.74×10^{-9}	526,4	932,8
1 422,2	321,0	3 400,1	668,7	22 127 343	711 375	65 180	99 783	743,9	0,6	7.96×10^{-9}	542,5	957,7
1 422,2	320,0	3 597,2	668,7	22 383 760	732 897	66 558	99 778	761,7	0,6	8.19×10^{-9}	558,8	983,5
1 422,2	241,9	2 813,3	668,7	21 510 274	699 521	65 465	103 130	736,6	1,4	134×10^{-6}	522,1	939,5
1 422,2	241,4	3 008,1	668,7	21 698 268	722 333	66 711	101 825	753,6	1,5	140×10^{-6}	538,8	965,2
1 422,2	240,9	3 204,3	668,7	21 945 414	745 896	68 169	101 432	772,4	1,5	145×10^{-6}	556,2	992,7
1 422,2	240,4	3 400,4	668,8	22 188 593	769 409	69 612	100 978	791,2	1,6	150×10^{-6}	573,5	1 020,1
1 422,2	323,8	2 812,1	668,7	21 815 069	709 238	66 049	102 692	744,3	1,4	137×10^{-6}	529,2	950,6
1 422,2	322,8	3 006,6	668,7	21 985 928	731 813	67 235	101 139	760,6	1,5	142×10^{-6}	545,8	975,8
1 422,2	321,9	3 202,7	668,7	22 219 276	755 181	68 645	100 547	779,1	1,5	147×10^{-6}	563,0	1 002,9
1 422,2	320,9	3 399,2	668,7	22 463 892	778 693	70 095	100 130	797,9	1,6	153×10^{-6}	580,3	1 030,3
1 422,2	242,2	2 618,6	668,7	21 643 614	789 476	69 259	105 821	797,6	2,2	258×10^{-6}	538,6	1 020,9
1 422,2	241,4	2 812,3	668,7	21 803 121	816 324	70 544	103 848	816,2	2,3	269×10^{-6}	556,2	1 049,5
1 422,2	240,7	3 007,7	668,7	22 026 110	843 978	72 056	102 854	836,9	2,4	280×10^{-6}	574,5	1 080,1
1 422,2	240,0	3 202,9	668,7	22 242 298	871 545	73 544	101 755	857,3	2,5	290×10^{-6}	592,7	1 110,5
1 422,2	324,7	2 617,5	668,7	21 979 827	801 441	70 014	105 760	807,3	2,3	263×10^{-6}	546,5	1 034,6
1 422,2	323,8	2 811,3	668,7	22 138 260	828 251	71 296	103 787	825,9	2,3	273×10^{-6}	564,1	1 063,2
1 422,2	322,8	3 007,0	668,7	22 374 839	856 053	72 858	103 019	847,0	2,4	284×10^{-6}	582,5	1 094,2
1 422,2	321,8	3 202,1	668,7	22 583 986	883 507	74 322	101 828	867,3	2,5	295×10^{-6}	600,7	1 124,4
1 422,2	193,5	2 424,8	668,7	21 536 113	806 888	71 262	108 636	814,7	2,9	368×10^{-6}	543,2	1 039,3
1 422,2	193,2	2 617,9	668,7	21 697 348	835 799	72 656	106 463	834,7	3,0	383×10^{-6}	561,8	1 069,9
1 422,2	-	2 813,2	668,7	Nelze nadimenzovat výztuž...								
1 422,2	-	3 007,9	668,8	Nelze nadimenzovat výztuž...								
1 422,2	242,8	2 423,9	668,7	21 714 437	814 189	71 610	107 942	819,7	2,9	372×10^{-6}	547,9	1 047,0
1 422,2	242,1	2 616,8	668,7	21 854 510	842 814	72 929	105 452	839,0	3,1	387×10^{-6}	566,3	1 076,9
1 422,2	241,3	2 812,0	668,7	22 087 273	872 616	74 579	104 390	861,2	3,2	403×10^{-6}	585,7	1 109,7
1 422,2	240,6	3 006,6	668,7	22 296 207	902 115	76 144	102 961	882,7	3,3	419×10^{-6}	604,8	1 141,7
1 422,2	192,8	2 423,9	668,7	21 754 887	857 635	74 786	108 443	854,3	3,7	490×10^{-6}	569,8	1 092,8
1 422,2	192,3	2 618,2	668,7	21 974 243	889 298	76 488	106 932	877,4	3,8	511×10^{-6}	590,0	1 127,0
1 422,2	191,9	2 812,1	668,7	22 177 294	920 754	78 133	105 171	900,0	4,0	533×10^{-6}	610,1	1 160,8
1 422,2	191,5	3 007,5	668,8	22 444 472	953 025	80 007	104 397	924,6	4,1	554×10^{-6}	630,9	1 196,5
1 422,2	242,7	2 423,0	668,7	21 960 458	865 795	75 258	108 115	860,6	3,7	495×10^{-6}	575,0	1 101,7
1 422,2	242,0	2 617,0	668,7	22 160 809	897 199	76 893	106 322	883,0	3,9	517×10^{-6}	595,1	1 135,4
1 422,2	241,3	2 810,7	668,7	22 351 360	928 478	78 493	104 378	905,2	4,0	538×10^{-6}	615,0	1 168,8
1 422,2	240,6	3 005,7	668,7	22 595 789	960 442	80 286	103 264	929,1	4,2	559×10^{-6}	635,5	1 203,8

Optim. proměnné			Beton				Výztuž				Bednění		
Třída betonu	a m	d m	Základy m ³	Sloupy m ³	Desky m ³	Stěny m ³	Základy t	Sloupy t	Desky t	Stěny t	Sloupy m ²	Desky m ²	Stěny m ²
C50/60	0,25	0,12	580,5	78,9	1 030,8	285,8	87,1	11,0	51,3	11,3	1 470,4	8 589,6	2 858,2
C50/60	0,25	0,13	580,5	78,7	1 116,7	285,8	87,1	11,1	47,4	11,3	1 465,8	8 589,6	2 858,2
C50/60	0,25	0,14	580,5	78,4	1 202,5	285,8	87,1	11,1	44,8	11,3	1 461,2	8 589,6	2 858,2
C50/60	0,25	0,15	580,5	78,2	1 288,4	285,8	87,1	11,2	42,8	11,4	1 456,6	8 589,6	2 858,2
C50/60	0,3	0,12	580,5	100,6	1 030,8	285,8	87,1	11,4	50,2	11,3	1 643,4	8 589,6	2 858,2
C50/60	0,3	0,13	580,5	100,2	1 116,7	285,8	87,1	11,4	46,3	11,3	1 638,3	8 589,6	2 858,2
C50/60	0,3	0,14	580,5	99,9	1 202,5	285,8	87,1	11,4	43,6	11,3	1 633,1	8 589,6	2 858,2
C50/60	0,3	0,15	580,5	99,6	1 288,4	285,8	87,1	11,4	41,6	11,3	1 627,9	8 589,6	2 858,2
C60/75	0,2	0,12	580,5	69,2	1 030,8	285,8	87,1	11,4	50,0	11,3	1 383,9	8 589,6	2 858,2
C60/75	0,2	0,13	580,5	69,0	1 116,7	285,8	87,1	-	44,8	11,3	1 379,6	8 589,6	2 858,2
C60/75	0,2	0,14	580,5	68,8	1 202,5	285,8	87,1	-	43,5	11,4	1 375,2	8 589,6	2 858,2
C60/75	0,2	0,15	580,5	68,5	1 288,4	285,8	87,1	-	44,0	11,4	1 370,9	8 589,6	2 858,2
C60/75	0,25	0,12	580,5	78,9	1 030,8	285,8	87,1	10,9	48,9	11,3	1 470,4	8 589,6	2 858,2
C60/75	0,25	0,13	580,5	78,7	1 116,7	285,8	87,1	10,9	43,6	11,3	1 465,8	8 589,6	2 858,2
C60/75	0,25	0,14	580,5	78,4	1 202,5	285,8	87,1	10,9	42,3	11,3	1 461,2	8 589,6	2 858,2
C60/75	0,25	0,15	580,5	78,2	1 288,4	285,8	87,1	10,9	42,7	11,4	1 456,6	8 589,6	2 858,2
C70/85	0,2	0,12	580,5	69,2	1 030,8	285,8	87,1	10,7	46,7	11,3	1 383,9	8 589,6	2 858,2
C70/85	0,2	0,13	580,5	69,0	1 116,7	285,8	87,1	10,8	44,4	11,3	1 379,6	8 589,6	2 858,2
C70/85	0,2	0,14	580,5	68,8	1 202,5	285,8	87,1	10,9	44,0	11,4	1 375,2	8 589,6	2 858,2
C70/85	0,2	0,15	580,5	68,5	1 288,4	285,8	87,1	11,1	44,8	11,4	1 370,9	8 589,6	2 858,2
C70/85	0,25	0,12	580,5	78,9	1 030,8	285,8	87,1	10,9	46,1	11,3	1 470,4	8 589,6	2 858,2
C70/85	0,25	0,13	580,5	78,7	1 116,7	285,8	87,1	10,9	43,4	11,3	1 465,8	8 589,6	2 858,2
C70/85	0,25	0,14	580,5	78,4	1 202,5	285,8	87,1	10,9	42,9	11,3	1 461,2	8 589,6	2 858,2
C70/85	0,25	0,15	580,5	78,2	1 288,4	285,8	87,1	10,9	43,5	11,4	1 456,6	8 589,6	2 858,2
C80/95	0,2	0,12	580,5	69,2	1 030,8	285,8	87,1	10,6	46,3	11,3	1 383,9	8 589,6	2 858,2
C80/95	0,2	0,13	580,5	69,0	1 116,7	285,8	87,1	10,6	44,7	11,3	1 379,6	8 589,6	2 858,2
C80/95	0,2	0,14	580,5	68,8	1 202,5	285,8	87,1	10,6	44,7	11,4	1 375,2	8 589,6	2 858,2
C80/95	0,2	0,15	580,5	68,5	1 288,4	285,8	87,1	10,6	45,7	11,4	1 370,9	8 589,6	2 858,2
C80/95	0,25	0,12	580,5	78,9	1 030,8	285,8	87,1	10,9	45,4	11,3	1 470,4	8 589,6	2 858,2
C80/95	0,25	0,13	580,5	78,7	1 116,7	285,8	87,1	10,9	43,8	11,3	1 465,8	8 589,6	2 858,2
C80/95	0,25	0,14	580,5	78,4	1 202,5	285,8	87,1	10,9	43,5	11,3	1 461,2	8 589,6	2 858,2
C80/95	0,25	0,15	580,5	78,2	1 288,4	285,8	87,1	10,9	44,5	11,4	1 456,6	8 589,6	2 858,2

