

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ
Katedra technologie staveb**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
Výškové budovy v současných
podmínkách ČR a ve světě**

**Tereza Zubrová
2017**

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Pavel Svoboda, CSc.

Prohlašuji, že jsem předkládanou bakalářskou práci vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze

.....
Tereza Zubrová

Poděkování

Ráda bych zde především poděkovala vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Pavlu Svobodovi, CSc. za odborné vedení, podnětné rady, zapůjčenou literaturu a čas, který mi při řešení dané problematiky věnoval. V neposlední řadě také děkuji své rodině za podporu a trpělivost při tvorbě bakalářské práce.



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Zubrová</u>	Jméno: <u>Tereza</u>	Osobní číslo: <u>423840</u>
Zadávací katedra: <u>K122 - Katedra technologie staveb</u>		
Studijní program: <u>(B3651) Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>(3607R045) Příprava, realizace a provoz staveb</u>		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>Výškové budovy v současných podmínkách ČR a ve světě</u>	
Název bakalářské práce anglicky: <u>High-rise buildings in the current conditions of the Czech Republic and the world</u>	
Pokyny pro vypracování: Práce bude obsahovat následující tématické bloky: <ul style="list-style-type: none">- rešerše problematiky výstavby výškových budov- vybrané výškové budovy ČR- typy zakládání a konstrukčních systémů- BOZP při realizaci a údržbě výškových budov- stavění ve světě a vybrané světové mrakodrapy- porovnání výstavby výškových budov v ČR a ve světě a shrnutí zásad pro jejich realizaci	
Seznam doporučené literatury: VORLÍK, Petr: Český mrakodrap, Praha, Nakladatelství Paseka, 2015, ISBN 978-80-7432-504-5 KOLÁŘ, Václav: Mrakodrapy, Nakladatelství Práce v Praze, 1946 CHEW YIT LIN, Michael: Construction Technology for Tall Buildings (2nd Edition), Nakladatelství: Singapore University Press, 2001, ISBN 981-02-4338-3	
Jméno vedoucího bakalářské práce: <u>doc. Ing. Pavel Svoboda, CSc.</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>23. 2. 2017</u>	Termín odevzdání bakalářské práce: <u>28. 5. 2017</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
_____	_____
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Anotace

Autorka se ve své práci věnuje problematice týkající se výstavby výškových budov. Popisuje vybrané výškové budovy našeho území s přiblížením na jejich realizaci. Zaměřuje se na způsoby zakládání a jednotlivé konstrukční systémy. Přibližuje bezpečnost a ochranu zdraví při práci v průběhu výstavby a při následné údržbě a provozu budovy. V neposlední řadě popisuje problémy vznikající při realizaci vybraných světových výškových budov v souvislosti s umístěním stavby, geologickým podložím, klimatem a dalšími skutečnostmi. Závěr práce je věnován srovnání výstavby výškových budov v ČR a ve světě a vymezuje zásady pro návrh těchto typů budov.

Klíčová slova

Výškové budovy, mrakodrapy, zakládání, konstrukční systémy, bezpečnost práce

Annotation

In her work, the author deals with issues related to the construction of high-rise buildings. She describes selected high-rise buildings in our territory and looks into their realization. The author focuses on foundation methods and individual construction systems. She also considers the issues of work safety and health during construction and subsequent maintenance and operation of the building. Finally, she describes problems arising from the implementation of selected high-rise buildings in the context of the location of the building, geological subsoil, climate and other factors. The conclusion of the thesis is dedicated to the comparison of the construction of high-rise buildings in the Czech Republic and the rest of the world and defines the principles for the design of these types of buildings.

Keywords

High-rise buildings, skyscrapers, foundation, construction systems, work safety

OBSAH

ÚVOD	9
1 VÝŠKOVÉ BUDOVY A JEJICH SPECIFIKA	10
1.1 DEFINICE A DĚLENÍ VÝŠKOVÝCH BUDOV	10
1.2 VÝVOJ MRAKODRAPŮ	11
1.3 FAKTORY OMEZUJÍCÍ STAVĚNÍ DO VÝŠKY	12
1.4 VÝŠKOVÉ BUDOVY ČR	14
1.4.1 AZ Tower	14
1.4.2 City Tower	18
1.4.3 City Empiria	20
1.4.4 V Tower, Prague	22
2 OBECNÉ ZÁSADY PRO NAVRHOVÁNÍ MRAKODRAPŮ	25
2.1 ZAKLÁDÁNÍ	25
2.1.1 Plošné zakládání	25
2.1.2 Hlubinné zakládání	26
2.2 KONSTRUKČNÍ SYSTÉMY	30
2.2.1 Zatížení	30
2.2.2 Základní prvky nosných systémů	31
2.2.3 Typy nosných systémů	31
2.2.4 Typy konstrukčních systémů	32
2.2.5 Eliminace chvění	35
3 BOZP	36
3.1 LEGISLATIVA	36
3.2 BOZP PŘI REALIZACI	37
3.2.1 Kolektivní ochrana	37
3.2.2 OOPP	38
3.2.3 Žebříky	39
3.2.4 Otvory	41
3.2.5 Zábradlí	41
3.2.6 Lešení	42
3.2.7 Ochrana materiálu	42

3.3	BOZP PŘI PROVOZU A ÚDRŽBĚ	44
3.3.1	Provoz budovy	44
3.3.2	Udržovací práce	47
4	VÝŠKOVÉ BUDOVY VE SVĚTĚ.....	49
4.1	ÚVOD	49
4.2	VYBRANÉ SVĚTOVÉ MRAKODRAPY	52
4.2.1	Burj Khalifa.....	52
4.2.2	Shanghai Tower	56
4.2.3	One World Trade Center	60
4.2.4	Taipei 101.....	61
5	SHRNUTÍ POZNATKŮ O REALIZACI VÝŠKOVÝCH BUDOV	65
5.1	NÁVRH VÝŠKOVÉ BUDOVY	65
5.2	POROVNÁNÍ VÝŠKOVÝCH BUDOV V ČR A VE SVĚTĚ	68
	ZÁVĚR.....	70
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	71
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	76
	SEZNAM OBRÁZKŮ	77
	SEZNAM TABULEK	79

ÚVOD

Bakalářská práce je v úvodu zaměřena na obecný popis výškových budov a jejich limitující faktory při navrhování. Současně přibližuje vybrané výškové budovy ČR. Dále se práce zabývá jednotlivými způsoby zakládání a konstrukčním řešením budov. Následující stránky práce se zaměřují na BOZP při realizaci a v průběhu provozu budovy. Předposlední část práce je věnována vybraným světovým mrakodrapům a jejich problémům při realizaci s ohledem na klima oblasti, geologické podmínky a další skutečnosti, jež měly při výstavbě těchto budov nějaký význam. Závěr práce pojednává o rozdílech výstavby mrakodrapů v ČR a ve světě a obsahuje shrnutí zásad při jejich realizaci.

Výškové budovy jsou na celém světě nejnápadnějším jevem v městské architektuře. V současné době touha stavět stále vyšší a vyšší budovy nezná meze. Ačkoliv u nás výstavba výškových budov dosud není vynucena z důvodu nedostatku místa, jako je tomu například v USA nebo v Číně, staví se tyto budovy po celém světě, a to i v České republice. Výškové budovy určují vzhled a charakter měst a jsou i symbolem moderní doby a ekonomické prosperity.

Informace použité při tvorbě této práce jsou mimo knižní publikace čerpány především z "Emporis", což je společnost shromažďující data o mrakodrapech a výškových budovách. Jejich data jsou spolehlivá, jelikož jsou pravidelně aktualizována v závislosti na současném dění. Dalším užitečným zdrojem jsou televizní dokumenty, které velmi názorně přiblíží průběh realizace výškové budovy od přípravných prací až po úplné dokončení stavby. Nezanedbatelným zdrojem byl i samotný internet, na kterém se dá najít značné množství zajímavých poznatků. Potřebná fakta jsou také převzata z odborných technických časopisů, jako jsou například *Beton - technologie, konstrukce, sanace* nebo *Vytápění, větrání, instalace*.

Cílem práce je vytvoření obecného přehledu o navrhování a realizaci výškových budov. Přibližuje jednotlivé způsoby zakládání a typy konstrukčního řešení. Dále porovnává výstavbu těchto typů budov v České republice a ve světě s ohledem na okolní podmínky. Při tvorbě bakalářské práce jsem využila své dosavadní znalosti a obohatila je o znalosti nové.

1 VÝŠKOVÉ BUDOVY A JEJICH SPECIFIKA

1.1 Definice a dělení výškových budov

Výškové budovy, jinak také nazývány mrakodrapy, jsou symbolem aplikací nejnovějších stavebních technologií. Anglický výraz "skyscraper", neboli "mrakodrap", vznikl ve Spojených státech amerických, kde se začaly mrakodrapy poprvé objevovat. Výšková budova není nikde přesně charakterizována a ani v mezinárodním měřítku není stanovena konkretizovaná výšková hranice, kterou musí budova převýšit, aby se z ní stala budova výšková. Obecně se ale jako kritérium uvádí její výška nebo jak moc budova "vyčnívá" mezi ostatními budovami. Celé je to však otázka místa a času, ze kterých vychází odlišná měřítka hodnocení a tudíž i relativita zařazení mezi budovy výškové. Zatímco v Čechách měří nejvyšší budova 111 metrů, nejvyšší současná budova na světě dosahuje výšky 828 metrů.

Jedná se tedy o velmi vysoké budovy, které jsou navrhovány jako bytové domy, budovy občanské výstavby nebo mohou splňovat obě funkce zároveň. Výsledkem jsou pak vícefunkční stavby, ve kterých se nachází například garáže, administrativa, společenské sály, restaurace, obchody a mnoho dalšího. U výškových budov je snahou získat co možná nejvíce podlahové plochy na co nejmenším půdorysu. Dá se říci, že u výškových a velmi vysokých budov tak vznikají města ve městě. Lidé mohou v jedné takové budově nalézt v podstatě vše, co k životu potřebují. Vysílače a vyhlídkové věže nelze považovat za mrakodrapy. I když by takovéto stavby splnily podmínku výšky, nejsou členěny na jednotlivá podlaží a nejsou užívány k pobytu ani obchodu.

Ve světovém měřítku byla stanovena hranice 40 podlaží, která rozděluje budovy na vícepodlažní a výškové. Česká republika ale takové hranice nikde nedosahuje a podle tohoto rozdělení bychom žádné výškové budovy neměli. Budovy výškové se řadí do kategorie 41 až 60 podlaží a budovy velmi vysoké mají více jak 61 podlaží. Současně se o výškových a velmi vysokých budovách hovoří jako o mrakodrapech. U nás se hovoří o výškových budovách už od 22,5 metru. S rostoucí výškou dnešních budov se také začaly užívat termíny *supertalls* a *megatalls*. *Supertall* označuje budovu, jež je vyšší jak 300 metrů. Titul *megatall* přísluší budovám s výškou vyšší jak 600 metrů. V tabulce 1 jsou vysoké budovy rozděleny do jednotlivých tříd v závislosti na jejich výšce a počtu podlaží. Naše

nejvyšší budova ČR, AZ Tower, by podle tohoto rozdělení spadala pouze do třetí třídy vícepodlažních budov. Toto rozdělení nelze brát za definitivní, slouží pouze k orientačnímu přehledu.