Přesun hmot				Cena	Environmentální dopad							
Základy t	Sloupy t	Desky t	Stěny t	Cena Kč	GWP kg CO ₂ ekv.	FDP kg ropy ekv.	MDP kg Fe ekv.	TAP kg SO ₂ ekv.	FEP kg P ekv.	ODP kg CFC-11 ekv.	PMFP kg PM ₁₀ ekv.	POFP kg NMVOC ekv.
1 422,2	192,5	2 422,0	668,7	21 891 881	891 643	77 367	107 667	881,4	4,5	613 × 10 ⁻⁶	587,8	1 128,8
1 422,2	192,0	2 615,7	668,7	22 098 736	924 495	79 101	105 776	904,9	4,6	639 × 10 ⁻⁶	608,6	1 163,9
1 422,2	191,5	2 810,6	668,7	22 355 754	957 983	81 015	104 659	930,1	4,8	666 × 10 ⁻⁶	630,0	1 200,6
1 422,2	191,0	3 006,3	668,8	22 640 795	991 828	83 028	103 973	956,1	5,0	692 × 10 ⁻⁶	651,6	1 238,1
1 422,2	242,7	2 420,9	668,7	22 101 054	900 190	77 871	107 349	887,9	4,5	619 × 10 ⁻⁶	593,3	1 138,2
1 422,2	242,0	2 614,6	668,7	22 303 951	932 973	79 592	105 409	911,3	4,7	646 × 10 ⁻⁶	614,0	1 173,1
1 422,2	241,3	2 809,5	668,7	22 557 325	966 396	81 493	104 246	936,4	4,9	672 × 10 ⁻⁶	635,3	1 209,7
1 422,2	240,5	3 005,1	668,7	22 834 499	1000 122	83 480	103 449	962,2	5,1	699 × 10 ⁻⁶	656,8	1 247,0
1 422,2	170,5	2 420,8	668,7	22 991 299	942 894	83 031	108 196	930,7	6,7	975 × 10 ⁻⁶	615,9	1 188,4
1 422,2	-	2 613,1	668,7	Nelze nadimenzovat výztuž...								
1 422,2	-	2 809,4	668,8	Nelze nadimenzovat výztuž...								
1 422,2	-	3 007,4	668,8	Nelze nadimenzovat výztuž...								
1 422,2	192,4	2 419,6	668,7	23 048 710	946 353	83 101	107 246	932,2	6,8	980 × 10 ⁻⁶	618,0	1 191,4
1 422,2	191,8	2 611,9	668,7	23 276 684	980 920	84 899	104 541	956,3	7,1	1.02 × 10 ⁻³	639,5	1 227,6
1 422,2	191,3	2 808,2	668,7	23 660 072	1017 460	87 253	104 230	985,4	7,3	1.07 × 10 ⁻³	662,7	1 268,6
1 422,2	190,7	3 006,2	668,8	24 110 385	1054 849	89 846	104 950	1 016,6	7,6	1.11 × 10 ⁻³	686,6	1 311,8
1 422,2	169,9	2 417,4	668,7	24 579 723	998 739	89 677	107 045	985,4	9,8	1.46 × 10 ⁻³	646,8	1 253,9
1 422,2	169,5	2 612,7	668,7	25 037 923	1037 388	92 226	106 274	1 016,1	10,2	1.53 × 10 ⁻³	671,0	1 297,0
1 422,2	169,1	2 809,9	668,8	25 570 790	1076 985	95 043	106 654	1 049,1	10,6	1.59 × 10 ⁻³	696,1	1 342,4
1 422,2	168,7	3 008,2	668,8	26 149 510	1117 164	98 024	107 740	1 083,7	11,0	1.65 × 10 ⁻³	721,6	1 389,2
1 422,2	192,4	2 416,8	668,7	24 697 405	1003 098	89 956	106 847	988,8	9,8	1.47 × 10 ⁻³	649,5	1 258,7
1 422,2	191,8	2 611,7	668,7	25 132 186	1041 440	92 421	105 721	1 018,7	10,3	1.53 × 10 ⁻³	673,5	1 301,1
1 422,2	191,3	2 808,8	668,7	25 656 023	1080 913	95 206	105 967	1 051,5	10,7	1.60 × 10 ⁻³	698,4	1 346,2
1 422,2	190,7	3 007,0	668,8	26 224 608	1120 953	98 150	106 903	1 085,7	11,1	1.66 × 10 ⁻³	723,8	1 392,7
1 422,2	169,8	2 417,1	668,7	26 973 857	1056 253	96 794	108 063	1 044,5	12,9	1.95 × 10 ⁻³	678,2	1 323,5
1 422,2	169,3	2 613,0	668,7	27 602 697	1097 690	99 733	107 679	1 078,5	13,4	2.04 × 10 ⁻³	704,0	1 370,3
1 422,2	168,8	2 810,5	668,8	28 292 770	1139 905	102 891	108 239	1 114,4	14,0	2.12 × 10 ⁻³	730,5	1 419,0
1 422,2	168,3	3 009,1	668,8	29 025 177	1182 657	106 200	109 451	1 151,7	14,5	2.21 × 10 ⁻³	757,5	1 469,0
1 422,2	192,4	2 416,2	668,7	27 098 196	1060 768	97 071	107 713	1 047,9	12,9	1.96 × 10 ⁻³	680,9	1 328,3
1 422,2	191,8	2 612,1	668,7	27 724 653	1102 166	100 002	107 300	1 081,7	13,5	2.05 × 10 ⁻³	706,8	1 375,0
1 422,2	191,3	2 809,4	668,7	28 408 032	1144 287	103 137	107 765	1 117,4	14,0	2.13 × 10 ⁻³	733,2	1 423,5
1 422,2	190,7	3 007,9	668,8	29 135 645	1186 969	106 430	108 910	1 154,6	14,6	2.22 × 10 ⁻³	760,1	1 473,4

D.4 Varianta s 8 podlažími a osovou vzd. sloupů 8 m

Optim. proměnné			Beton				Výztuž				Bednění		
Třída betonu	a m	d m	Základy m ³	Sloupy m ³	Desky m ³	Stěny m ³	Základy t	Sloupy t	Desky t	Stěny t	Sloupy m ²	Desky m ²	Stěny m ²
C30/37	0,55	0,31	1 023,4	109,4	2 662,8	285,8	146,2	11,0	81,9	12,9	909,0	8 589,6	2 858,2
C30/37	0,55	0,32	1 023,4	109,1	2 748,7	285,8	146,2	11,3	81,6	13,0	905,9	8 589,6	2 858,2
C30/37	0,6	0,31	1 023,4	133,4	2 662,8	285,8	146,2	9,0	80,3	12,8	1 004,6	8 589,6	2 858,2
C30/37	0,6	0,32	1 023,4	132,9	2 748,7	285,8	146,2	9,2	80,0	12,8	1 001,3	8 589,6	2 858,2
C35/45	0,55	0,28	965,4	110,5	2 405,1	285,8	136,9	8,2	83,7	12,8	918,1	8 589,6	2 858,2
C35/45	0,55	0,29	965,4	110,2	2 491,0	285,8	136,9	8,4	83,1	12,8	915,0	8 589,6	2 858,2
C35/45	0,55	0,3	965,4	109,8	2 576,9	285,8	136,9	8,6	82,6	12,9	912,0	8 589,6	2 858,2
C35/45	0,55	0,31	965,4	109,4	2 662,8	285,8	136,9	8,7	82,4	12,9	909,0	8 589,6	2 858,2
C35/45	0,6	0,28	965,4	134,7	2 405,1	285,8	136,9	7,3	82,5	12,7	1 014,7	8 589,6	2 858,2
C35/45	0,6	0,29	965,4	134,2	2 491,0	285,8	136,9	7,4	82,0	12,7	1 011,4	8 589,6	2 858,2
C35/45	0,6	0,3	965,4	133,8	2 576,9	285,8	136,9	7,5	81,5	12,7	1 008,0	8 589,6	2 858,2
C35/45	0,6	0,31	965,4	133,4	2 662,8	285,8	136,9	7,6	81,1	12,8	1 004,6	8 589,6	2 858,2
C40/50	0,5	0,25	965,4	89,7	2 147,4	285,8	136,9	7,8	87,8	12,9	829,6	8 589,6	2 858,2
C40/50	0,5	0,26	965,4	89,4	2 233,3	285,8	136,9	7,9	86,9	12,9	826,9	8 589,6	2 858,2
C40/50	0,5	0,27	965,4	89,1	2 319,2	285,8	136,9	8,1	86,1	12,9	824,2	8 589,6	2 858,2
C40/50	0,5	0,28	965,4	88,8	2 405,1	285,8	136,9	8,2	85,7	13,0	821,4	8 589,6	2 858,2
C40/50	0,55	0,25	965,4	111,6	2 147,4	285,8	136,9	6,8	86,0	12,7	927,2	8 589,6	2 858,2
C40/50	0,55	0,26	965,4	111,3	2 233,3	285,8	136,9	6,8	85,2	12,8	924,2	8 589,6	2 858,2
C40/50	0,55	0,27	965,4	110,9	2 319,2	285,8	136,9	6,9	84,6	12,8	921,1	8 589,6	2 858,2
C40/50	0,55	0,28	965,4	110,5	2 405,1	285,8	136,9	7,0	84,0	12,8	918,1	8 589,6	2 858,2
C45/55	0,5	0,22	907,3	90,6	1 889,7	285,8	127,6	6,5	92,0	12,8	837,8	8 589,6	2 858,2
C45/55	0,5	0,23	907,3	90,3	1 975,6	285,8	127,6	6,6	89,9	12,8	835,0	8 589,6	2 858,2
C45/55	0,5	0,24	907,3	90,0	2 061,5	285,8	127,6	6,7	88,3	12,8	832,3	8 589,6	2 858,2
C45/55	0,5	0,25	907,3	89,7	2 147,4	285,8	127,6	6,8	87,2	12,9	829,6	8 589,6	2 858,2
C45/55	0,55	0,22	907,3	112,7	1 889,7	285,8	127,6	6,3	91,1	12,7	936,3	8 589,6	2 858,2
C45/55	0,55	0,23	907,3	112,4	1 975,6	285,8	127,6	6,4	88,9	12,7	933,3	8 589,6	2 858,2
C45/55	0,55	0,24	907,3	112,0	2 061,5	285,8	127,6	6,4	87,3	12,7	930,2	8 589,6	2 858,2
C45/55	0,55	0,25	907,3	111,6	2 147,4	285,8	127,6	6,4	86,1	12,7	927,2	8 589,6	2 858,2
C50/60	0,45	0,2	849,3	71,3	1 717,9	285,8	118,3	6,7	98,7	12,8	744,0	8 589,6	2 858,2
C50/60	0,45	0,21	849,3	71,1	1 803,8	285,8	118,3	6,8	95,8	12,9	741,6	8 589,6	2 858,2
C50/60	0,45	0,22	849,3	70,8	1 889,7	285,8	118,3	6,9	93,5	12,9	739,2	8 589,6	2 858,2
C50/60	0,45	0,23	849,3	70,6	1 975,6	285,8	118,3	7,0	91,7	12,9	736,8	8 589,6	2 858,2
C50/60	0,5	0,2	849,3	91,1	1 717,9	285,8	118,3	6,0	97,3	12,7	843,2	8 589,6	2 858,2
C50/60	0,5	0,21	849,3	90,8	1 803,8	285,8	118,3	6,0	94,4	12,7	840,5	8 589,6	2 858,2
C50/60	0,5	0,22	849,3	90,6	1 889,7	285,8	118,3	6,1	92,1	12,8	837,8	8 589,6	2 858,2
C50/60	0,5	0,23	849,3	90,3	1 975,6	285,8	118,3	6,2	90,0	12,8	835,0	8 589,6	2 858,2
C60/75	0,45	0,19	849,3	71,5	1 632,0	285,8	118,3	6,2	100,5	12,8	746,4	8 589,6	2 858,2
C60/75	0,45	0,2	849,3	71,3	1 717,9	285,8	118,3	6,2	97,6	12,8	744,0	8 589,6	2 858,2
C60/75	0,45	0,21	849,3	71,1	1 803,8	285,8	118,3	6,2	95,1	12,9	741,6	8 589,6	2 858,2
C60/75	0,45	0,22	849,3	70,8	1 889,7	285,8	118,3	6,2	93,0	12,9	739,2	8 589,6	2 858,2
C60/75	0,5	0,19	849,3	91,4	1 632,0	285,8	118,3	6,2	99,0	12,7	845,9	8 589,6	2 858,2
C60/75	0,5	0,2	849,3	91,1	1 717,9	285,8	118,3	6,2	96,2	12,7	843,2	8 589,6	2 858,2
C60/75	0,5	0,21	849,3	90,8	1 803,8	285,8	118,3	6,2	93,3	12,7	840,5	8 589,6	2 858,2
C60/75	0,5	0,22	849,3	90,6	1 889,7	285,8	118,3	6,2	91,1	12,8	837,8	8 589,6	2 858,2