Tabulka 1 - Dělení výškových budov
[Vytvořeno autorkou]

TŘÍDA	POČET PODLAŽÍ	VÝŠKA [m]
Vícepodlažní - I. skupina	9 až 16	do 50
Vícepodlažní - II. skupina	17 až 25	51 až 75
Vícepodlažní - III. skupina	26 až 40	76 až 120
Výškové (mrakodrapy)	41 až 60	121 až 200
Velmi vysoké (mrakodrapy)	nad 60	nad 200
Supertalls	cca nad 80	nad 300
Megatalls	cca nad 120	nad 600

1.2 Vývoj mrakodrapů

Vývoj mrakodrapů souvisí především s technikou a rozvojem velkoměst. Moderní mrakodrapy jsou výsledkem vědeckého a technického pokroku a koncentrace obchodu a podnikání v centrech velkoměst. Důležitým faktorem, který architektům dovoľoval navrhovat stále vyšší budovy, byly důležité technické novinky, které byly vynalezeny ve druhé polovině 19. století.

První technická novinka se týkala skeletu a pláště stavby. Konstruktivním systémem byla rámová nosná konstrukce z ocelových pilířů a nosníků. Přes tuto konstrukci byla namontována stěna z desek a ze skla. Vznikla tak velmi odolná konstrukce, která dovoľovala stavět do mnohem větších výšek, než tomu bylo u tradičních staveb z kamene, cihel a dřeva. Druhou novinkou byl vynález výtahu. Výtah odstranil nutnost stoupat po schodech a výška budovy tak začala být v tomto ohledu bezvýznamná. Posledním významným pokrokem, jenž se podílel na vývoji mrakodrapů, bylo technické zlepšení v oblasti ventilace, klimatizace a osvětlovacích soustav. Toto zlepšení umožnilo vytvářet a regulovat mikroklima bez ohledu na venkovní povětrnostní podmínky. Při projektování už tedy nebylo zapotřebí zajišťovat denní světlo a větrání.

V průběhu druhé poloviny 20. století dále došlo ke změně ve výstavbě betonových konstrukcí. Pokrok se objevil v oblasti bednění, míchání betonu, techniky pro pumpování a různé druhy přísad zlepšily výslednou kvalitu materiálu,

zároveň přispěly i k jeho snazší zpracovatelnosti a jeho použití na výškových budovách.

1.3 Faktory omezující stavění do výšky

Otázkou je, do jaké výšky jsme schopni ještě stavět. Co se týče technologií a materiálů, teoreticky by neměl být problém zrealizovat budovy mnohem vyšší, než v současnosti jsou. Ocel je dostatečně silná na to, aby podpořila struktury i deset kilometrů vysoké a kompozitní materiály by mohly dokonce podporovat konstrukce daleko vyšší. Zcela jistě se do budoucna budou materiály i technologie vyvíjet a zdokonalovat. Materiály ani technologie proto nejsou omezujícím činitelem, kvůli kterému se nestaví do větších výšek. Za nejdůležitější faktory, jež stavění do výšky omezují, lze zcela jistě považovat vítr, výtahy, legislativu, rozpočet a zařízení TZB.

- **Vítr**

Hlavní zatížení v případě výškových budov vytváří vítr a to ze všech stran budovy. S rostoucí výškou roste také rychlost větru. Čím vyšší budovu tedy chceme postavit, tím složitější její návrh je.

- **Výtahy**

S přibývajícím výškou budovy, tedy i s rostoucím počtem uživatelů, je zapotřebí větší počet výtahů. Výtahy jsou nejdůležitější součástí vysokých budov. Bez nich by takové budovy nemohly existovat. Tato doprava je ale také velmi energeticky náročná. Představuje přibližně 5-10% z celkové spotřeby energie na provoz budovy. Spotřeba energie se odvíjí od typu použitých výtahů a dalších elektrických zařízení, která se v budově nachází. Výtahové šachty rovněž snižují ziskovost budovy tím, že zabírají podlahovou plochu. Vertikální doprava mrakodrapů by měla být rozdělena do sekcí, a to podle toho, zda výtah jede až do nejvyššího patra nebo je potřeba během cesty přestoupit do jiného výtahu. V dnešní době se pro přepravu používají vysokorychlostní elektrické výtahy. Limitujícím faktorem pro rychlost výtahu je komfort člověka. Výtahy také mají vysokou kapacitu a to až 1950 kg nebo 26 osob. Jeden z nejpomalejších výtahů, v kategorii nejvyšších budov světa, má překvapivě nejvyšší budova na světě, Burj Khalifa, která nabízí výtahy s maximální rychlostí 10 m/s. Naopak aktuálně nejrychlejšími výtahy na světě se pyšní budova CTF Finance Centre v čínském městě Guangzhou. Jeho výtahy dosahují rychlosti neuvěřitelných 20 m/s. Jeden z dalších

limitů, omezující růst mrakodrapů, je jejich praktická výška. Výška, do které jsou v současnosti výtahy schopné maximálně vystoupat, je 500 metrů. V případě Burj Khalify, s jeho 828 metry, je možné vyjet výtahem do výšky pouhých 504 metrů a následně přestoupit na výtah jiný. Jedná se o výtah s největším převýšením na světě. Do budoucna se ale plánuje využití nového lehkého uhlíkového lana, které bude schopné vyvézt výtah i do dvojnásobné výšky.

- **Legislativa**

V rámci České republiky je nutné se také zabývat legislativou. Stejně, jako je tomu u jiných typů budov, i u výškových budov je nutné řešit současně platnou legislativu. Umístění budovy nesmí být nahodilé, ale musí mít nějaký smysl. Je důležitá především urbanistická koncepce, a aby budova esteticky zapadla do okolního území. Zákony a vyhlášky nám omezují místo, kde se výšková budova může nacházet a mimo jiné také její výšku.

- **Rozpočet**

Významným faktorem, omezujícím stavění vysokých budov, je finanční náročnost. Existuje značné množství nákladů, které se v rozpočtu realizované výškové budovy objeví. Ať už jde například o náklady na dodávky práce a stavební náklady nebo o úrokové sazby a mnoho dalšího. Z důvodu ekonomické krize byla většina projektů mrakodrapů úplně zrušena. Jedinou výjimkou je Čína, která projekty těchto typů budov finančně podporuje. Architekt Jaroslav Dokoupil zveřejnil závěry v oblasti srovnání efektivity výškových budov a přišel s tím, že ideální výška budovy je 90 metrů. U takto vysoké budovy totiž ještě nedochází k nevýhodnému poměru užitečných a servisních ploch. [43]

- **TZB**

Systémy TZB jsou u výškových budov technicky nesmírně náročné. Navrhují se u nich speciální technická a strojní zařízení. Jsou to například velíny, akumulátorovny, dieselagregáty, systémy na odstraňování odpadů, strojovny pro centrální odsávání prachu a další. Systémy by také měly vést k energetické optimalizaci budov. Myslí se tím především optimalizace větrání a chlazení, neboť právě tepelné zisky představují u vysokých budov spotřebu převážné části energií. Tyto tepelné zisky jsou způsobeny jednak obrovskou plochou fasády, která bývá většinou celá prosklená, a také vysokou koncentrací lidí a techniky uvnitř budovy.

Důležitou úlohou je správný návrh vodovodu a vnitřní kanalizace. U výškových budov je v tomto směru zejména problém výtlak vody a splachování odpadové vody. Proto jsou tyto budovy rozděleny na jednotlivé části po asi 40 až 50 podlažích, kdy každá část má vlastní kanalizaci, klimatizaci a vlastní hydrauliku. Ve vyšších částech budov se v oddělených tlakových pásmech používají tlakové stanice a ve vodovodech vyšších budov se zvyšuje role úsporných čerpadel. Vodorovné rozvody systémů TZB mohou vést buď pod stropní konstrukcí, nad stropní konstrukcí nebo přímo ve stropní konstrukci. Oproti tomu svislé rozvody se instalují v šachtách nebo v jádrech budov.

1.4 Výškové budovy ČR

Nejvíce výškových budov v České republice je soustředěno v našich největších městech, a to v Praze a v Brně. Výška budovy se měří podle stavební výšky, což je výška od úrovně terénu v místě hlavního vstupu až po vrchol, včetně věží nebo jiných architektonických detailů. Kotvené stožáry, komíny, těžební nebo zdvihací konstrukce nejsou uvažovány.

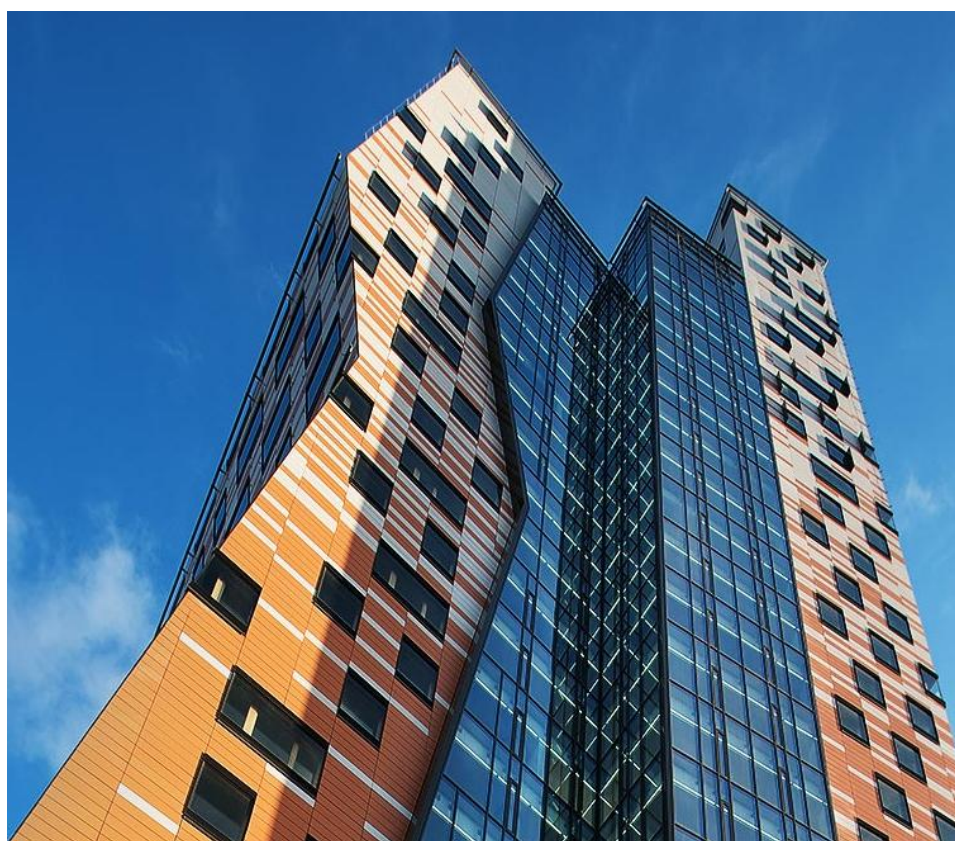
Zásadní otázkou je, do jaké míry je výstavba výškových budov v České republice vhodná. Konstrukce budovy, a to hlavně její výška, by měla být navržena s ohledem na krajinný ráz a okolní zástavbu. Tyto parametry jsou dány na území ČR územním plánem. V historickém centru Prahy by se proto tak vysoké budovy nesetkaly zrovna s kladnými reakcemi. Jejich výstavba by se nelíbila hlavně historikům a obyvatelům města. Mezi nejvyšší výškové budovy ČR patří brněnská AZ Tower, dále pražská City Tower a City Empiria. K nejvyšším budovám bude také patřit právě rozestavěný V Tower, Prague, který se stane nejvyšším bytovým domem na našem území.

1.4.1 AZ Tower

Nejvyšší budova České republiky je od roku 2013 brněnská AZ Tower se 111 metry a 30 nadzemními podlažními. Tato věž je navržena jako obchodně-administrativní centrum. Budova také nabízí podzemní dvoupodlažní garážová stání pro 272 aut a pět rychlovýtahů spojujících všech 32 pater, pohybující se rychlostí 4m/s, přičemž jeden z těchto výtahů je navržen jako evakuační. Ve dvou podlažích suterénu se nachází garáže a technická zázemí. V přízemí a v prvních třech patrech pak komerční prostory. V převážné části věže se nachází pronajímatelné kancelářské

plochy a v nejvyšších šesti patrech komfortní apartmány. Budova získala pozornost v mezinárodním měřítku v podobě 9. místa prestižního hodnocení Emporis Award 2013. Autoři AZ Toweru jsou architekti Aleš Burian a Gustav Křivinka.