Přesun hmot				Cena	Environmentální dopad							
Základy t	Sloupy t	Desky t	Stěny t	Cena Kč	GWP kg CO ₂ ekv.	FDP kg ropy ekv.	MDP kg Fe ekv.	TAP kg SO ₂ ekv.	FEP kg P ekv.	ODP kg CFC-11 ekv.	PMFP kg PM ₁₀ ekv.	POFP kg NMVOC ekv.
2 142,0	262,7	6 206,3	670,3	31 241 819	1285 161	114 709	166 493	1 309,3	2,6	253 × 10 ⁻⁶	958,3	1 698,7
2 142,0	262,2	6 403,6	670,4	31 540 297	1309 344	116 344	166 867	1 329,7	2,6	258 × 10 ⁻⁶	976,2	1 727,7
2 142,0	315,7	6 204,7	670,2	31 263 694	1290 111	114 652	164 314	1 310,3	2,6	255 × 10 ⁻⁶	961,8	1 702,3
2 142,0	314,9	6 402,0	670,2	31 552 874	1314 160	116 255	164 553	1 330,5	2,6	260 × 10 ⁻⁶	979,6	1 731,1
1 999,2	262,4	5 615,4	670,2	30 406 057	1395 450	116 494	161 975	1 362,9	3,9	467 × 10 ⁻⁶	948,9	1 774,2
1 999,2	261,8	5 812,4	670,2	30 700 242	1423 974	118 255	162 055	1 385,8	4,0	478 × 10 ⁻⁶	967,9	1 806,9
1 999,2	261,1	6 009,5	670,3	31 001 952	1452 593	120 043	162 251	1 409,0	4,1	488 × 10 ⁻⁶	987,0	1 839,9
1 999,2	260,4	6 206,8	670,3	31 309 242	1481 282	121 850	162 532	1 432,4	4,2	499 × 10 ⁻⁶	1 006,1	1 873,0
1 999,2	317,1	5 614,2	670,1	30 490 611	1402 489	116 701	160 679	1 366,8	4,0	470 × 10 ⁻⁶	953,4	1 780,9
1 999,2	316,2	5 811,3	670,1	30 785 663	1431 004	118 466	160 781	1 389,7	4,1	481 × 10 ⁻⁶	972,4	1 813,7
1 999,2	315,2	6 008,3	670,1	31 080 255	1459 513	120 228	160 876	1 412,7	4,1	491 × 10 ⁻⁶	991,4	1 846,4
1 999,2	314,3	6 205,5	670,2	31 382 169	1488 115	122 017	161 083	1 435,8	4,2	502 × 10 ⁻⁶	1 010,4	1 879,4
1 999,2	214,0	5 026,8	670,3	29 932 140	1394 545	117 660	164 428	1 364,4	5,1	649 × 10 ⁻⁶	935,6	1 767,9
1 999,2	213,5	5 223,5	670,3	30 232 577	1425 189	119 546	164 378	1 388,8	5,2	665 × 10 ⁻⁶	955,7	1 802,7
1 999,2	212,9	5 420,3	670,3	30 534 344	1455 850	121 438	164 347	1 413,3	5,3	681 × 10 ⁻⁶	975,8	1 837,6
1 999,2	212,4	5 617,4	670,4	30 854 258	1486 742	123 394	164 597	1 438,3	5,4	697 × 10 ⁻⁶	996,1	1 873,0
1 999,2	263,5	5 025,0	670,1	29 986 957	1401 090	117 770	162 735	1 367,3	5,1	653 × 10 ⁻⁶	939,7	1 773,5
1 999,2	262,8	5 221,8	670,2	30 288 229	1431 726	119 660	162 705	1 391,7	5,2	669 × 10 ⁻⁶	959,8	1 808,4
1 999,2	262,0	5 418,7	670,2	30 592 862	1462 405	121 562	162 728	1 416,3	5,3	685 × 10 ⁻⁶	979,9	1 843,3
1 999,2	261,2	5 615,8	670,2	30 903 851	1493 164	123 486	162 848	1 441,0	5,4	701 × 10 ⁻⁶	1 000,0	1 878,5
1 856,4	214,7	4 438,4	670,2	28 978 595	1360 061	115 458	160 339	1 329,9	5,9	787 × 10 ⁻⁶	901,8	1 717,6
1 856,4	214,2	4 633,8	670,2	29 243 001	1392 262	117 317	159 501	1 354,4	6,0	808 × 10 ⁻⁶	922,5	1 753,2
1 856,4	213,6	4 829,8	670,2	29 531 428	1424 769	119 261	159 034	1 379,7	6,2	829 × 10 ⁻⁶	943,5	1 789,6
1 856,4	213,0	5 026,2	670,3	29 838 558	1457 512	121 272	158 855	1 405,6	6,3	851 × 10 ⁻⁶	964,6	1 826,5
1 856,4	265,6	4 437,4	670,1	29 107 790	1368 134	115 861	159 712	1 335,6	5,9	793 × 10 ⁻⁶	907,0	1 726,1
1 856,4	264,8	4 632,9	670,1	29 369 801	1400 284	117 711	158 846	1 360,0	6,1	814 × 10 ⁻⁶	927,6	1 761,6
1 856,4	264,0	4 828,8	670,1	29 652 302	1432 695	119 634	158 296	1 385,0	6,2	835 × 10 ⁻⁶	948,5	1 797,8
1 856,4	263,2	5 025,1	670,1	29 949 308	1465 289	121 610	157 969	1 410,6	6,4	856 × 10 ⁻⁶	969,5	1 834,4
1 713,6	170,7	4 049,9	670,2	28 190 391	1314 075	113 137	158 543	1 292,0	6,6	907 × 10 ⁻⁶	866,2	1 661,0
1 713,6	170,2	4 244,6	670,3	28 443 369	1347 497	115 030	157 334	1 317,0	6,8	933 × 10 ⁻⁶	887,5	1 697,5
1 713,6	169,8	4 439,8	670,3	28 715 250	1381 159	116 991	156 416	1 342,6	7,0	960 × 10 ⁻⁶	908,9	1 734,6
1 713,6	169,4	4 635,6	670,3	29 008 701	1415 095	119 029	155 831	1 368,9	7,1	986 × 10 ⁻⁶	930,6	1 772,3
1 713,6	215,6	4 048,6	670,1	28 277 614	1321 144	113 383	157 363	1 296,1	6,6	913 × 10 ⁻⁶	870,6	1 667,8
1 713,6	215,0	4 243,2	670,1	28 521 347	1354 429	115 244	156 020	1 320,8	6,8	939 × 10 ⁻⁶	891,7	1 704,0
1 713,6	214,3	4 438,5	670,2	28 793 704	1388 078	117 206	155 118	1 346,3	7,0	966 × 10 ⁻⁶	913,2	1 741,0
1 713,6	213,8	4 633,9	670,2	29 073 237	1421 819	119 195	154 326	1 372,2	7,2	992 × 10 ⁻⁶	934,7	1 778,4
1 713,6	170,4	3 854,1	670,2	29 659 172	1360 180	119 744	160 279	1 342,5	9,7	1.41 × 10 ⁻³	889,0	1 716,7
1 713,6	169,8	4 048,9	670,2	29 982 519	1395 942	121 877	159 013	1 369,6	10,0	1.45 × 10 ⁻³	911,5	1 755,8
1 713,6	169,3	4 243,9	670,3	30 320 774	1431 894	124 064	157 978	1 397,1	10,3	1.49 × 10 ⁻³	934,2	1 795,4
1 713,6	168,8	4 439,3	670,3	30 677 303	1468 078	126 315	157 224	1 425,3	10,6	1.54 × 10 ⁻³	957,1	1 835,6
1 713,6	216,3	3 852,7	670,1	29 791 828	1368 186	120 152	159 532	1 348,0	9,8	1.42 × 10 ⁻³	894,0	1 725,0
1 713,6	215,6	4 047,4	670,1	30 116 099	1403 940	122 288	158 290	1 375,1	10,1	1.46 × 10 ⁻³	916,5	1 764,1
1 713,6	215,0	4 242,1	670,1	30 439 218	1439 680	124 421	157 031	1 402,2	10,4	1.50 × 10 ⁻³	939,0	1 803,3
1 713,6	214,3	4 437,5	670,2	30 791 862	1475 795	126 659	156 227	1 430,2	10,6	1.55 × 10 ⁻³	961,9	1 843,3

Optim. proměnné			Beton				Výztuž				Bednění		
Třída betonu	a m	d m	Základy m ³	Sloupy m ³	Desky m ³	Stěny m ³	Základy t	Sloupy t	Desky t	Stěny t	Sloupy m ²	Desky m ²	Stěny m ²
C70/85	0,4	0,18	849,3	54,3	1 546,1	285,8	118,3	-	105,2	12,9	649,0	8 589,6	2 858,2
C70/85	0,4	0,19	849,3	54,1	1 632,0	285,8	118,3	-	101,7	12,9	646,9	8 589,6	2 858,2
C70/85	0,4	0,2	849,3	53,9	1 717,9	285,8	118,3	5,8	99,0	13,0	644,8	8 589,6	2 858,2
C70/85	0,4	0,21	849,3	53,8	1 803,8	285,8	118,3	5,8	96,6	13,0	642,7	8 589,6	2 858,2
C70/85	0,45	0,18	849,3	71,8	1 546,1	285,8	118,3	5,8	102,6	12,8	748,8	8 589,6	2 858,2
C70/85	0,45	0,19	849,3	71,5	1 632,0	285,8	118,3	5,8	99,2	12,8	746,4	8 589,6	2 858,2
C70/85	0,45	0,2	849,3	71,3	1 717,9	285,8	118,3	5,8	96,5	12,8	744,0	8 589,6	2 858,2
C70/85	0,45	0,21	849,3	71,1	1 803,8	285,8	118,3	5,8	94,0	12,9	741,6	8 589,6	2 858,2
C80/95	0,4	0,18	849,3	54,3	1 546,1	285,8	118,3	-	103,6	12,9	649,0	8 589,6	2 858,2
C80/95	0,4	0,19	849,3	54,1	1 632,0	285,8	118,3	-	100,5	12,9	646,9	8 589,6	2 858,2
C80/95	0,4	0,2	849,3	53,9	1 717,9	285,8	118,3	5,4	97,7	13,0	644,8	8 589,6	2 858,2
C80/95	0,4	0,21	849,3	53,8	1 803,8	285,8	118,3	5,4	95,6	13,0	642,7	8 589,6	2 858,2
C80/95	0,45	0,18	849,3	71,8	1 546,1	285,8	118,3	5,8	101,2	12,8	748,8	8 589,6	2 858,2
C80/95	0,45	0,19	849,3	71,5	1 632,0	285,8	118,3	5,8	98,0	12,8	746,4	8 589,6	2 858,2
C80/95	0,45	0,2	849,3	71,3	1 717,9	285,8	118,3	5,8	95,2	12,8	744,0	8 589,6	2 858,2
C80/95	0,45	0,21	849,3	71,1	1 803,8	285,8	118,3	5,7	92,9	12,9	741,6	8 589,6	2 858,2

Přesun hmot				Cena	Environmentální dopad							
Základy t	Sloupy t	Desky t	Stěny t	Cena Kč	GWP kg CO ₂ ekv.	FDP kg ropy ekv.	MDP kg Fe ekv.	TAP kg SO ₂ ekv.	FEP kg P ekv.	ODP kg CFC-11 ekv.	PMFP kg PM ₁₀ ekv.	POFP kg NMVOC ekv.
1 713,6	-	3 661,3	670,3	Nelze nadimenzovat výztuž...								
1 713,6	-	3 855,3	670,3	Nelze nadimenzovat výztuž...								
1 713,6	129,9	4 050,3	670,4	32 464 423	1474 664	132 234	161 788	1 453,7	14,5	2.16 × 10 ⁻³	955,4	1 853,1
1 713,6	129,5	4 245,4	670,4	32 913 724	1513 194	134 745	160 846	1 484,0	14,9	2.23 × 10 ⁻³	979,5	1 895,8
1 713,6	170,9	3 658,7	670,2	31 705 297	1405 043	127 603	162 891	1 398,2	13,7	2.05 × 10 ⁻³	911,6	1 775,2
1 713,6	170,3	3 852,8	670,2	32 113 155	1443 029	129 967	161 321	1 427,2	14,1	2.11 × 10 ⁻³	935,4	1 816,6
1 713,6	169,8	4 047,7	670,2	32 551 077	1481 396	132 438	160 213	1 457,1	14,6	2.18 × 10 ⁻³	959,4	1 859,1
1 713,6	169,2	4 242,7	670,3	32 996 428	1519 857	134 935	159 220	1 487,3	15,0	2.24 × 10 ⁻³	983,5	1 901,7
1 713,6	-	3 659,7	670,3	Nelze nadimenzovat výztuž...								
1 713,6	-	3 854,1	670,3	Nelze nadimenzovat výztuž...								
1 713,6	129,5	4 048,9	670,4	35 973 549	1559 108	142 590	162 583	1 539,6	19,0	2.88 × 10 ⁻³	1 001,3	1 954,5
1 713,6	129,0	4 244,3	670,4	36 585 114	1600 320	145 461	161 898	1 572,9	19,5	2.97 × 10 ⁻³	1 027,0	2 000,8
1 713,6	170,9	3 657,3	670,2	34 960 502	1485 146	137 448	163 804	1 479,9	18,0	2.73 × 10 ⁻³	955,2	1 871,6
1 713,6	170,3	3 851,7	670,2	35 529 665	1525 803	140 168	162 478	1 511,8	18,6	2.82 × 10 ⁻³	980,5	1 916,5
1 713,6	169,7	4 046,4	670,2	36 110 011	1566 601	142 928	161 324	1 544,2	19,1	2.90 × 10 ⁻³	1 005,8	1 961,8
1 713,6	169,2	4 241,7	670,3	36 714 262	1607 703	145 773	160 539	1 577,2	19,7	2.99 × 10 ⁻³	1 031,4	2 007,8

D.5 Varianta s 12 podlažími a osovou vzd. sloupů 4 m

Optim. proměnné			Beton				Výztuž				Bednění		
Třída betonu	a m	d m	Základy m ³	Sloupy m ³	Desky m ³	Stěny m ³	Základy t	Sloupy t	Desky t	Stěny t	Sloupy m ²	Desky m ²	Stěny m ²
C20/25	0,45	0,16	696,6	289,3	2 059,8	428,7	104,5	22,3	68,0	17,0	3 330,9	12 874,0	4 287,4
C20/25	0,45	0,17	696,6	288,4	2 188,6	428,7	104,5	22,9	65,9	17,0	3 320,3	12 874,0	4 287,4
C20/25	0,45	0,18	696,6	287,5	2 317,3	428,7	104,5	23,5	64,7	17,0	3 309,7	12 874,0	4 287,4
C20/25	0,45	0,19	696,6	286,6	2 446,1	428,7	104,5	24,3	63,9	17,1	3 299,1	12 874,0	4 287,4
C20/25	0,5	0,16	696,6	379,0	2 059,8	428,7	104,5	22,4	66,2	17,0	3 843,4	12 874,0	4 287,4
C20/25	0,5	0,17	696,6	377,8	2 188,6	428,7	104,5	22,5	64,2	17,0	3 831,1	12 874,0	4 287,4
C20/25	0,5	0,18	696,6	376,6	2 317,3	428,7	104,5	22,5	63,0	17,0	3 818,9	12 874,0	4 287,4
C20/25	0,5	0,19	696,6	375,4	2 446,1	428,7	104,5	22,6	62,0	17,0	3 806,6	12 874,0	4 287,4
C25/30	0,4	0,15	696,6	220,6	1 931,1	428,7	104,5	22,1	72,1	17,0	2 913,1	12 874,0	4 287,4
C25/30	0,4	0,16	696,6	219,9	2 059,8	428,7	104,5	22,9	69,3	17,1	2 903,9	12 874,0	4 287,4
C25/30	0,4	0,17	696,6	219,2	2 188,6	428,7	104,5	23,8	67,3	17,1	2 894,6	12 874,0	4 287,4
C25/30	0,4	0,18	696,6	218,5	2 317,3	428,7	104,5	24,8	67,3	17,1	2 885,4	12 874,0	4 287,4
C25/30	0,45	0,15	696,6	290,2	1 931,1	428,7	104,5	20,6	70,1	17,0	3 341,5	12 874,0	4 287,4
C25/30	0,45	0,16	696,6	289,3	2 059,8	428,7	104,5	20,6	67,1	17,0	3 330,9	12 874,0	4 287,4
C25/30	0,45	0,17	696,6	288,4	2 188,6	428,7	104,5	20,6	64,7	17,0	3 320,3	12 874,0	4 287,4
C25/30	0,45	0,18	696,6	287,5	2 317,3	428,7	104,5	20,6	64,2	17,0	3 309,7	12 874,0	4 287,4
C30/37	0,4	0,14	696,6	221,3	1 802,4	428,7	104,5	19,4	73,8	17,0	2 922,4	12 874,0	4 287,4
C30/37	0,4	0,15	696,6	220,6	1 931,1	428,7	104,5	19,6	69,8	17,0	2 913,1	12 874,0	4 287,4
C30/37	0,4	0,16	696,6	219,9	2 059,8	428,7	104,5	19,8	68,0	17,0	2 903,9	12 874,0	4 287,4
C30/37	0,4	0,17	696,6	219,2	2 188,6	428,7	104,5	20,0	67,6	17,1	2 894,6	12 874,0	4 287,4
C30/37	0,45	0,14	696,6	291,2	1 802,4	428,7	104,5	20,4	71,5	17,0	3 352,1	12 874,0	4 287,4
C30/37	0,45	0,15	696,6	290,2	1 931,1	428,7	104,5	20,4	66,9	17,0	3 341,5	12 874,0	4 287,4
C30/37	0,45	0,16	696,6	289,3	2 059,8	428,7	104,5	20,4	65,2	17,0	3 330,9	12 874,0	4 287,4
C30/37	0,45	0,17	696,6	288,4	2 188,6	428,7	104,5	20,4	64,6	17,0	3 320,3	12 874,0	4 287,4
C35/45	0,4	0,13	696,6	222,0	1 673,6	428,7	104,5	18,9	77,0	17,0	2 931,6	12 874,0	4 287,4
C35/45	0,4	0,14	696,6	221,3	1 802,4	428,7	104,5	19,0	70,8	17,0	2 922,4	12 874,0	4 287,4
C35/45	0,4	0,15	696,6	220,6	1 931,1	428,7	104,5	19,0	68,2	17,0	2 913,1	12 874,0	4 287,4
C35/45	0,4	0,16	696,6	219,9	2 059,8	428,7	104,5	19,0	67,0	17,0	2 903,9	12 874,0	4 287,4
C35/45	0,45	0,13	696,6	292,1	1 673,6	428,7	104,5	20,2	75,9	17,0	3 362,7	12 874,0	4 287,4
C35/45	0,45	0,14	696,6	291,2	1 802,4	428,7	104,5	20,3	70,0	17,0	3 352,1	12 874,0	4 287,4
C35/45	0,45	0,15	696,6	290,2	1 931,1	428,7	104,5	20,3	66,5	17,0	3 341,5	12 874,0	4 287,4
C35/45	0,45	0,16	696,6	289,3	2 059,8	428,7	104,5	20,3	65,2	17,0	3 330,9	12 874,0	4 287,4
C40/50	0,35	0,12	696,6	170,8	1 544,9	428,7	104,5	18,5	84,0	17,0	2 594,9	12 874,0	4 287,4
C40/50	0,35	0,13	696,6	170,3	1 673,6	428,7	104,5	18,8	77,4	17,0	2 586,7	12 874,0	4 287,4
C40/50	0,35	0,14	696,6	169,8	1 802,4	428,7	104,5	-	73,7	17,1	2 578,6	12 874,0	4 287,4
C40/50	0,35	0,15	696,6	169,2	1 931,1	428,7	104,5	-	71,3	17,1	2 570,4	12 874,0	4 287,4
C40/50	0,4	0,12	696,6	222,7	1 544,9	428,7	104,5	18,8	82,2	17,0	2 940,9	12 874,0	4 287,4
C40/50	0,4	0,13	696,6	222,0	1 673,6	428,7	104,5	18,8	75,1	17,0	2 931,6	12 874,0	4 287,4
C40/50	0,4	0,14	696,6	221,3	1 802,4	428,7	104,5	18,8	71,3	17,0	2 922,4	12 874,0	4 287,4
C40/50	0,4	0,15	696,6	220,6	1 931,1	428,7	104,5	18,8	68,9	17,0	2 913,1	12 874,0	4 287,4
C45/55	0,35	0,12	696,6	170,8	1 544,9	428,7	104,5	18,0	83,5	17,0	2 594,9	12 874,0	4 287,4
C45/55	0,35	0,13	696,6	170,3	1 673,6	428,7	104,5	18,1	77,4	17,0	2 586,7	12 874,0	4 287,4
C45/55	0,35	0,14	696,6	169,8	1 802,4	428,7	104,5	18,2	74,2	17,1	2 578,6	12 874,0	4 287,4
C45/55	0,35	0,15	696,6	169,2	1 931,1	428,7	104,5	18,4	69,2	17,1	2 570,4	12 874,0	4 287,4
C45/55	0,4	0,12	696,6	222,7	1 544,9	428,7	104,5	18,7	81,6	17,0	2 940,9	12 874,0	4 287,4
C45/55	0,4	0,13	696,6	222,0	1 673,6	428,7	104,5	18,7	75,0	17,0	2 931,6	12 874,0	4 287,4
C45/55	0,4	0,14	696,6	221,3	1 802,4	428,7	104,5	18,7	71,8	17,0	2 922,4	12 874,0	4 287,4
C45/55	0,4	0,15	696,6	220,6	1 931,1	428,7	104,5	18,8	66,6	17,0	2 913,1	12 874,0	4 287,4