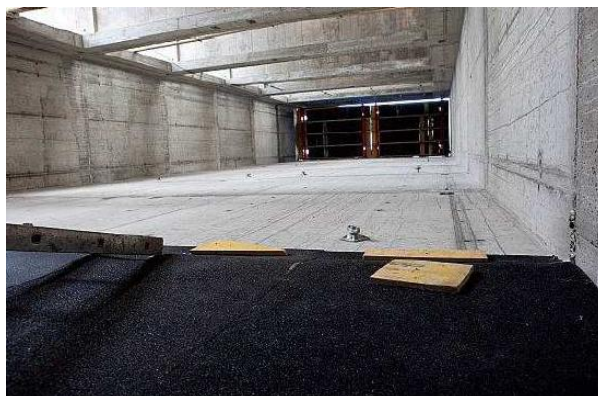
Z hlediska konstrukčního řešení se jedná o monolitický železobetonový skelet v kombinaci se ztužujícími stěnovými prvky jednak po obvodě, tak i uvnitř budovy v podobě jádra. Ztužující jádro AZ Toweru je využíváno pro vertikální dopravu. Podzemní část věže je navržena jako bílá vana, po obvodu tvořená systémem milánských stěn tloušťky 600mm. Objekt je založen na základové desce tloušťky 750mm a na 118 železobetonových pilotách. Stropní konstrukce jsou navrženy jako monolitické křížem vyztužené desky. V případě, že do budovy uhoří blesk, je po celém obvodovém plášti a uvnitř nosných stěn a sloupů vedena jímací soustava, která je svedena do země. Věž se skládá ze tří částí, které jsou patrné na obrázku 1. Jedná se o dva kvádry, mezi nimiž se nachází tubus s komunikačním proskleným jádrem. Východní část budovy se dvakrát zalamuje a odklání od své osy. Zalomení vytváří i charakteristický znak stavby, ze kterého vychází i samotný název budovy, symboliku písmen A a Z.



Obr. 1 - AZ Tower [28]

Povrch kvádrů pokrývá provětrávaný obklad Faveton vyráběný ze speciálního typu porcelánové kameniny vylehčený dutými otvory. Jeho skladba s narůstající výškou plynule přechází z oranžové barvy do bílé. Pod nimi se nachází větraná mezera, následuje speciální fasádní fólie Stamisol FA a dále vrstva minerální izolace. Fólie Stamisol FA zajišťuje vysokou účinnost tepelné izolace, je velmi pevná a neomezeně odolná povětrnostním vlivům a UV záření. Tento typ opláštění klade minimální nároky na údržbu. Okna jsou na fasádě nepravidelně rozmístěna a mají různé velikosti. Otvory využívají zvláštní kombinace vnějšího pevného zasklení s mřížkou a vnitřního dřevěného otevíracího okna. Nehrozí tak problémy vyplývající z rychlosti větru ve vyšších podlažích. Okna přináší možnost přirozeného a nuceného větrání a zároveň nabízí v interiéru příjemný materiál.

Hlavní devizou věže se stalo komplexní energeticky úsporné řešení. Mrakodrap byl už od počátku navrhován jako nízkonákladová budova. Využívá především hlubokých třicetimetrových energetických pilot, které umožňují z podzemí jímat teplo a chlad pro regulaci vnitřního prostředí. V Česku jsou tyto piloty zcela jedinečné. Další zajímavostí je jižní fasáda výtahové šachty, která je pokryta fotovoltaickými panely snižujícími spotřebu elektrické energie. K ekologicky šetrnému řešení budovy patří i nezvyklé členění pláště, u něhož převládají plné plochy nad prosklenými. Dále se využívá 5 rychlovýtahů, které umí přeměnit kinetickou energii jedoucí kabiny směrem dolů pomocí regenerativní jednotky na elektrickou energii. Díky tomu dokáže pohon výtahů ušetřit až 25% energie. Při výstavbě AZ Toweru byly také použity antivibrační a tlumící rohože CONIRAP (Obr. 2), které zvyšují odolnost stavebních konstrukcí vůči dynamickému namáhání a otřesovým účinkům vzniklých např. pojezdem výtahových kabin. Neposlední zajímavostí stavby je, že bazén navržený v mezonetovém hotelovém apartmánu v 28. a 29. nadzemním podlaží slouží zároveň jako požární nádrž. Tím padá na nájemníka tohoto bytu věčné břemeno, neboť bazén musí být neustále napuštěný.



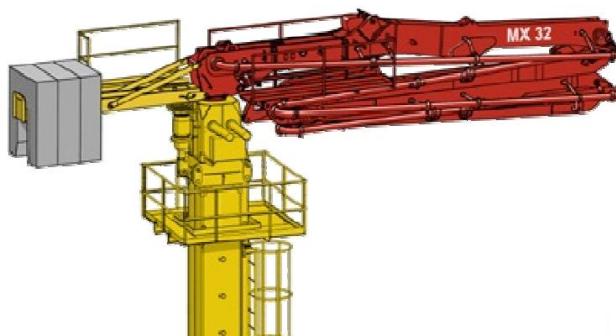
Obr. 2 - Obložení výtahové šachty AZ Toweru rohoží CONIRAP [29]

Budova je zajímavá nejen z architektonického hlediska, ale také z hlediska technologického. Tak, jako je tomu u ostatních výškových budov, i u AZ Toweru byla velmi obtížná sekundární doprava čerstvého betonu do vyšších pater. Pro transport betonu do horních pater byla použita stacionární čerpadla KCP T 40 s nižším výkonem pro 1. až 20. nadzemní podlaží a KCP T 100 s vyšším výkonem pro betonáž od 21. do 30. patra (Obr. 3).



Obr. 3 - Čerpadla betonových směsí KCP T 40 a KCP T 100 [29]

Následně byla použita stacionární betonovací věž od společnosti Putzmeister, která byla umístěna v prostorách šachty a zdola byla připojena na potrubí, které dopravovalo beton z čerpadla. Do vyšších pater se věž pohybovala pomocí samošplhacího hydraulického zařízení.



Obr. 4 - Stacionární betonovací věž [29]

Pro dopravu materiálů a velkého množství technologického vybavení objektu byl zkonstruován stožár, na němž jezdily dvě kabiny osobonákladních výtahů. Oba výtahy měly nástupní místo v 0. nadzemním podlaží a každá kabina obsluhovala polovinu výšky dokončené části budovy. Pro výstavbu byly rovněž použity čtyři věžové jeřáby, z nichž jeden byl šplhavý.

Také realizace obvodových železobetonových stěn s dvojitým zalomením na východní straně budovy nebyla snadná. Bylo využito speciálního samošplhacího bednění a na sloupy odkloněných od svislé osy jednorázové papírové bednění, které bylo seříznuto na daný úhel. Bednění východní strany fasády se vzhledem k zalomení muselo upravit, a to změnou délky šikmého vyrovnávacího vřetene. V místech, kde se stýká šikmá a rovná stěna, bylo použito přesahující bednění na zalomené stěně a kratší bednění na stěně svislé.

1.4.2 City Tower

Naše v současnosti druhá nejvyšší budova, City Tower, leží v hlavním městě Praha na Pankráci. Budova má 27 nadzemních podlaží, 3 podzemní podlaží s více než osmi sty parkovacími místy a výšku 109 metrů. Původně se jednalo o budovu Českého rozhlasu a její výstavba zabrala neuvěřitelných 25 let. Zahájení stavby bylo v roce 1976, předpokládané dokončení stavby mělo být v roce 1986. Rozhlasové středisko dostalo podobu neobyčejně technologicky i prostorově složitěho uskupení. Výstavba měla být realizována ve třech etapách, z nichž se však dokončily necelé dvě. Výstavba první etapy byla započata v roce 1976, následovala druhá etapa v roce 1983. V objektu věže byly soustředěny technické, vysílací a administrativní provozy. Na počátku devadesátých let se však ukázalo, že věž byla už před dokončením technologicky zastaralá, objemově předimenzovaná, plná azbestu a nevyhovovala provozu rozhlasu. Práce tedy byly zastaveny a až do roku 2000 probíhaly snahy o prodej této nedokončené budovy. V roce 2000 zakoupila nedokončenou budovu Českého rozhlasu společnost ECM Investment a oslovila kancelář proslulého amerického architekta Richarda Meiera, který následně vypracoval projekt přestavby. Za pomoci zkušeného českého partnera - Ateliér Aulický, došlo v roce 2007 k rozsáhlé přestavbě na nynější City Tower. Původní budova Českého rozhlasu byla zbourána až na holý skelet, půdorysně rozšířena o jeden modul a nahoře zvýšena.

Průčelí je navrženo jako skleněný plášť, který na východě navíc doplňuje rastr krátkých bílých lamel a na západě rafinované prolamování. V budově můžeme nalézt převážně rozsáhlé kancelářské prostory. V nejvyšším podlaží se pak nachází konferenční centrum a luxusní restaurace. City Tower nabízí 18 výtahů a 820 parkovacích stání. Budova sestává ze železobetonového jádra propojeného do jediného dilatačního celku a ocelového skeletu s monolitickými stropy. Byla založena plošně na třípodlažní monolitické železobetonové základové skříni se základovou spárou zhruba 16 m pod terénem. Základová skříň půdorysu přibližně 80 x 22 metrů byla navržena bez dilatace. Základová skříň tvoří systém monolitických železobetonových desek a masivních stěn. Plášť budovy je řešen jako soustava prefabrikovaných a kompletizovaných zavěšených panelů o rozměru 3x3,75 metru. Následující obrázek zachycuje původní podobu Českého rozhlasu a budovu City Toweru dnes. Obrázky 6 a 7 přibližují vstupní lobby City Toweru a hlavní vstup do objektu.



Obr. 5 - Původní Český rozhlas a City Tower dnes [9]



Obr. 6 - Vstupní lobby [Archiv studentky]



Obr. 7 - Hlavní vstup do objektu [Archiv studentky]

1.4.3 City Empiria

City Empiria, původní budova Motokovu, je třetí nejvyšší budova Česka. Nachází se v Praze na Pankráci, je 104 metrů vysoká a čítá 27 nadzemních podlaží. V současnosti je užívána především pro administrativní účely. Stavba tohoto objektu byla dokončena v roce 1977, a to jako sídlo firmy PZO Motokov. Následně byla v roce 2001 odkoupena společností ECM Real Estate Investments, která začala s rekonstrukcí trvající až do roku 2005. Budova přitom dostala nový název "City Empiria".

Nosná konstrukce budovy je tvořena ocelovým skeletem se ztužujícím komunikačním železobetonovým jádrem a se zavěšenou modulovou fasádou z hliníku. Ve dvou suterénech se nachází parkovací stání pro 300 vozů. Vertikální dopravu zajišťuje celkem dvacet výtahů, z toho osm vysokorychlostních, a jeden lůžkový rychlovýtah. City Empiria má kompletně prosklenou fasádu. Budova má nevšední tvar půdorysu věže ve tvaru nepravidelného šestiúhelníku. Na obrázku 8 je vidět současná podoba budovy. Obrázek následující znázorňuje vstupní část objektu s recepcí a turnikety.