Přesun hmot				Cena	Environmentální dopad							
Základy t	Sloupy t	Desky t	Stěny t	Cena Kč	GWP kg CO ₂ ekv.	FDP kg ropy ekv.	MDP kg Fe ekv.	TAP kg SO ₂ ekv.	FEP kg P ekv.	ODP kg CFC-11 ekv.	PMFP kg PM ₁₀ ekv.	POFP kg NMVOC ekv.
1 706,7	687,7	4 805,7	1 003,1	32 643 459	935 008	88 019	138 010	998,1	0,8	11.1 × 10 ⁻⁹	727,3	1 278,6
1 706,7	686,2	5 099,6	1 003,1	32 998 535	964 204	89 811	137 421	1 021,7	0,8	11.4 × 10 ⁻⁹	749,9	1 313,4
1 706,7	684,7	5 394,5	1 003,1	33 391 045	993 875	91 737	137 408	1 046,6	0,8	11.7 × 10 ⁻⁹	772,9	1 349,4
1 706,7	683,3	5 689,8	1 003,1	33 802 770	1023 790	93 731	137 691	1 072,0	0,9	12.1 × 10 ⁻⁹	796,1	1 385,9
1 706,7	894,1	4 803,8	1 003,1	33 315 007	955 529	89 273	137 201	1 014,7	0,8	11.3 × 10 ⁻⁹	743,1	1 302,8
1 706,7	891,4	5 097,9	1 003,1	33 648 943	984 416	90 992	136 319	1 037,6	0,8	11.6 × 10 ⁻⁹	765,5	1 337,0
1 706,7	888,7	5 392,8	1 003,1	34 016 218	1013 725	92 830	135 949	1 061,6	0,9	12.0 × 10 ⁻⁹	788,2	1 372,1
1 706,7	885,9	5 687,9	1 003,1	34 393 681	1043 164	94 704	135 736	1 086,0	0,9	12.3 × 10 ⁻⁹	810,9	1 407,6
1 706,7	529,6	4 513,6	1 003,1	32 016 369	955 372	88 991	140 593	1 010,5	0,8	10.7 × 10 ⁻⁹	728,7	1 293,6
1 706,7	528,8	4 807,0	1 003,1	32 369 806	986 970	90 874	139 803	1 035,5	0,8	11.1 × 10 ⁻⁹	752,6	1 330,6
1 706,7	528,0	5 101,0	1 003,2	32 751 626	1018 928	92 858	139 449	1 061,5	0,8	11.4 × 10 ⁻⁹	776,8	1 368,5
1 706,7	527,4	5 397,1	1 003,2	33 221 065	1051 998	95 155	140 445	1 090,2	0,9	11.7 × 10 ⁻⁹	801,8	1 409,2
1 706,7	688,1	4 511,6	1 003,1	32 479 745	971 572	89 727	138 607	1 021,5	0,8	10.9 × 10 ⁻⁹	740,8	1 311,1
1 706,7	686,0	4 804,7	1 003,1	32 786 986	1002 547	91 446	137 129	1 045,0	0,8	11.2 × 10 ⁻⁹	764,2	1 346,7
1 706,7	683,9	5 098,4	1 003,1	33 120 541	1033 856	93 259	136 057	1 069,4	0,9	11.5 × 10 ⁻⁹	787,9	1 383,1
1 706,7	681,8	5 394,0	1 003,1	33 531 663	1066 148	95 349	136 177	1 096,3	0,9	11.9 × 10 ⁻⁹	812,3	1 421,9
1 706,7	528,4	4 219,2	1 003,1	32 039 233	1009 107	93 168	140 835	1 052,5	2,0	195 × 10 ⁻⁶	752,6	1 347,5
1 706,7	527,0	4 511,3	1 003,1	32 343 692	1043 286	95 046	138 943	1 077,9	2,1	203 × 10 ⁻⁶	777,7	1 386,0
1 706,7	525,6	4 805,6	1 003,1	32 735 956	1078 576	97 238	138 401	1 106,3	2,2	211 × 10 ⁻⁶	803,7	1 427,3
1 706,7	524,3	5 101,3	1 003,2	33 183 792	1114 572	99 628	138 714	1 136,4	2,2	219 × 10 ⁻⁶	830,3	1 470,3
1 706,7	690,0	4 217,0	1 003,1	32 607 040	1028 427	94 372	140 258	1 068,0	2,1	200 × 10 ⁻⁶	766,8	1 369,9
1 706,7	688,0	4 508,5	1 003,1	32 879 009	1062 154	96 136	137 894	1 092,4	2,1	208 × 10 ⁻⁶	791,5	1 407,4
1 706,7	685,8	4 802,8	1 003,1	33 262 023	1097 289	98 297	137 239	1 120,5	2,2	215 × 10 ⁻⁶	817,4	1 448,4
1 706,7	683,8	5 098,3	1 003,1	33 692 849	1133 029	100 629	137 318	1 150,0	2,3	223 × 10 ⁻⁶	843,8	1 490,8
1 706,7	529,6	3 926,3	1 003,1	32 204 364	1138 101	98 499	144 303	1 139,0	3,2	375 × 10 ⁻⁶	775,4	1 463,4
1 706,7	528,0	4 216,2	1 003,1	32 440 821	1177 998	100 345	141 024	1 166,2	3,3	390 × 10 ⁻⁶	801,5	1 505,6
1 706,7	526,4	4 509,7	1 003,1	32 823 433	1219 747	102 713	139 994	1 198,1	3,5	406 × 10 ⁻⁶	829,2	1 552,3
1 706,7	524,8	4 804,7	1 003,1	33 262 642	1262 213	105 284	139 833	1 231,8	3,6	422 × 10 ⁻⁶	857,4	1 600,7
1 706,7	692,0	3 925,2	1 003,0	32 846 157	1161 999	100 081	144 651	1 159,1	3,3	383 × 10 ⁻⁶	791,3	1 491,3
1 706,7	689,9	4 215,4	1 003,1	33 094 562	1201 998	101 972	141 586	1 186,6	3,4	399 × 10 ⁻⁶	817,6	1 533,8
1 706,7	687,8	4 508,0	1 003,1	33 438 049	1243 202	104 202	139 984	1 217,3	3,5	415 × 10 ⁻⁶	844,8	1 579,3
1 706,7	685,7	4 802,8	1 003,1	33 868 190	1285 504	106 743	139 714	1 250,7	3,6	431 × 10 ⁻⁶	872,9	1 627,4
1 706,7	411,4	3 637,2	1 003,1	31 897 672	1154 759	100 915	148 685	1 157,4	4,2	528 × 10 ⁻⁶	776,5	1 480,6
1 706,7	410,5	3 926,7	1 003,1	32 155 545	1197 997	102 991	145 388	1 187,1	4,3	552 × 10 ⁻⁶	804,4	1 526,3
1 706,7	-	4 219,2	1 003,1	Nelze nadimenzovat výztuž...								
1 706,7	-	4 512,9	1 003,2	Nelze nadimenzovat výztuž...								
1 706,7	531,0	3 635,4	1 003,1	32 336 963	1172 978	101 947	147 924	1 171,2	4,2	538 × 10 ⁻⁶	788,3	1 500,6
1 706,7	529,4	3 924,4	1 003,1	32 563 904	1215 783	103 914	144 173	1 199,9	4,4	562 × 10 ⁻⁶	815,8	1 545,4
1 706,7	527,9	4 216,7	1 003,1	32 922 849	1260 260	106 353	142 452	1 233,0	4,6	586 × 10 ⁻⁶	844,8	1 594,2
1 706,7	526,3	4 510,4	1 003,1	33 335 134	1305 413	108 982	141 551	1 267,7	4,8	610 × 10 ⁻⁶	874,2	1 644,6
1 706,7	410,9	3 636,7	1 003,1	32 285 550	1228 305	106 145	149 116	1 215,9	5,3	705 × 10 ⁻⁶	815,2	1 558,9
1 706,7	409,7	3 926,8	1 003,1	32 583 912	1275 072	108 517	146 094	1 248,8	5,5	736 × 10 ⁻⁶	845,0	1 608,6
1 706,7	408,6	4 219,6	1 003,1	32 995 244	1323 271	111 292	144 810	1 285,4	5,7	768 × 10 ⁻⁶	876,0	1 661,9
1 706,7	407,6	4 510,8	1 003,2	33 340 625	1370 635	113 832	142 511	1 319,9	6,0	800 × 10 ⁻⁶	906,3	1 713,1
1 706,7	531,0	3 634,8	1 003,1	32 750 216	1248 070	107 331	148 609	1 231,2	5,4	717 × 10 ⁻⁶	827,9	1 580,9
1 706,7	529,4	3 924,3	1 003,1	33 022 802	1294 467	109 612	145 214	1 263,4	5,6	749 × 10 ⁻⁶	857,4	1 629,8
1 706,7	527,8	4 217,2	1 003,1	33 428 578	1342 551	112 369	143 868	1 299,8	5,8	781 × 10 ⁻⁶	888,3	1 682,8
1 706,7	526,2	4 508,2	1 003,1	33 759 918	1389 693	114 860	141 376	1 333,8	6,1	813 × 10 ⁻⁶	918,4	1 733,6

Optim. proměnné			Beton				Výztuž				Bednění		
Třída betonu	a m	d m	Základy m ³	Sloupy m ³	Desky m ³	Stěny m ³	Základy t	Sloupy t	Desky t	Stěny t	Sloupy m ²	Desky m ²	Stěny m ²
C50/60	0,35	0,12	696,6	170,8	1 544,9	428,7	104,5	17,6	80,3	17,0	2 594,9	12 874,0	4 287,4
C50/60	0,35	0,13	696,6	170,3	1 673,6	428,7	104,5	17,7	75,1	17,0	2 586,7	12 874,0	4 287,4
C50/60	0,35	0,14	696,6	169,8	1 802,4	428,7	104,5	17,8	69,9	17,1	2 578,6	12 874,0	4 287,4
C50/60	0,35	0,15	696,6	169,2	1 931,1	428,7	104,5	17,9	66,9	17,1	2 570,4	12 874,0	4 287,4
C50/60	0,4	0,12	696,6	222,7	1 544,9	428,7	104,5	18,6	78,1	17,0	2 940,9	12 874,0	4 287,4
C50/60	0,4	0,13	696,6	222,0	1 673,6	428,7	104,5	18,6	72,6	17,0	2 931,6	12 874,0	4 287,4
C50/60	0,4	0,14	696,6	221,3	1 802,4	428,7	104,5	18,7	67,4	17,0	2 922,4	12 874,0	4 287,4
C50/60	0,4	0,15	696,6	220,6	1 931,1	428,7	104,5	18,7	64,1	17,0	2 913,1	12 874,0	4 287,4
C60/75	0,3	0,12	696,6	135,2	1 544,9	428,7	104,5	17,4	81,7	17,0	2 335,4	12 874,0	4 287,4
C60/75	0,3	0,13	696,6	134,7	1 673,6	428,7	104,5	17,6	73,0	17,1	2 328,0	12 874,0	4 287,4
C60/75	0,3	0,14	696,6	134,3	1 802,4	428,7	104,5	-	69,5	17,1	2 320,7	12 874,0	4 287,4
C60/75	0,3	0,15	696,6	133,9	1 931,1	428,7	104,5	-	70,2	17,2	2 313,4	12 874,0	4 287,4
C60/75	0,35	0,12	696,6	170,8	1 544,9	428,7	104,5	17,5	78,9	17,0	2 594,9	12 874,0	4 287,4
C60/75	0,35	0,13	696,6	170,3	1 673,6	428,7	104,5	17,6	69,9	17,0	2 586,7	12 874,0	4 287,4
C60/75	0,35	0,14	696,6	169,8	1 802,4	428,7	104,5	17,6	66,0	17,1	2 578,6	12 874,0	4 287,4
C60/75	0,35	0,15	696,6	169,2	1 931,1	428,7	104,5	17,6	66,8	17,1	2 570,4	12 874,0	4 287,4
C70/85	0,3	0,12	696,6	135,2	1 544,9	428,7	104,5	16,8	75,1	17,0	2 335,4	12 874,0	4 287,4
C70/85	0,3	0,13	696,6	134,7	1 673,6	428,7	104,5	17,0	70,5	17,1	2 328,0	12 874,0	4 287,4
C70/85	0,3	0,14	696,6	134,3	1 802,4	428,7	104,5	17,1	70,0	17,1	2 320,7	12 874,0	4 287,4
C70/85	0,3	0,15	696,6	133,9	1 931,1	428,7	104,5	17,2	71,4	17,2	2 313,4	12 874,0	4 287,4
C70/85	0,35	0,12	696,6	170,8	1 544,9	428,7	104,5	17,5	72,5	17,0	2 594,9	12 874,0	4 287,4
C70/85	0,35	0,13	696,6	170,3	1 673,6	428,7	104,5	17,6	67,4	17,0	2 586,7	12 874,0	4 287,4
C70/85	0,35	0,14	696,6	169,8	1 802,4	428,7	104,5	17,6	66,9	17,1	2 578,6	12 874,0	4 287,4
C70/85	0,35	0,15	696,6	169,2	1 931,1	428,7	104,5	17,6	68,1	17,1	2 570,4	12 874,0	4 287,4
C80/95	0,25	0,12	696,6	113,5	1 544,9	428,7	104,5	17,0	76,0	17,1	2 162,4	12 874,0	4 287,4
C80/95	0,25	0,13	696,6	113,2	1 673,6	428,7	104,5	-	74,0	17,1	2 155,6	12 874,0	4 287,4
C80/95	0,25	0,14	696,6	112,8	1 802,4	428,7	104,5	-	74,1	17,2	2 148,8	12 874,0	4 287,4
C80/95	0,25	0,15	696,6	112,5	1 931,1	428,7	104,5	-	76,0	17,2	2 142,0	12 874,0	4 287,4
C80/95	0,3	0,12	696,6	135,2	1 544,9	428,7	104,5	16,8	73,2	17,0	2 335,4	12 874,0	4 287,4
C80/95	0,3	0,13	696,6	134,7	1 673,6	428,7	104,5	16,8	70,9	17,1	2 328,0	12 874,0	4 287,4
C80/95	0,3	0,14	696,6	134,3	1 802,4	428,7	104,5	16,9	70,9	17,1	2 320,7	12 874,0	4 287,4
C80/95	0,3	0,15	696,6	133,9	1 931,1	428,7	104,5	16,9	72,5	17,2	2 313,4	12 874,0	4 287,4

Přesun hmot				Cena	Environmentální dopad							
Základy t	Sloupy t	Desky t	Stěny t	Cena Kč	GWP kg CO ₂ ekv.	FDP kg ropy ekv.	MDP kg Fe ekv.	TAP kg SO ₂ ekv.	FEP kg P ekv.	ODP kg CFC-11 ekv.	PMFP kg PM ₁₀ ekv.	POFP kg NMVOC ekv.
1 706,7	410,5	3 633,6	1 003,1	32 489 563	1277 013	109 804	147 773	1 254,3	6,4	881 × 10 ⁻⁶	841,0	1 610,2
1 706,7	409,4	3 924,4	1 003,1	32 840 042	1326 458	112 476	145 273	1 290,2	6,7	920 × 10 ⁻⁶	872,3	1 663,4
1 706,7	408,3	4 215,4	1 003,1	33 196 469	1375 979	115 169	142 864	1 326,3	7,0	960 × 10 ⁻⁶	903,8	1 716,8
1 706,7	407,1	4 508,4	1 003,2	33 636 356	1426 558	118 161	141 740	1 365,1	7,2	1.00 × 10 ⁻³	936,1	1 772,8
1 706,7	530,9	3 631,3	1 003,1	32 960 975	1297 682	111 060	147 258	1 270,4	6,5	897 × 10 ⁻⁶	854,2	1 633,1
1 706,7	529,3	3 921,9	1 003,1	33 297 289	1346 902	113 683	144 565	1 305,8	6,8	937 × 10 ⁻⁶	885,4	1 685,9
1 706,7	527,7	4 212,9	1 003,1	33 647 209	1396 294	116 354	142 080	1 341,7	7,1	976 × 10 ⁻⁶	916,7	1 739,1
1 706,7	526,1	4 505,6	1 003,1	34 069 000	1446 596	119 282	140 701	1 379,9	7,3	1.02 × 10 ⁻³	948,8	1 794,5
1 706,7	328,3	3 635,0	1 003,1	34 060 176	1342 429	117 632	149 918	1 320,3	9,6	1.39 × 10 ⁻³	876,3	1 688,0
1 706,7	327,5	3 922,3	1 003,2	34 395 426	1393 884	120 232	145 463	1 355,5	10,0	1.46 × 10 ⁻³	908,3	1 741,5
1 706,7	-	4 214,9	1 003,2	Nelze nadimenzovat výztuž...								
1 706,7	-	4 511,7	1 003,2	Nelze nadimenzovat výztuž...								
1 706,7	410,4	3 632,1	1 003,1	34 359 027	1356 717	118 342	148 434	1 330,0	9,7	1.41 × 10 ⁻³	885,1	1 702,7
1 706,7	409,2	3 919,2	1 003,1	34 673 782	1407 878	120 869	143 681	1 364,5	10,1	1.47 × 10 ⁻³	917,0	1 755,5
1 706,7	408,0	4 211,4	1 003,1	35 192 035	1461 618	124 124	142 058	1 405,6	10,6	1.54 × 10 ⁻³	950,9	1 814,6
1 706,7	406,8	4 508,4	1 003,2	35 897 180	1517 726	128 046	143 309	1 452,8	11,0	1.60 × 10 ⁻³	986,8	1 879,5
1 706,7	327,7	3 628,4	1 003,1	36 433 564	1421 369	126 906	147 382	1 396,6	14,0	2.09 × 10 ⁻³	919,7	1 779,6
1 706,7	326,8	3 919,8	1 003,2	37 087 654	1478 590	130 538	145 427	1 440,7	14,6	2.18 × 10 ⁻³	955,5	1 842,6
1 706,7	326,0	4 215,4	1 003,2	37 908 381	1537 922	134 765	146 034	1 490,3	15,2	2.28 × 10 ⁻³	993,0	1 910,6
1 706,7	325,1	4 512,9	1 003,2	38 803 674	1598 200	139 258	147 789	1 542,3	15,8	2.37 × 10 ⁻³	1 031,3	1 981,0
1 706,7	410,4	3 625,7	1 003,1	36 808 004	1437 098	127 858	146 397	1 408,3	14,1	2.11 × 10 ⁻³	929,5	1 796,6
1 706,7	409,2	3 916,8	1 003,1	37 440 822	1494 015	131 414	144 135	1 451,8	14,8	2.21 × 10 ⁻³	965,0	1 858,8
1 706,7	408,0	4 212,3	1 003,1	38 251 119	1553 180	135 605	144 603	1 501,0	15,4	2.30 × 10 ⁻³	1 002,4	1 926,5
1 706,7	406,8	4 509,6	1 003,2	39 133 639	1613 261	140 054	146 181	1 552,6	16,0	2.40 × 10 ⁻³	1 040,6	1 996,5
1 706,7	278,1	3 629,2	1 003,2	39 818 459	1493 468	136 464	149 687	1 473,6	18,2	2.76 × 10 ⁻³	958,4	1 868,4
1 706,7	-	3 923,3	1 003,2	Nelze nadimenzovat výztuž...								
1 706,7	-	4 219,6	1 003,3	Nelze nadimenzovat výztuž...								
1 706,7	-	4 517,5	1 003,3	Nelze nadimenzovat výztuž...								
1 706,7	327,6	3 626,4	1 003,1	40 022 378	1502 717	136 860	147 974	1 479,1	18,3	2.78 × 10 ⁻³	963,9	1 877,2
1 706,7	326,7	3 920,2	1 003,2	40 992 835	1564 885	141 292	147 534	1 530,1	19,2	2.91 × 10 ⁻³	1 002,8	1 947,6
1 706,7	325,8	4 216,3	1 003,2	42 049 747	1628 148	146 034	148 423	1 584,0	20,0	3.04 × 10 ⁻³	1 042,5	2 020,6
1 706,7	324,8	4 514,0	1 003,2	43 173 735	1692 260	151 015	150 343	1 640,1	20,8	3.16 × 10 ⁻³	1 082,9	2 095,7