Obr. 8 - City Empiria [Archiv studentky]



Obr. 9 - Vstupní lobby [Archiv studentky]

1.4.4 V Tower, Prague

Právě budovaný bytový dům V Tower, Prague na Pankráci se se svou výškou 104 metrů a 30 nadzemními podlažními řadí mezi nejvyšší budovy našeho území. Po dokončení stavby bude budova nejvyšším čistě bytovým domem České republiky. Výstavba započala v červnu 2015 a má být dokončena na podzim roku 2017. Hrubá stavba byla hotova na konci roku 2016. Autorem stavby je český architekt Radan Hubička. Investorem projektu, který by měl celkově vyjít na tři miliardy korun, je lucemburská skupina Aceur Investment. V Tower bude představovat hlavní dominantu Prahy 4. Projekt vyrůstá v blízkosti budov City Empiria a City Tower. V návaznosti na to, že je budova momentálně realizována, jsme se s mým vedoucím práce dohodli, že bych se na stavbu mohla podívat, dozvědět se zajímavosti o budově a zjistit, jaké případné problémy se při realizaci vyskytly. Návštěva V Toweru však byla nakonec zamítnuta, jelikož by nebylo možné použít získané informace do této práce a zveřejňovat tak dosud neuvedené autorské údaje. V Tower, Prague získal řadu velmi prestižních ocenění a to dokonce i v mezinárodním měřítku. Mezi největší úspěch shledávám postup do celosvětového finále soutěže International

Property Awards mezi 8 nejlepších budov světa, a to v kategorii „Residential high-rise architecture“.

Konstrukce věže je navržena ze železobetonu. Stavba průměrného podlaží trvala stavebníkům 8 dní, náročnější podlaží až dvojnásobnou dobu. Základy dosahují hloubky 16 metrů. V Tower se bude pyšnit velice úspornými a efektivními technologiemi. Jsou to především inteligentní řízení spotřeby energie a šetrné chlazení a vytápění. Na rozdíl od jiných budov může V Tower ušetřit až 40% energie. K úspoře dojde díky topným a chladícím stropům pracujícím na principu sálání. Velkou výhodou je, že se jedná o technologii velmi tichou, nezpůsobující průvan, a nejsou na ni kladeny žádné požadavky na údržbu. Uživatelé budovy tedy nebudou nijak omezovat. Tepelná čerpadla, jakožto zdroje nízkopotenciálního tepla a chladu, společně s topnými a chladícími stropy radikálně sníží energetické výdaje budovy. Budova bude mít zároveň velmi dobrou akustiku.

Tato luxusní výšková budova bude mít 130 bytů, které vyrostou od 5. patra výš a nabídnou tak maximální úroveň komfortu a kvality bydlení. Podlahová plocha bytů se bude pohybovat mezi 50 až 400 metry čtverečními. Jednotlivá patra jsou navržena tak, aby u každého výtahu byly pouze dva byty. Každý byt je zároveň realizován přes celou šířku V Toweru, aby poskytoval maximum denního světla. Tři podzemní podlaží poskytují uživatelům V Tower 254 parkovacích stání. Další čtyři nadzemní podlaží slouží čistě pro služby majitele bytů, jako například wellness, fitness nebo bazén. Páté až dvacáté první nadzemní podlaží bude disponovat menšími byty, kdy v každém patře bude maximálně sedm bytů. Od dvacátého druhého patra jsou již věže budovy rozděleny na dvě samostatné věže a v drtivé většině budou mít vlastníci bytů jen jednoho souseda. V nejvyšším patře obou věží budou celkem tři rozlehlé luxusní byty, zvané penthousy, s vlastními střešními bazény. Na obrázku 10 je vidět vizualizace interiéru jednoho z bytů.



Obr. 10 - Vzhled bytu V Toweru [13]

Vzhled stavby je velice ojedinělý. Jedná se o dvě věže vzájemně se oddalující a současně přibližující. Zároveň jsou obě věže do dvou třetin výšky spojené krčkem. Od této výškové hladiny věže pokračují samostatně, přičemž každá má svou samostatnou vertikální osu, kompozici a identitu. Rozdělením hmoty se vyhýbá hlubokým dispozicím a zajišťuje dostatek denního světla. Na obrázku 11 je patrné rozdělení dvou věží.



Obr. 11 - Rozdělení věží V Toweru, Prague [13]

2 OBECNÉ ZÁSADY PRO NAVRHOVÁNÍ MRAKODRAPŮ

V této kapitole jsou přiblíženy způsoby zakládání výškových budov a jsou zde vymezeny a popsány jednotlivé konstrukční systémy. Takto vysokým budovám, jako jsou mrakodrapy, hrozí 4 základní nebezpečí. Jsou to zemětřesení, požár, kolaps konstrukce a jako poslední výbuchy. Těmto aspektům je třeba při návrhu budovy přikládat velký význam. V opačném případě by mohly být následky katastrofální. Požadavky na návrh konstrukce vycházejí z přírodních podmínek, ve kterých se realizovaná stavba nachází, a ze způsobu užívání objektu. Konstrukce musí odolávat gravitaci, povětrnostním podmínkám, extrémním teplotám a vibracím. Dále musí být navržena tak, aby unesla vnitřní vybavení a sníh, chránila proti explozím a absorbovala hluk.

2.1 Zakládání

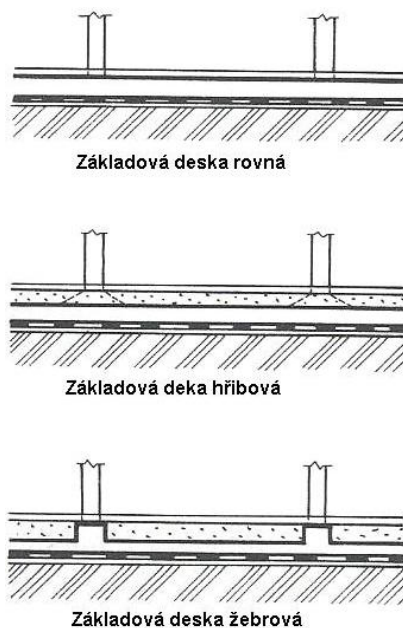
U výškových budov je velmi důležité správné založení stavby. Vzhledem k jejich výšce tak vzniká obrovské zatížení na velmi malou plochu, tudíž je dobré založení stavby naprostou nutností. Zakládání mrakodrapů je zcela jistě závislé na jakosti základové půdy a na hloubce a množství spodní vody. Je velmi důležité, aby byl objekt založen v nezámrazné hloubce. Nezámrazná hloubka je taková hloubka pod povrchem, kde již půda nepromrzne. Další důležitou činností při zakládání staveb je pečlivý geotechnický průzkum. Budovy jsou obecně založeny na plošných základech, hlubinných základech nebo je použita jejich kombinace. Výškové budovy nejčastěji využívají hlubinné základy piloty společně s plošnou základovou deskou. Se vzrůstající výškou budov se také zvětšují podíly zatížení, jež musí piloty přenést, proto se zvyšují i jejich počty. Cílem zakládání mrakodrapů je minimalizovat nerovnoměrné složky sedání.

2.1.1 Plošné zakládání

Plošné základy se podle tvaru dělí na pasy, patky, desku a rošt. Dle materiálu rozlišujeme základy z lomeného kamene, prostého betonu nebo ze železobetonu. U výškových budov se zpravidla používají základové desky.

Základová deska je tuhá konstrukce provedená po celém půdoryse budovy, která je namáhaná reakcí základové zeminy. Podle tvaru rozlišujeme desky základové rovné, desky základové žebrové a desky s hřibovými hlavicemi. U rovných desek je nevýhodou velká spotřeba betonu a oceli. Jsou vhodné hlavně

u staveb se stěnovými systémy. Desky žebrové se používají při větším zatížení a při osovém rozpětí stěn a sloupů větší než 4 metry. Tento typ základové desky má velkou únosnost díky vyztužení žebry, které lépe odolává deformacím. Žebra mohou být nad deskou nebo pod ní. Deska s hřibovými hlavicemi je v místě sloupů zesílena hřibovými hlavicemi a představuje tak kombinaci základové desky a základových patek (viz Obr. 12).



Obr. 12 - Základové desky dle tvaru [36]

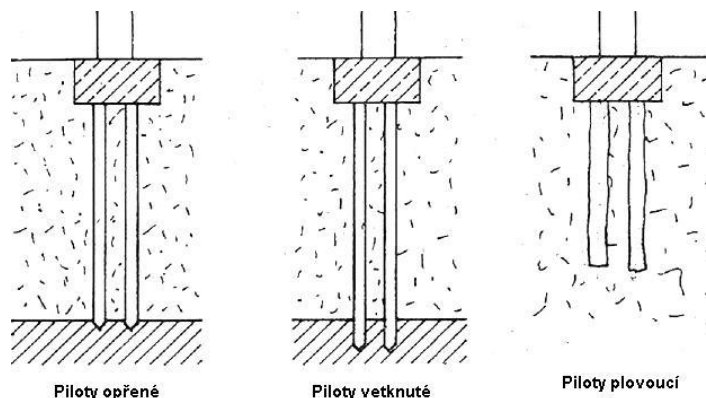
2.1.2 Hlubinné zakládání

Hlubinné zakládání je výhodné v případě, kdy se únosná zemina nachází ve velkých hloubkách a použití plošných základů by nebylo možné. Hlubinné základy rozlišujeme na piloty, studně, kesony, podzemní stěny a speciální technologie. Mezi speciální technologie se řadí mikropiloty, trysková injektáž a základové skříně. Výškové budovy se převážně navrhují na pilotách.

Piloty jsou hlubinné tyčové prvky nejčastěji kruhového průřezu. Jejich rozměr průřezu se pohybuje nejčastěji v rozmezí 120 až 1500 mm, ale mohou být i větší. Materiál se používá železobeton, ocel či dřevo, výjimečně také předpjatý beton nebo šterkopísek. Výhodou použití pilot je, že se nemusí odstraňovat zemina po celém půdoryse budovy.

Základní dělení pilot vychází ze způsobu přenosu zatížení a je znázorněno na obrázku 13. Jsou to piloty plovoucí, opřené a vetknuté. U pilot opřených a vetknutých je podstatou přenesení zatížení celou stavbou do sloupů až do únosné

zeminy. V případě, kdy není možné zrealizovat sloup, který by byl opřen o základovou půdu, se zřizují plovoucí piloty, jež zatížení od budovy předávají pomocí tření mezi pláštěm piloty a okolní zemínou.

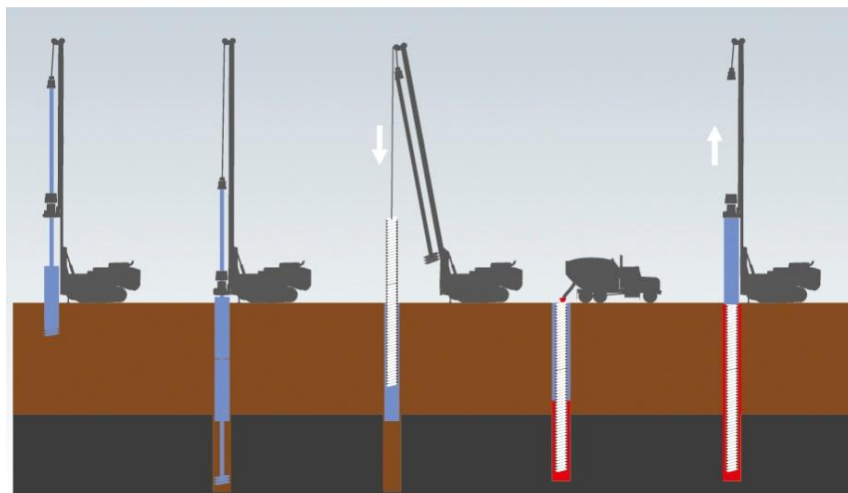


Obr. 13 - Dělení pilot dle způsobu přenosu zatížení [36]

Další dělení pilot je dle statického působení, a to na piloty osamělé a piloty skupinové. Osamělé piloty je skupina pilot, jež se vzájemně svým chováním nijak neovlivňují. Piloty skupinové se vzájemně podílejí na přenosu zatížení. Dle příčného rozměru rozlišujeme mikropiloty, maloprůměrové piloty, piloty a velkopřůměrové piloty. Podle způsobu namáhání jsou piloty tlačené, tažené nebo jsou piloty namáhané ohybem. V neposlední řadě se piloty dělí podle tvaru na kruhové, kruhové proměnného průřezu, čtvercové a čtvercové proměnného průřezu.