D.6 Varianta s 12 podlažími a osovou vzd. sloupů 8 m

Optim. proměnné			Beton				Výztuž				Bednění		
Třída betonu	a m	d m	Základy m ³	Sloupy m ³	Desky m ³	Stěny m ³	Základy t	Sloupy t	Desky t	Stěny t	Sloupy m ²	Desky m ²	Stěny m ²
C30/37	0,75	0,31	1 200,2	285,5	3 990,9	428,7	160,8	17,3	134,4	19,9	1 794,0	12 874,0	4 287,4
C30/37	0,75	0,32	1 200,2	284,6	4 119,7	428,7	160,8	17,5	133,6	20,0	1 788,0	12 874,0	4 287,4
C30/37	0,8	0,31	1 200,2	332,2	3 990,9	428,7	160,8	15,9	132,4	19,7	1 937,5	12 874,0	4 287,4
C30/37	0,8	0,32	1 200,2	331,1	4 119,7	428,7	160,8	16,0	131,6	19,7	1 931,0	12 874,0	4 287,4
C35/45	0,28	812,7	1 084,1	205,1	3 604,7	428,7	142,2	17,0	142,5	20,3	1 522,1	12 874,0	4 287,4
C35/45	0,29	812,7	1 084,1	204,4	3 733,5	428,7	142,2	17,4	141,6	20,4	1 517,0	12 874,0	4 287,4
C35/45	0,3	812,7	1 084,1	203,7	3 862,2	428,7	142,2	17,7	140,9	20,4	1 512,0	12 874,0	4 287,4
C35/45	0,31	812,7	1 084,1	203,0	3 990,9	428,7	142,2	17,9	140,6	20,5	1 507,0	12 874,0	4 287,4
C35/45	0,28	812,7	1 084,1	244,9	3 604,7	428,7	142,2	14,7	139,9	20,0	1 667,0	12 874,0	4 287,4
C35/45	0,29	812,7	1 084,1	244,1	3 733,5	428,7	142,2	15,0	138,5	20,0	1 661,5	12 874,0	4 287,4
C35/45	0,3	812,7	1 084,1	243,3	3 862,2	428,7	142,2	15,3	137,5	20,1	1 656,0	12 874,0	4 287,4
C35/45	0,31	812,7	1 084,1	242,5	3 990,9	428,7	142,2	15,6	137,2	20,2	1 650,5	12 874,0	4 287,4
C40/50	0,25	754,65	1 026,1	170,5	3 218,5	428,7	133,0	15,7	150,0	20,4	1 390,8	12 874,0	4 287,4
C40/50	0,26	754,65	1 026,1	169,9	3 347,2	428,7	133,0	15,9	148,2	20,4	1 386,2	12 874,0	4 287,4
C40/50	0,27	754,65	1 026,1	169,4	3 476,0	428,7	133,0	16,2	146,7	20,5	1 381,7	12 874,0	4 287,4
C40/50	0,28	754,65	1 026,1	168,8	3 604,7	428,7	133,0	16,5	146,1	20,6	1 377,1	12 874,0	4 287,4
C40/50	0,25	754,65	1 026,1	207,1	3 218,5	428,7	133,0	13,2	147,2	20,1	1 537,2	12 874,0	4 287,4
C40/50	0,26	754,65	1 026,1	206,4	3 347,2	428,7	133,0	13,5	145,1	20,1	1 532,2	12 874,0	4 287,4
C40/50	0,27	754,65	1 026,1	205,7	3 476,0	428,7	133,0	13,7	143,3	20,2	1 527,1	12 874,0	4 287,4
C40/50	0,28	754,65	1 026,1	205,1	3 604,7	428,7	133,0	13,9	142,5	20,2	1 522,1	12 874,0	4 287,4
C45/55	0,55	0,22	968,0	138,9	2 832,3	428,7	123,7	15,5	160,8	20,4	1 256,6	12 874,0	4 287,4
C45/55	0,55	0,23	968,0	138,5	2 961,0	428,7	123,7	15,8	157,2	20,5	1 252,6	12 874,0	4 287,4
C45/55	0,55	0,24	968,0	138,0	3 089,8	428,7	123,7	16,2	154,7	20,6	1 248,5	12 874,0	4 287,4
C45/55	0,55	0,25	968,0	137,6	3 218,5	428,7	123,7	16,6	153,5	20,7	1 244,4	12 874,0	4 287,4
C45/55	0,6	0,22	968,0	172,2	2 832,3	428,7	123,7	12,4	157,5	20,1	1 404,5	12 874,0	4 287,4
C45/55	0,6	0,23	968,0	171,6	2 961,0	428,7	123,7	12,6	153,8	20,2	1 399,9	12 874,0	4 287,4
C45/55	0,6	0,24	968,0	171,1	3 089,8	428,7	123,7	12,9	151,1	20,3	1 395,4	12 874,0	4 287,4
C45/55	0,6	0,25	968,0	170,5	3 218,5	428,7	123,7	13,1	149,0	20,3	1 390,8	12 874,0	4 287,4
C50/60	0,55	0,2	910,0	139,8	2 574,8	428,7	114,4	12,6	168,9	20,2	1 264,8	12 874,0	4 287,4
C50/60	0,55	0,21	910,0	139,4	2 703,5	428,7	114,4	12,8	164,0	20,3	1 260,7	12 874,0	4 287,4
C50/60	0,55	0,22	910,0	138,9	2 832,3	428,7	114,4	13,1	159,6	20,4	1 256,6	12 874,0	4 287,4
C50/60	0,55	0,23	910,0	138,5	2 961,0	428,7	114,4	13,3	156,5	20,5	1 252,6	12 874,0	4 287,4
C50/60	0,6	0,2	910,0	173,3	2 574,8	428,7	114,4	11,2	166,9	20,0	1 413,6	12 874,0	4 287,4
C50/60	0,6	0,21	910,0	172,7	2 703,5	428,7	114,4	11,2	161,6	20,1	1 409,0	12 874,0	4 287,4
C50/60	0,6	0,22	910,0	172,2	2 832,3	428,7	114,4	11,3	157,4	20,1	1 404,5	12 874,0	4 287,4
C50/60	0,6	0,23	910,0	171,6	2 961,0	428,7	114,4	11,4	153,3	20,2	1 399,9	12 874,0	4 287,4
C60/75	0,55	0,19	910,0	140,3	2 446,1	428,7	114,4	10,7	172,5	20,1	1 268,9	12 874,0	4 287,4
C60/75	0,55	0,2	910,0	139,8	2 574,8	428,7	114,4	10,7	167,3	20,2	1 264,8	12 874,0	4 287,4
C60/75	0,55	0,21	910,0	139,4	2 703,5	428,7	114,4	10,7	162,6	20,3	1 260,7	12 874,0	4 287,4
C60/75	0,55	0,22	910,0	138,9	2 832,3	428,7	114,4	10,8	158,5	20,4	1 256,6	12 874,0	4 287,4
C60/75	0,6	0,19	910,0	173,8	2 446,1	428,7	114,4	11,0	170,5	19,9	1 418,2	12 874,0	4 287,4
C60/75	0,6	0,2	910,0	173,3	2 574,8	428,7	114,4	11,1	165,4	20,0	1 413,6	12 874,0	4 287,4
C60/75	0,6	0,21	910,0	172,7	2 703,5	428,7	114,4	11,2	160,4	20,0	1 409,0	12 874,0	4 287,4
C60/75	0,6	0,22	910,0	172,2	2 832,3	428,7	114,4	11,2	155,8	20,1	1 404,5	12 874,0	4 287,4