Poslední dělení pilot vychází ze způsobu výrobního postupu. Pro první skupinu pilot je nutné odstranit zeminu z prostoru, kterou bude pilota zaujímat, říká se jim také replacement piles. V průběhu zhotovení druhé skupiny pilot, nazývaných displacement piles, se zemina roztlačí do okolí budoucí piloty. Hlavním a typickým zástupcem replacement piles jsou piloty vrtané. Vrtané piloty se zhotovují až na místě do předem vyhloubeného vrtu. Vrták je umístěn na tyči speciální konstrukce, která umožňuje dosahovat hloubky 32 metrů. Vrtané piloty se zhotovují v profilech 400 až 1500 mm.

První způsob provádění vrtaných pilot je pomocí pažení ocelovou pažnicí. Jak je z následujícího obrázku 14 vidět, vrtání piloty probíhá v pěti krocích. V prvním kroku se do vrtu vloží pažnice, poté se dovrťá nezapažená část vrtu pod pažnicí až do úrovně únosné zeminy. Dále probíhá vkládání armokoše (viz Obr. 15) s následnou betonáží piloty. Nakonec se pažení odstraní.



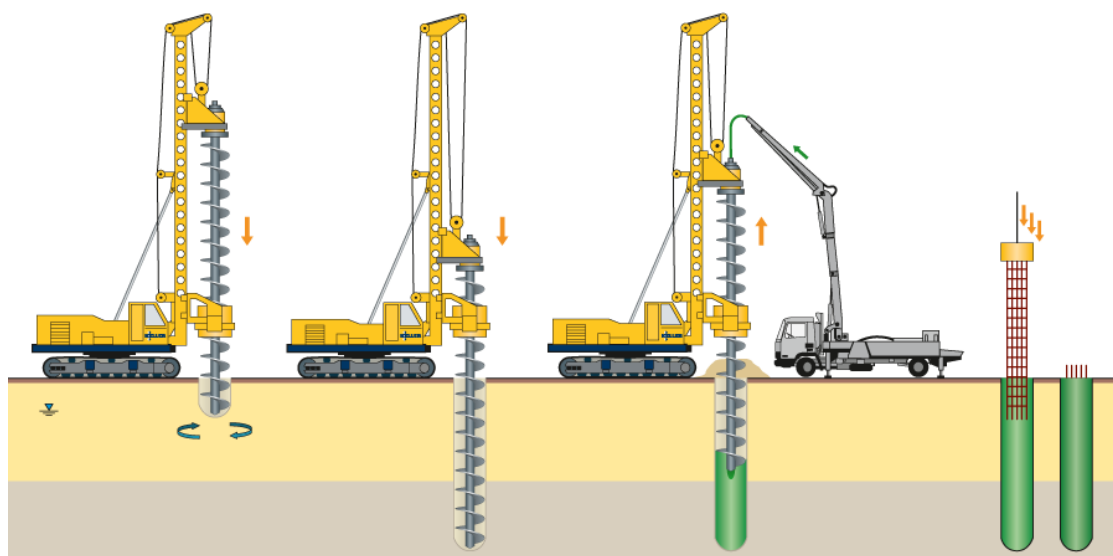
Obr. 14 - Schéma provádění vrтанých pilot pažených ocelovou pažnicí [37]



Obr. 15 - Vkládání armokoše do zapaženého vrtu [24]

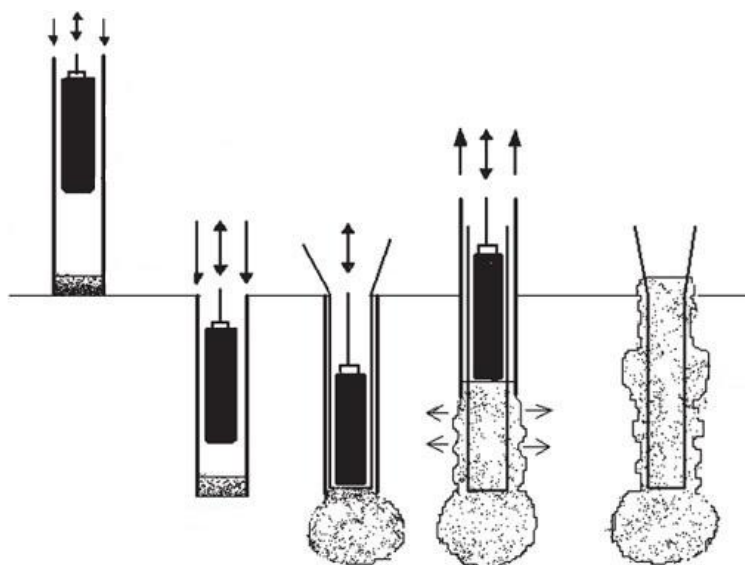
Další druh vrтанých pilot jsou vrтанé piloty CFA. Konstrukce stroje je složena z tzv. průběžného spirálového vrtáku (známé také pod názvem průběžný šnek), neboli Continuous Flight Auger, který umožňuje betonáž piloty bez pažení stěn vrtu. Výhodou této metody je její rychlost, jelikož není nutné vytahování vrтанého nástroje po každém návrtu, dále vysoká produktivita a zvýšená únosnost vlivem betonáže pod tlakem. Nevýhodou je, že se takto realizované piloty dají použít pouze do zemin převážně nesoudržných, nikoliv do kompaktních hornin. Postup provádění pilot CFA je zřejmý z obr. 16. V první fázi dochází k vrtání vrtu až do

úrovně únosné zeminy. Následuje betonáž piloty za současného vytahování vrtáku. Využívá se čerpadla, které je hadicí přímo spojeno s hlavou vrtaného nástroje. Do čerstvého betonu se dále vloží armokoš a pilota je hotová. Armokoš je do betonu opatrně vtlačován, aby nedošlo k roztržení vysoce plastického a dobře zpracovatelného betonu.



Obr. 16 - Schéma provádění vrtaných pilot metodou CFA [38]

Mezi další typy vrtaných pilot řadíme ražené štěrkopískové pilíře Franki. Při této metodě je pažnice přes štěrkopískovou zátku pomocí beranu zarážena do podloží. Zemina je tak roztláčována do stran a vytěžený materiál se dále nemusí likvidovat. Po ukončení ražení se vyrazí zátka a provede se rozšířená pata. Následuje osazení armokoše a pilota se postupně formuje pomocí hutnění beranem. Výplně pilot se provádí buď ze zavhlého betonu či štěrkopísku. Díky štěrkopískové výplni pilířů se zlepšují mechanické vlastnosti základové půdy a urychlují konsolidaci. Jsou používány zejména pro geologická prostředí málo únosných naplavenin, sprašových i jílových hlín, objemově nestálých zemin, neulehlých násypů a velký význam má při zakládání na poddolovaném území, v místech zvýšené seimicity a vysoké agresivity podzemní vody. Oproti ostatním vrtaným pilotám je tato technologie výrazně náročnější z hlediska provádění pilotáže i z hlediska časového. Je tím však dosaženo mnohem vyšší kvality zpracování betonu. Schéma postupu vyhotovení piloty Franki je vidět na následujícím obrázku 17.



Obr. 17 - Postup pilotáže piloty Franki [39]

2.2 Konstrukční systémy

Pod pojmem konstrukční systém rozumíme celek složený z jednotlivých vzájemně propojených konstrukčních prvků a subsystémů, které spolupůsobí při přenosu zatížení. Je složený z nosné konstrukce, která veškerá zatížení přenáší do základové půdy. Dále je složený z nenosné konstrukce, která přenáší pouze vlastní tíhu a má primárně funkci dělicí. Další části konstrukčního systému jsou technická zařízení budov a technologická a funkční vybavení budovy.

Díky spolupůsobení prvků systému se zajistí jednak prostorová tuhost, tak stabilita budovy. Prostorová tuhost je zajištěna spojením svislých prvků v prostorový celek pomocí vodorovných prvků. Tyto prvky tak tvoří tzv. stabilizační podsystém. Tuhost systému nám udává, jak moc musíme konstrukci zatížit, aby se zdeformovala. Stabilitou systému rozumíme schopnost stavebního objektu vzdorovat vnějším účinkům zatížení, aby nedošlo k deformaci, poklesu nebo i totálnímu kolapsu. Spojením konstrukčních prvků ve stycích konstrukčních systémů dochází při působení vnějších vlivů ke vzájemnému spolupůsobení.

2.2.1 Zatížení

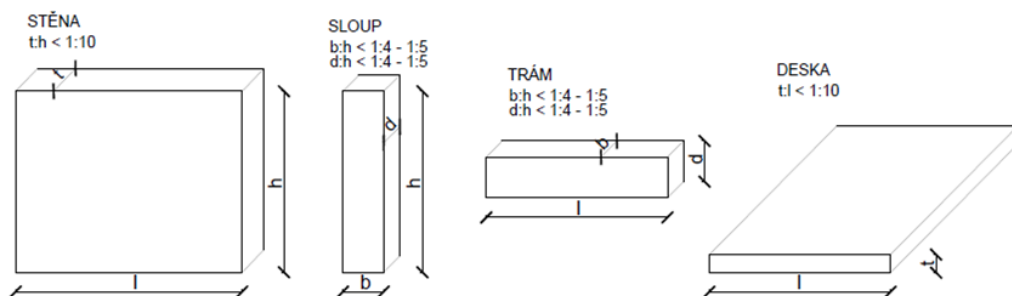
S přibývajícím výškou budovy roste i působení vodorovného zatížení tím, že vzrůstá význam zatížení větrem. Odolnost vůči příčnému zatížení je tedy u mrakodrapů velice důležitá. Zvětšuje se také svislé zatížení sloupů a dalších svislých nosných prvků systému. Při návrhu budovy tak musí být provedena

podrobná analýza na dynamické účinky zatížení větrem. Pro určení výpočetních modelů se využívá větrný tunel.

Spodní část budovy je z celé budovy namáhána nejvíce, a to svislým i vodorovným zatížením. Je proto nutné použít svislé konstrukce s dostatečně velkou ohybovou tuhostí, aby bylo zabráněno vzniku tahového namáhání. Konstrukce musí být také dostatečně vyztužena, a to v závislosti na počtu podlaží budovy.

2.2.2 Základní prvky nosných systémů

Základními prvky nosných systémů jsou stěna, sloup, trám a deska. Dalšími prvky pak tuhý rám, jádro, příhradová konstrukce, klenba a skořepina. V následujícím obrázku jsou znázorněny základní prvky nosných systémů a jejich orientační rozměry.



Obr. 18 - Základní konstrukční prvky
[Vytvořeno autorkou]

Stěna je plošný prvek, který je namáhán zejména ve střednicové rovině a to tlakem, ohybem, smykem a výjimečně i tahem, eventuálně kroucením. Sloupy a pilíře jsou prvky tyčové. Jejich namáhání je převážně způsobeno tlakem, ohybem, smykem a v ojedinělých případech také kroucením. V některých případech mohou být sloupy namáhány i centrálním tahem. Trám je nosníkový prutový prvek, převážně namáháný ohybem, smykem a případně kroucením. Někdy je namáhán i tlakem a tahem. Velikost namáhání podstatně závisí na způsobu podepření. Plošný prvek zvaný deska je namáhán ohybem a smykem v rovinách kolmých k rovině desky. V případě oboustranného působení desek vznikají v desce kroucí momenty. Deska může být namáhána také tlakem i tahem. Velikost namáhání je především závislé na způsobu podepření desky.

2.2.3 Typy nosných systémů

U vysokých budov, přibližně nad 40 pater, se uplatňují dvoustupňové nosné konstrukce, skládající se z primárního nosného systému podporujícího sekundární

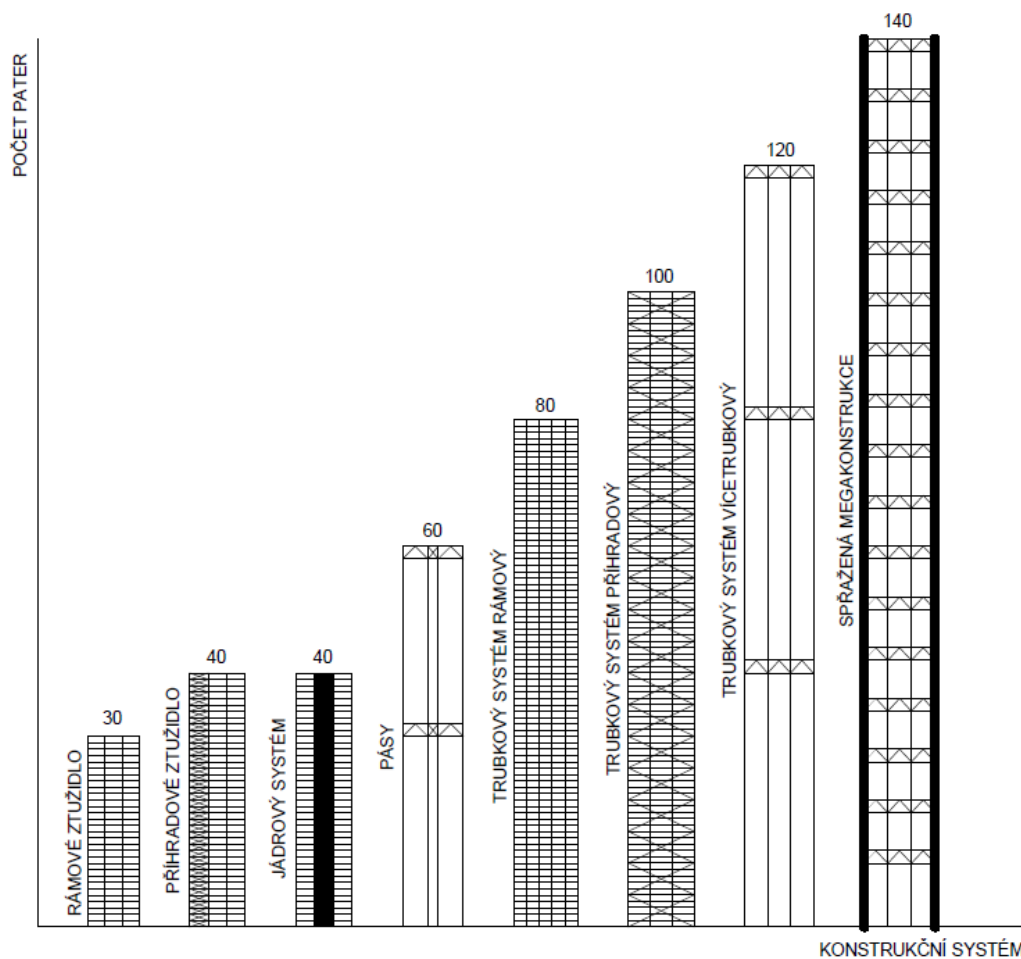
nosný systém. Tento systém musí účinně snižovat vodorovné deformace a předcházet kmitání konstrukce. Nosný systém vícepodlažních budov může být buď stěnový, sloupový, kombinovaný nebo se jedná o superkonstrukci. Budovy nižší jak 40 pater jsou většinou ztuženy uvnitř budovy.

Základním prvkem stěnového konstrukčního systému je stěna. U sloupového systému je základním prvkem sloup a kombinovaný systém představuje kombinaci stěn a sloupů. Vícepodlažní budovy se navrhují převážně jako kombinovaný konstrukční systém se sloupy a zděným nebo betonovým jádrem. Kombinace sloupů a jádra zajistí dostatečnou prostorovou tuhost vysoké budovy.

Superkonstrukce je speciální konstrukce výškových budov, která je buď skeletová, nebo kombinovaná. Používá se u výškových budov nad 50 podlaží a je navrhována s velmi dlouhou životností. Je tvořena primární a sekundární nosnou konstrukcí. Nosná primární konstrukce představuje superrámy, které mohou být i přes několik podlaží objektu. Do prostoru superrámu je pak vložena druhotná konstrukce tvořená subtilnějšími prvky. Tyto prvky lze na superrám uložit nebo zavěsit. S rostoucí výškou a zatížením roste jen konstrukce superrámu, nezmenšuje se vnitřní prostor a sekundární konstrukce je stále stejná. Předností superkonstrukcí je soustředění zatížení do malého počtu svislých podpor, čímž se účinněji využívá plochy pozemků. U superkonstrukcí je však nutno, vedle problémů statických, řešit komplikovaný provoz, který klade vysoké nároky na technické vybavení objektu.

2.2.4 Typy konstrukčních systémů

Při volbě konstrukčního systému je rozhodující půdorysný rozměr a výška budovy, konstrukční výška jednoho podlaží, rozpony vodorovných konstrukcí, materiál konstrukce a technologie výstavby. Jednotlivé konstrukční systémy jsou s ohledem na různý počet podlaží více či méně vhodné. Právě tuto skutečnost si uvědomil inženýr Fazlur Rahman Khan, žijící v letech 1929-1982, který způsobil revoluci v projektování vysokých budov z oceli a betonu a zveřejnil známý diagram rozdělení vhodnosti konstrukčních systémů dle počtu podlaží budovy. Jednotlivé typy konstrukčních systémů jsou v závislosti na počtu pater znázorněny v následujícím obrázku.



Obr. 19 - Konstrukční systémy dle Fazlura Khana
[Vytvořeno autorkou]

- **Rámová ztužidla**

V případě ztužení budovy se 30 podlažími a méně se mohou použít rámová ztužidla. Takovýto systém je tvořen skeletovým rámem. Rám je tvořený dvěma sloupy a průvlakem. Zatížení stropu je přenášeno do sloupů prostřednictvím trámů. Stropy mají funkci vodorovných ztužujících prvků. Na místech, kde jsou průvlaky podepřeny sloupy, přenášejí vysoké hodnoty momentového a smykového zatížení do sloupů. Z toho vyplývá, že trámy i sloupy musí mít velké průřezové rozměry. Nosné rámy mohou být v objektu uspořádány buď v příčném směru (kolmo k průčelí), v podélném směru (rovnoběžně s průčelím) nebo obousměrně.

Příčné rámy se používají u budov, jejichž výška je větší než trojnásobek šířky. U nižších budov postačí podélná okrajová ztužidla. Stropní konstrukce se navrhuje trémové nebo deskové. Příčné rámy jsou výhodné hlavně z hlediska osvětlení, neboť nezastiňují interiér. Naopak nevýhodou příčných rámu je

komplikovaný podélný rozvod instalací pod stropem, které musí procházet pod průvlaky.

Rámy podélné se používají u budov s výškou menší nebo rovnou šířce budovy. Vodorovné účinky sil jsou malé, proto mohou být přenášeny do rámu pouze stropní konstrukcí. Výhodou těchto skeletů je bezproblémové vedení podélných instalačních rozvodů. Nevýhodou je ale zastínění místností podélnými průvlaky.

U velmi vysokých a značně zatížených budov se používají tuhé oboustranné rámy. Stropní konstrukci podporují oboustranné průvlaky po celém obvodu skeletového pole. Stropy se provádějí jako obousměrné armované desky nebo jako trémové, popř. roštové konstrukce.

- **Příhradová ztužidla**

U budov vyšších, přibližně do 40 pater, se používají ztužidla příhradová. Ztužení v tomto případě zajišťují diagonálně orientované prvky po obvodě konstrukce.

- **Jádrové systémy**

Jádrové systémy přenášejí zatížení budovy tuhým jádrem do základové půdy. Do jádra se umísťují veškeré provozy a funkce, jež nevyžadují přítomnost denního světla, větrání a které je vhodné od ostatních částí budovy oddělit. Jedná se hlavně o výtahy a úniková schodiště, která musí být od ostatních částí budovy v případě požáru oddělena. V těchto prostorech jsou dále umísťovány svislé rozvody TZB, sanitární jednotky nebo skladové prostory. Jádro vzniká spojením stěn v uzavřený celek. Tuhým jádrem je přenesena většina vodorovného zatížení, neboť sloupy mají menší tuhost. Použití jádrového systému je ovšem výškově omezeno. S rostoucí výškou není možné zvyšovat tuhost jádra zvětšováním průřezu.

- **Ztužující pásy**

Pro budovy s větším počtem pater je již zapotřebí, aby sloupy spolupůsobily v celé konstrukci, a proto se vkládají vodorovné ztužující pásy na šířku pater.

- **Trubkové systémy**

Pro budovy přesahující 250 metrů se mohou použít konstrukční systémy trubkové neboli tubusové, které umožňují propojení sloupů s rámy nebo s příhradovou konstrukcí. Vodorovnou tuhost zde vytváří obvodová konstrukce.

Hlavním rysem tubusu jsou hustě rozmístěné obvodové sloupy, které jsou vzájemně propojené vysokými příhradovými nosníky. Tyto prvky tvoří základní kostru budovy a zajišťují její odolnost vůči příčnému zatížení. Okenní otvory obvykle pokrývají přibližně 50% plochy fasády. Stěny jádra tubusu přenáší buď veškerá vodorovná zatížení, nebo mohou působit společně s rámy. Uspořádání tubusových systémů může být pravoúhlé rámové, příhradové nebo vícetrubkové. U vícetubusových systémů se může jednat o tzv. trubku v trubce (tube in tube) nebo o svazek tubusů (bundled tube). Tubus v tubusu je systém rámového tubusu a spolupůsobících vnitřních a vnějších smykových stěn. Tento systém je velmi odolný vůči příčnému zatížení. Pro omezení deformací se využívá interakce nosných konstrukcí vnějšího pláště a vnitřních ztužujících konstrukcí. Svazek tubusu je konstrukční systém využívaný ve velmi vysokých budovách pro snižování plochy vystavené působení větru.

2.2.5 Eliminace chvění

Cílem eliminace chvění budovy je snížení vnitřních sil od kmitání vzniklých například větrem, dopravou či zemětřesením. Tlumení může být dosaženo především správným návrhem tvaru budovy, vhodnou strukturou pláště nebo zabudováním tlumiče do objektu.

Rezonančním kmitáním budovy jsou vibrace, kterými budova reaguje na zemětřesení. Vyšší budovy kmitají nižší frekvencí než otřásající se půda. Tím pádem nerezonují s otřesem země. Jejich rezonanční kmitočet je mimo oblast seizmických otřesů. Dalo by se tedy říct, že mrakodrapy jsou v seizmických zónách dokonce bezpečnější než nižší vícepatrové budovy.

Snížení efektu rezonančního kmitočtu je možné pomocí technologie tlumičů. Hlavním účelem tlumiče je absorpce energie chvění, která vzniká působením větru nebo při zemětřesení. Tlumiče v podstatě zvyšují odolnost budovy proti pohybu. Pakliže se jedná o rychlý pohyb, tlumič vytváří velký odpor. Když je pohyb menší, vzniká odpor menší. Takovýto způsob eliminace vůči vnějším vlivům využili například architekti při návrhu mrakodrapu v Mexico City, Torre Mayor. Každý tlumič v Torre Mayor může být zatížen silou odpovídající bezmála 500 tunám. Tlumiče jsou zkonstruovány tak, aby bezpečně absorbovaly značné množství seizmické energie, která by jinak způsobila vážné poškození nebo dokonce kolaps budovy.