Přesun hmot				Cena	Environmentální dopad								
Základy t	Sloupy t	Desky t	Stěny t	Cena Kč	GWP kg CO ₂ ekv.	FDP kg ropy ekv.	MDP kg Fe ekv.	TAP kg SO ₂ ekv.	FEP kg P ekv.	ODP kg CFC-11 ekv.	PMFP kg PM ₁₀ ekv.	POFP kg NMVOC ekv.	
2 284,8	674,1	9 313,5	1 006,0	45 630 031	1844 126	161 609	221 337	1 854,9	3,7	366 × 10 ⁻⁶	1 373,9	2 419,8	
2 284,8	672,1	9 608,9	1 006,1	46 065 240	1879 871	163 944	221 430	1 884,5	3,8	374 × 10 ⁻⁶	1 400,3	2 462,2	
2 284,8	779,9	9 311,5	1 005,8	45 785 512	1855 535	161 995	219 257	1 861,4	3,7	369 × 10 ⁻⁶	1 382,2	2 431,2	
2 284,8	777,5	9 606,8	1 005,8	46 213 788	1891 160	164 306	219 259	1 890,8	3,8	377 × 10 ⁻⁶	1 408,5	2 473,4	
1 999,2	488,6	8 433,3	1 006,4	43 861 747	1962 892	162 060	217 024	1 902,7	5,6	660 × 10 ⁻⁶	1 333,4	2 484,6	
1 999,2	487,4	8 728,5	1 006,5	44 329 063	2005 682	164 720	217 244	1 937,3	5,7	676 × 10 ⁻⁶	1 361,9	2 533,8	
1 999,2	486,2	9 023,9	1 006,5	44 802 018	2048 542	167 400	217 551	1 972,0	5,8	692 × 10 ⁻⁶	1 390,5	2 583,2	
1 999,2	484,8	9 319,7	1 006,6	45 287 465	2091 560	170 125	218 048	2 007,2	5,9	708 × 10 ⁻⁶	1 419,1	2 633,0	
1 999,2	578,0	8 430,7	1 006,1	43 939 669	1973 782	162 199	214 019	1 907,2	5,6	665 × 10 ⁻⁶	1 340,3	2 493,9	
1 999,2	576,4	8 725,5	1 006,1	44 385 335	2016 265	164 782	213 920	1 941,1	5,7	681 × 10 ⁻⁶	1 368,5	2 542,4	
1 999,2	574,9	9 020,6	1 006,2	44 845 546	2058 932	167 417	214 045	1 975,4	5,8	697 × 10 ⁻⁶	1 396,9	2 591,4	
1 999,2	573,3	9 316,3	1 006,3	45 329 201	2101 895	170 136	214 530	2 010,5	6,0	713 × 10 ⁻⁶	1 425,6	2 641,1	
1 856,4	407,8	7 552,6	1 006,5	42 563 402	1926 652	160 575	215 148	1 869,2	7,0	901 × 10 ⁻⁶	1 291,1	2 430,1	
1 856,4	406,8	7 846,9	1 006,5	43 017 671	1972 336	163 343	214 826	1 905,2	7,2	925 × 10 ⁻⁶	1 320,9	2 481,8	
1 856,4	405,8	8 141,5	1 006,6	43 483 470	2018 166	166 152	214 682	1 941,6	7,4	949 × 10 ⁻⁶	1 350,9	2 533,8	
1 856,4	404,8	8 436,9	1 006,7	43 982 384	2064 416	169 079	215 047	1 979,1	7,5	972 × 10 ⁻⁶	1 381,3	2 586,9	
1 856,4	489,5	7 549,7	1 006,2	42 619 119	1937 189	160 655	211 887	1 873,0	7,1	908 × 10 ⁻⁶	1 297,5	2 438,7	
1 856,4	488,2	7 843,7	1 006,2	43 059 990	1982 672	163 375	211 374	1 908,6	7,2	932 × 10 ⁻⁶	1 327,3	2 489,9	
1 856,4	486,9	8 138,1	1 006,3	43 510 434	2028 276	166 129	211 008	1 944,5	7,4	955 × 10 ⁻⁶	1 357,1	2 541,5	
1 856,4	485,5	8 433,3	1 006,3	43 998 375	2074 355	169 018	211 218	1 981,7	7,6	979 × 10 ⁻⁶	1 387,3	2 594,1	
1 713,6	335,0	6 675,0	1 006,5	41 323 478	1868 862	157 990	215 596	1 822,1	8,1	1.08 × 10 ⁻³	1 238,6	2 355,7	
1 713,6	334,3	6 967,6	1 006,6	41 736 786	1917 076	160 762	214 285	1 858,7	8,3	1.12 × 10 ⁻³	1 269,6	2 408,9	
1 713,6	333,6	7 261,2	1 006,7	42 191 886	1965 818	163 684	213 617	1 896,7	8,5	1.15 × 10 ⁻³	1 301,0	2 463,4	
1 713,6	332,9	7 556,1	1 006,8	42 700 381	2015 238	166 796	213 771	1 936,3	8,8	1.18 × 10 ⁻³	1 333,0	2 519,6	
1 713,6	408,4	6 671,7	1 006,2	41 327 700	1878 490	157 895	211 642	1 824,2	8,2	1.09 × 10 ⁻³	1 244,3	2 362,4	
1 713,6	407,3	6 964,2	1 006,3	41 731 170	1926 548	160 632	210 194	1 860,5	8,4	1.12 × 10 ⁻³	1 275,1	2 415,3	
1 713,6	406,3	7 257,5	1 006,4	42 170 506	1975 060	163 497	209 296	1 897,9	8,6	1.16 × 10 ⁻³	1 306,4	2 469,3	
1 713,6	405,3	7 551,6	1 006,4	42 639 267	2023 946	166 468	208 852	1 936,3	8,8	1.19 × 10 ⁻³	1 337,9	2 524,2	
1 570,8	334,1	6 090,9	1 006,3	40 400 341	1816 574	155 413	212 601	1 778,2	9,1	1.26 × 10 ⁻³	1 196,5	2 289,6	
1 570,8	333,3	6 382,1	1 006,4	40 778 373	1866 359	158 174	210 468	1 814,9	9,4	1.30 × 10 ⁻³	1 228,1	2 343,7	
1 570,8	332,6	6 673,9	1 006,5	41 177 422	1916 411	161 009	208 658	1 852,3	9,7	1.34 × 10 ⁻³	1 260,0	2 398,3	
1 570,8	331,8	6 966,9	1 006,6	41 625 811	1967 087	164 020	207 607	1 891,3	10,0	1.38 × 10 ⁻³	1 292,4	2 454,5	
1 570,8	409,7	6 088,9	1 006,1	40 535 552	1828 459	155 817	210 574	1 784,9	9,2	1.27 × 10 ⁻³	1 203,8	2 301,0	
1 570,8	408,5	6 379,7	1 006,1	40 887 005	1877 875	158 483	208 045	1 820,7	9,5	1.31 × 10 ⁻³	1 235,2	2 354,1	
1 570,8	407,3	6 671,6	1 006,2	41 284 159	1927 870	161 312	206 219	1 858,0	9,7	1.35 × 10 ⁻³	1 267,0	2 408,7	
1 570,8	406,2	6 963,7	1 006,3	41 688 456	1977 955	164 166	204 503	1 895,6	10,0	1.39 × 10 ⁻³	1 298,9	2 463,5	
1 570,8	333,3	5 798,4	1 006,2	42 621 157	1876 500	164 336	215 157	1 845,1	13,4	1.95 × 10 ⁻³	1 225,6	2 362,5	
1 570,8	332,3	6 089,4	1 006,3	43 094 714	1929 665	167 420	212 789	1 884,6	13,9	2.01 × 10 ⁻³	1 259,0	2 420,2	
1 570,8	331,3	6 380,7	1 006,4	43 584 032	1983 030	170 560	210 662	1 924,7	14,3	2.07 × 10 ⁻³	1 292,6	2 478,3	
1 570,8	330,3	6 672,7	1 006,5	44 099 927	2036 732	173 796	208 944	1 965,7	14,7	2.14 × 10 ⁻³	1 326,5	2 537,3	
1 570,8	410,8	5 796,4	1 006,0	42 854 741	1890 243	165 090	214 196	1 854,9	13,6	1.96 × 10 ⁻³	1 234,2	2 377,1	
1 570,8	409,6	6 087,5	1 006,1	43 332 228	1943 425	168 188	211 903	1 894,6	14,0	2.03 × 10 ⁻³	1 267,6	2 434,8	
1 570,8	408,4	6 378,6	1 006,1	43 812 699	1996 644	171 298	209 656	1 934,4	14,4	2.09 × 10 ⁻³	1 301,1	2 492,7	
1 570,8	407,2	6 670,1	1 006,2	44 307 758	2050 048	174 459	207 634	1 974,7	14,8	2.15 × 10 ⁻³	1 334,8	2 551,0	

Optim. proměnné			Beton				Výztuž				Bednění		
Třída betonu	a m	d m	Základy m ³	Sloupy m ³	Desky m ³	Stěny m ³	Základy t	Sloupy t	Desky t	Stěny t	Sloupy m ²	Desky m ²	Stěny m ²
C70/85	0,55	0,18	851,9	140,7	2 317,3	428,7	105,1	10,6	176,7	20,1	1 273,0	12 874,0	4 287,4
C70/85	0,55	0,19	851,9	140,3	2 446,1	428,7	105,1	10,6	170,1	20,1	1 268,9	12 874,0	4 287,4
C70/85	0,55	0,2	851,9	139,8	2 574,8	428,7	105,1	10,7	165,0	20,2	1 264,8	12 874,0	4 287,4
C70/85	0,55	0,21	851,9	139,4	2 703,5	428,7	105,1	10,7	160,8	20,3	1 260,7	12 874,0	4 287,4
C70/85	0,6	0,18	851,9	174,4	2 317,3	428,7	105,1	10,9	176,0	19,9	1 422,7	12 874,0	4 287,4
C70/85	0,6	0,19	851,9	173,8	2 446,1	428,7	105,1	11,0	168,9	19,9	1 418,2	12 874,0	4 287,4
C70/85	0,6	0,2	851,9	173,3	2 574,8	428,7	105,1	11,0	163,0	20,0	1 413,6	12 874,0	4 287,4
C70/85	0,6	0,21	851,9	172,7	2 703,5	428,7	105,1	11,1	158,2	20,0	1 409,0	12 874,0	4 287,4
C80/95	0,55	0,18	851,9	140,7	2 317,3	428,7	105,1	10,6	174,7	20,1	1 273,0	12 874,0	4 287,4
C80/95	0,55	0,19	851,9	140,3	2 446,1	428,7	105,1	10,6	168,4	20,1	1 268,9	12 874,0	4 287,4
C80/95	0,55	0,2	851,9	139,8	2 574,8	428,7	105,1	10,7	163,5	20,2	1 264,8	12 874,0	4 287,4
C80/95	0,55	0,21	851,9	139,4	2 703,5	428,7	105,1	10,7	159,0	20,3	1 260,7	12 874,0	4 287,4
C80/95	0,6	0,18	851,9	174,4	2 317,3	428,7	105,1	10,9	172,4	19,9	1 422,7	12 874,0	4 287,4
C80/95	0,6	0,19	851,9	173,8	2 446,1	428,7	105,1	11,0	166,0	19,9	1 418,2	12 874,0	4 287,4
C80/95	0,6	0,2	851,9	173,3	2 574,8	428,7	105,1	11,1	160,9	20,0	1 413,6	12 874,0	4 287,4
C80/95	0,6	0,21	851,9	172,7	2 703,5	428,7	105,1	11,1	156,2	20,0	1 409,0	12 874,0	4 287,4

Přesun hmot				Cena	Environmentální dopad							
Základy t	Sloupy t	Desky t	Stěny t	Cena Kč	GWP kg CO ₂ ekv.	FDP kg ropy ekv.	MDP kg Fe ekv.	TAP kg SO ₂ ekv.	FEP kg P ekv.	ODP kg CFC-11 ekv.	PMFP kg PM ₁₀ ekv.	POFP kg NMVOC ekv.
1 428,0	334,2	5 506,5	1 006,2	45 198 574	1902 965	171 789	213 381	1 885,3	18,6	$2,78 \times 10^{-3}$	1 233,6	2 397,2
1 428,0	333,2	5 796,0	1 006,2	45 775 248	1959 164	175 134	210 196	1 926,9	19,3	$2,88 \times 10^{-3}$	1 268,6	2 457,6
1 428,0	332,2	6 087,1	1 006,3	46 415 760	2016 171	178 708	207 993	1 970,5	19,9	$2,97 \times 10^{-3}$	1 304,2	2 520,0
1 428,0	331,2	6 378,9	1 006,4	47 088 932	2073 592	182 398	206 291	2 015,2	20,5	$3,07 \times 10^{-3}$	1 340,2	2 583,5
1 428,0	412,0	5 505,8	1 006,0	45 527 833	1918 407	172 856	213 244	1 897,9	18,8	$2,81 \times 10^{-3}$	1 243,4	2 414,6
1 428,0	410,8	5 794,8	1 006,0	46 084 217	1974 314	176 129	209 765	1 938,8	19,4	$2,90 \times 10^{-3}$	1 278,1	2 474,4
1 428,0	409,6	6 085,1	1 006,1	46 692 675	2030 880	179 589	207 086	1 981,4	20,0	$3,00 \times 10^{-3}$	1 313,4	2 535,8
1 428,0	408,4	6 376,3	1 006,1	47 340 516	2087 945	183 189	205 013	2 025,3	20,7	$3,09 \times 10^{-3}$	1 349,1	2 598,5
1 428,0	334,2	5 504,5	1 006,1	50 139 740	2011 700	185 145	214 561	1 996,0	24,4	$3,71 \times 10^{-3}$	1 292,8	2 528,0
1 428,0	333,2	5 794,4	1 006,2	50 955 471	2071 866	189 015	211 703	2 042,0	25,3	$3,84 \times 10^{-3}$	1 330,0	2 593,5
1 428,0	332,2	6 085,5	1 006,3	51 822 648	2132 683	193 069	209 636	2 089,7	26,1	$3,96 \times 10^{-3}$	1 367,7	2 660,6
1 428,0	331,2	6 377,1	1 006,4	52 707 437	2193 724	197 186	207 840	2 137,9	26,9	$4,09 \times 10^{-3}$	1 405,6	2 728,2
1 428,0	412,0	5 502,2	1 006,0	50 465 461	2027 344	186 112	213 490	2 007,7	24,7	$3,74 \times 10^{-3}$	1 302,4	2 544,7
1 428,0	410,8	5 791,9	1 006,0	51 274 256	2087 387	189 959	210 546	2 053,5	25,5	$3,87 \times 10^{-3}$	1 339,5	2 610,0
1 428,0	409,6	6 082,9	1 006,1	52 135 489	2148 093	193 993	208 409	2 100,9	26,3	$4,00 \times 10^{-3}$	1 377,2	2 676,9
1 428,0	408,4	6 374,3	1 006,1	53 009 928	2208 966	198 074	206 474	2 148,8	27,1	$4,12 \times 10^{-3}$	1 415,0	2 744,2