3 BOZP

Bezpečnost a ochrana zdraví při práci v době výstavby výškové budovy je jedním z nejdůležitějších aspektů. Tato kapitola pojednává o bezpečnosti a ochraně zdraví při realizaci výškových budov. Zaměřuje se především na pád z výšky a na pád do hloubky, což je nejběžnější riziko, které může na staveništi nastat. Dále pojednává o bezpečnosti při provozu výškové budovy a při případném požáru. V první části kapitoly jsou také přiblíženy základní legislativní předpisy, které s danou problematikou souvisí.

3.1 Legislativa

Prvním předpisem upravující požadavky na BOZP ve výškách je zákon č. 362/2005 Sb. Nařízení vlády o bližších požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na pracovištích s nebezpečím pádu z výšky nebo do hloubky. [20] V případě pracoviště ve výšce 1,5 metru a výš musí zaměstnavatel zaměstnanci zajistit opatření proti pádu z výšky.

Dalším předpisem je zákon č. 262/2006 Sb. Zákoník práce. Tento předpis stanoví, že každý zaměstnanec musí být před započítím činnosti proškolen dle odborných předpokladů a požadavků na výkon dané pracovní činnosti vztahující se k rizikům. [20]

Předpis č. 362/2005 Sb., část XI., je zaměřen konkrétně na školení zaměstnanců při práci ve výškách. V průběhu školení by měla být přiblížena konkrétní rizika, která při práci mohou nastat, dále pracovní postupy, technologická a technická řešení a v neposlední řadě i OOPP, což jsou osobní ochranné pracovní prostředky, které by měly být každým pracovníkem zodpovědně používány. V předpisu jsou dále ustanovení o pracovníku pracujícím samostatně a jeho případném přerušení práce z důvodu, že v práci nemůže bezpečně pokračovat.

Jedním z důležitých předpisů je také předpis č. 101/2005 Sb. Nařízení vlády o podrobnějších požadavcích na pracoviště a pracovní prostředí. Udává, že zaměstnanci nesmí být vystaveni nebezpečí pádu z výšky 0,5 metru a výš. Zároveň stanoví, že pracoviště a komunikace, umístěné ve výšce 0,5 metru a výš, musí být opatřeny zábradlím.

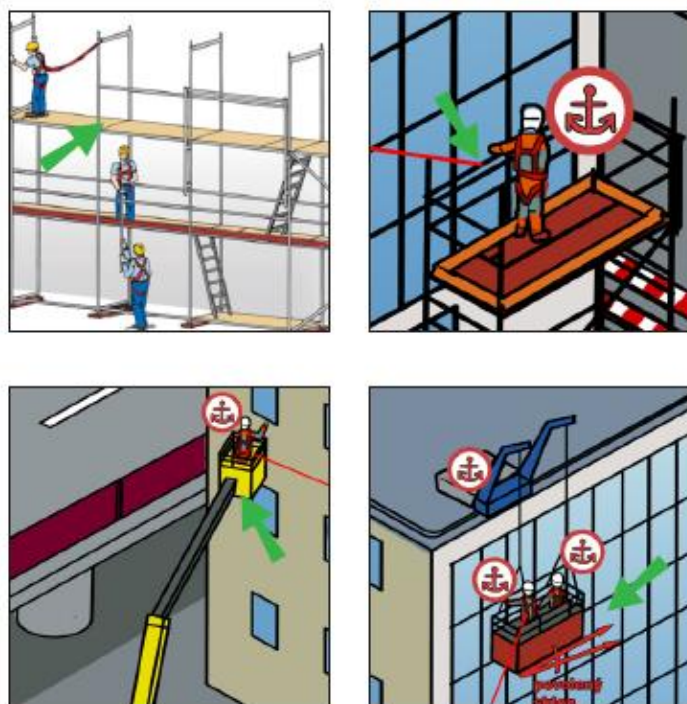
3.2 BOZP při realizaci

Všichni pracovníci pohybující se na staveništi musí být z hlediska BOZP proškoleni. Proškolení se zapisuje do stavebního deníku a do deníku BOZP, který zpracovává koordinátor bezpečnosti stavby.

Největším rizikem při realizaci výškových budov je pád z výšky nebo pád do hloubky. V průběhu venkovních prací je třeba sledovat povětrnostní situaci, jako je příliš silný vítr, bouřka, námraza atd. Práce ve výškách je nutné přerušit, pakliže venková teplota klesla pod -10°C nebo naopak stoupla nad 43°C . Před započítím prací ve výškách je nutné určit způsob a druh zajištění pádu z výšky, pokud místo leží ve výšce 1,5 metru nad úrovní terénu a výš. Při těchto úvahách je dobré vycházet z analýzy rizik. Ochranu proti pádu zabezpečujeme pomocí prostředků kolektivní ochrany nebo osobním jištěním. Ochrana proti pádu se nemusí řešit v případě pracovních rovin, jejichž sklon nepřesahuje 10 stupňů od vodorovné roviny a současně je ve vzdálenosti 1,5 metru od volného okraje pracovní rovina chráněna dostatečně únosným zábradlím. Dále se nemusí zřizovat ochrana v případě volných okrajů otvorů, jejichž půdorysné rozměry nepřesahují alespoň v jednom směru 0,25 metru. Platí to také o úrovni terénu či podlahy pracoviště uvnitř objektu ležící alespoň 0,6 metru pod korunou vyzdívané zdi. Pracovníci pracující ve výškách 10 metrů a výš nebo nad volnou hloubkou nad 10 metrů musí podstupovat pravidelné lékařské prohlídky, a to jednou za 4 roky, nebo jednou za 2 roky, pakliže zaměstnanec dovršil 50 let věku.

3.2.1 Kolektivní ochrana

Pokud nelze vyloučit práce ve výškách, musí být všichni pracovníci zajištěni kolektivní ochranou proti pádu osob a materiálů. Patří zde všechny typy dvou tyčových kvalitních a pevně fixovaných dočasných zábradlí, dále ohrazení, sítě, mobilní a systémová lešení, mobilní plošiny, mechanické zvýšené podlahy, zajišťování otvorů a podobně. Za zábranu proti pádu nelze chápat jakoukoli pásku. Jednotlivé způsoby kolektivní ochrany znázorňuje následující obrázek 20. Kolektivní ochrana slouží k zamezení přístupu nepovoleným osobám na nebezpečná místa, kde hrozí pád z výšky nebo pád do hloubky. Dále samozřejmě slouží k zachycení padajícího člověka, předmětu nebo břemene.



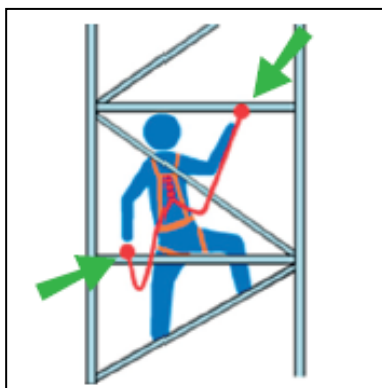
Obr. 20 - Způsoby kolektivní ochrany [21]

3.2.2 OOPP

Mezi další opatření proti pádu z výšky patří osobní ochranné pracovní prostředky individuálního jištění s celým systémem zabezpečení proti pádu osob. Ty se však použijí pouze v případě, kdy povaha práce vylučuje použití prostředků kolektivní ochrany. Pracovník navíc musí být při použití této ochrany proškolen odborně způsobilou osobou pro práce ve výškách anebo kvalifikovaným zástupcem výrobce těchto prostředků. Kolektivní ochrana a osobní ochranné pracovní prostředky se dají použít samozřejmě i současně.

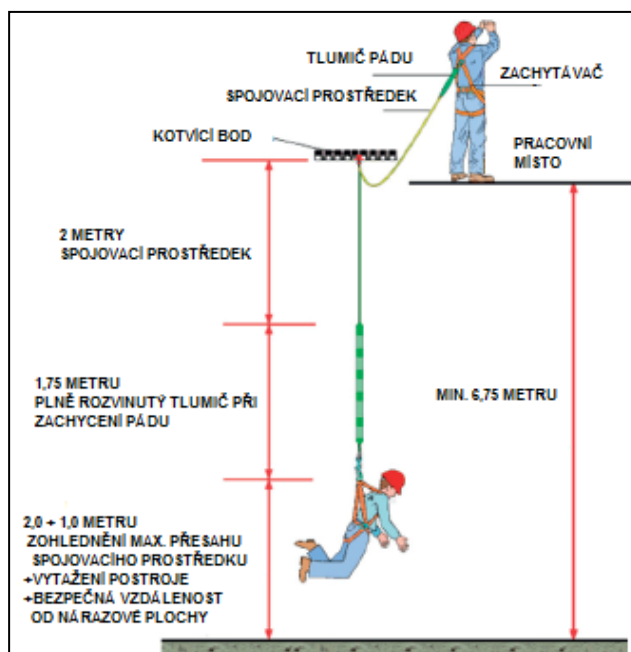
Mezi systémy ochrany osob proti volnému pádu patří zadržovací systémy, pracovní polohovací systémy, systémy zachycení pádu, systémy lanového přístupu a záchranné systémy. V některých případech je nutná i kombinace těchto systémů.

Pakliže se pracovník přepíná na jiný kotvicí bod, je nutné používat trojbodový spojovací prostředek se dvěma karabinami, jenž zajistí 100% ochranu proti pádu. Místo kotvení musí být předem stanovené. Body kotvení musí být schopné odolávat silám předpokládaného namáhání podle druhu kotvicího bodu a systému ochrany proti pádu. Minimálně však musí odolávat síle 10 kN. Tuto situaci znázorňuje následující obrázek.



Obr. 21 - Trojbodový spojovací prostředek [21]

Mezi další typ zajištění osobní ochrany proti pádu patří záchytný postroj s popruhovým tlumičem pádu. Ten vyžaduje dostatečný volný prostor pod uživatelem a to 6,75 metru. Bezpečný pohyb při práci ve výšce umožňuje horizontální zajišťovací systém s použitím vodorovného kotvícího vedení. Tento způsob jištění je vidět na následující ilustraci.



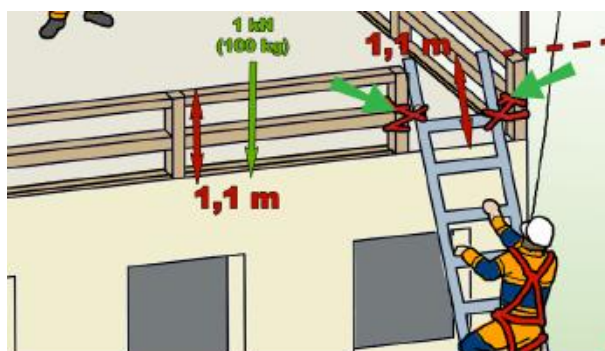
Obr. 22 - Zachytávací systém s tlumičem pádu [21]

3.2.3 Žebříky

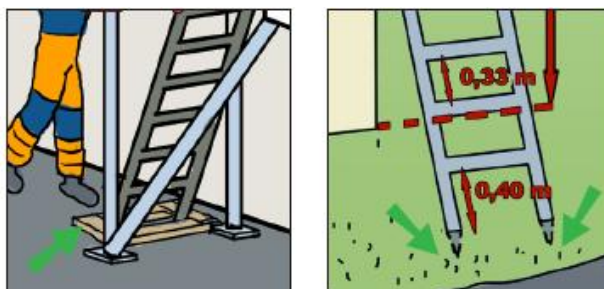
Místa ve výškách musí být bezpečně přístupná, a to pomocí schodišť, ramp nebo pomocí žebříků. Použití žebříku na vykonávání práce musí být schváleno vedoucím pracovníkem. Zároveň musí být žebříky kontrolovány, a to pravidelně vizuálně a minimálně 1 krát za rok se zápisem. Poškozené žebříky se nesmí používat a musí být odstraněny ze staveniště.

Pracovník musí být při práci na žebříku otočený tváří k žebříku. Na žebříku se nesmí nacházet více osob najednou. Pakliže se pracovník nachází ve výšce více jak 5 metrů, musí být zajištěn osobním ochranným pracovním prostředkem. Při použití polohovacího prostředku může být kotvicí bod i na žebříku, ten však musí být dostatečně únosný a musí být zajištěn proti ztrátě stability. Příklad je vidět na následujícím obrázku 23. V průběhu prací na žebříku je zakázáno používat nebezpečné nástroje a nářadí, jako jsou například řetězové pily. Dále je zakázáno manipulovat s předměty, které by mohly vyvolat ztrátu stability žebříku. V neposlední řadě by se mělo vyhnout předmětům, vážícím více jak 15 kg a které se dají špatně uchytit.

Po celou dobu používání žebříku musí být zajištěna jeho dostatečná stabilita. V první řadě je nutné žebřík postavit na vodorovný, pevný a únosný podklad. Obě bočnice se musí opírat o bezpečné a stabilní prvky a konstrukce a musí být dostatečně zajištěny proti sklouznutí, posunutí nebo vychýlení do strany. Další ochrana proti sklouznutí se provádí pomocí patek nebo jiných zarážek. Při práci v terénu se použijí stabilizační hroty. Upevnění bočnic žebříku a zajištění žebříku proti uklouznutí je znázorněno na obrázcích 23 a 24.



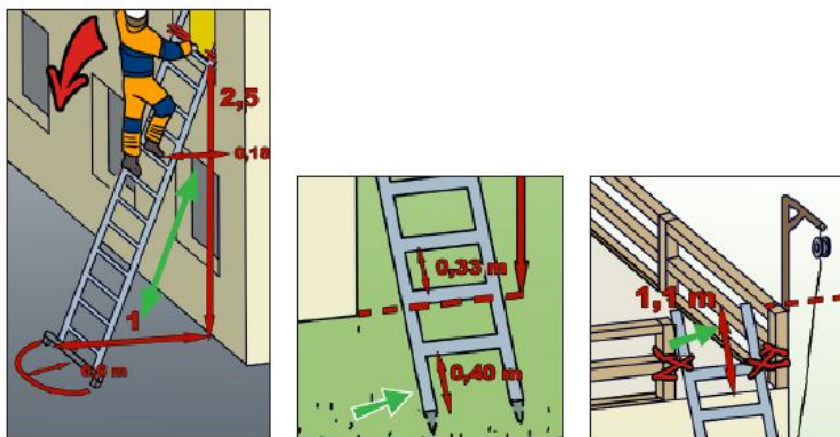
Obr. 23 - Zabezpečení bočnic [21]



Obr. 24 - Ochrana proti sklouznutí [21]

Žebřík se staví v minimálním sklonu 2,5 : 1. Vzdálenost od objektu by měla být minimálně 0,18 metru, prostor před žebříkem by měl být alespoň 0,6 metru

a vzdálenost nástupní roviny od první příčky žebříku by měla být minimálně 0,4 metru. Zároveň má být maximální výška příček 0,33 metru. Horní část žebříku by měla přesahovat nejméně o 1,1 metru nad výstupní rovinou. Na obrázku 25 je přibliženo správné umístění žebříku.



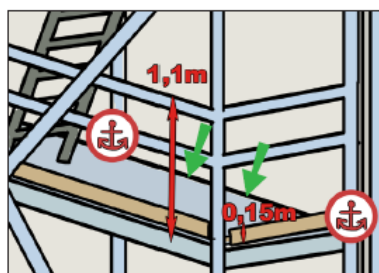
Obr. 25 - Umístění žebříku [21]

3.2.4 Otvory

Otvory v podlaze, jejichž půdorysné rozměry přesahují 0,25 metru, musí být chráněny proti propadnutí člověka, materiálu nebo pracovních pomůcek. Používají se proto poklapy s dostatečnou únosností nebo se otvory zabezpečí zábradlím či zábranou.

3.2.5 Zábradlí

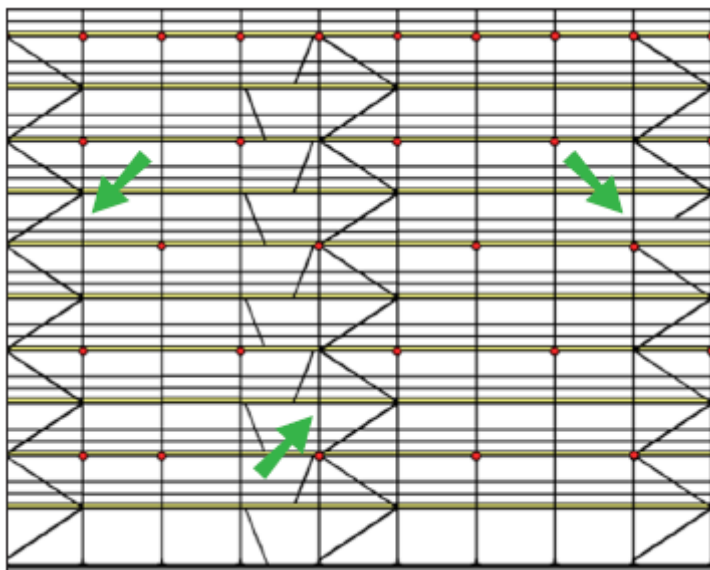
Zábradlí na staveništi musí být dostatečně pevné a vysoké. Zábradlí je složeno z horní tyče a zarážky u podlahy o výšce alespoň 0,15 metru. Horní tyč zábradlí musí být ve výšce alespoň 1 metr nad podlahou. V případě, že je výška podlahy vzhledem k okolnímu terénu větší než 2 metry, použije se dvoutyčové zábradlí. Na obrázku je znázorněno použití dvoutyčového zábradlí a jeho základní rozměry.



Obr. 26 - Dvoutyčové zábradlí [21]

3.2.6 Lešení

Konstrukce lešení musí být technicky zdokumentovaná a označená. Pracovníci montující lešení musí vlastnit lešenářský průkaz. Únosnost terénu, na kterém je lešení postavené, musí mít dostatečnou únosnost, aby odolalo zatížení od konstrukce. Svislé prvky lešení se staví na podložky. Také musí být zajištěna patřičná tuhost lešení, a to pravidelným úhlopříčným ztužením a kotvením. Na obrázku 27 je lešení s pravidelným úhlopříčným ztužením každého pátého pole a s kotvením každých osm metrů.



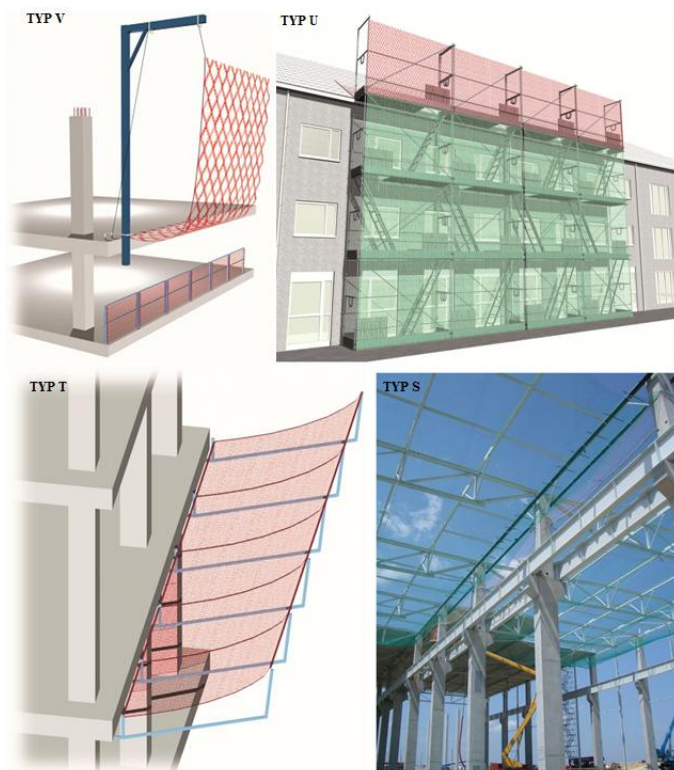
Obr. 27 - Zajištění tuhosti lešení [21]

3.2.7 Ochrana materiálu

Stejně jako pracovníci, musí být i materiál dostatečně zajištěn proti pádu z výšky. Především při práci nad veřejností musí být duplicitně zajištěn systémem proti propadnutí či pádu. Tato opatření se provádí například sítěmi, omezením pohybu ramen jeřábu nad veřejností, vázacími prostředky či vhodným skladováním.

V případě výškových budov se velmi často využívá právě sítě. Sítě umožňují ochranu vícero pracujících osob, přístup např. na střešní konstrukce z různých míst a také chrání osoby pracující pod místem práce. Sítě se vyznačují zejména ochranou proti vodě, sněhu a UV záření, neabsorbují vlhkost a také se jedná o bezuzlovou technologii. Průměr jednoho pramene má 5mm a oka jsou ve velikostech 100x100mm. Na trhu jsou v současné době 4 základní typy sítí. Síť typu V je síť s obvodovým lanem a za použití konzoly. Síť typu U slouží pro boční ochranu zábradlí a lešení. Typ T je bezpečnostní výložníková síť pro horizontální jištění

s kotvením na konzolách. Bezpečnostní síť typu S slouží k horizontálnímu jištění osob proti pádu z výšek a je současně nejvíce používaným typem. Jednotlivé typy sítí jsou vidět na obrázku 28.



Obr. 28 - Typy záchranných sítí [44]

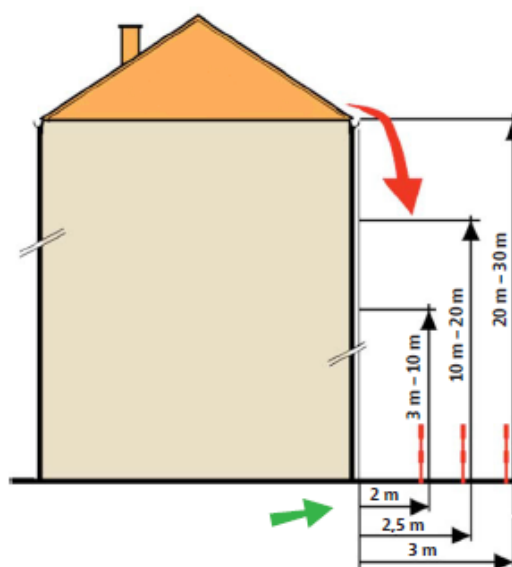
V případě, kdy je materiál úmyslně shazován dolů, musí být místo dopadu dostatečně zabezpečeno proti vstupu osob ohrazením nebo hlídáním oprávněné osoby. Materiál je také možné shazovat v uzavřeném prostoru až na místo uložení. Tato situace je znázorněna obrázkem 29.



Obr. 29 - Shazování materiálů z výšky [21]

Při práci na střeších je nutné objekt zabezpečit proti padajícím předmětům. Provádí se tak jednotýčovým zábradlím nebo zábranou o výšce minimálně 1,1 metru. Prostor od okraje budovy k ochrannému zábradlí musí být v případě výšky budovy

od 3 do 10 metru alespoň 2 metry, u budov o výšce nad 10 metrů a do 20 metrů musí být prostor alespoň 2,5 metru. U budov o výšce 20 až 30 metrů je chráněný prostor šířky minimálně 3 metry a u objektů o výšce nad 30 metrů se jedná o prostor 6 metrů široký. Nejméně je však šířka od budovy k zábradlí rovna desetíně výšky objektu. Vzdálenost zábradlí od budovy znázorňuje obrázek 30.



Obr. 30 - Vzdálenost zábradlí od budovy [21]

3.3 BOZP při provozu a údržbě

3.3.1 Provoz budovy

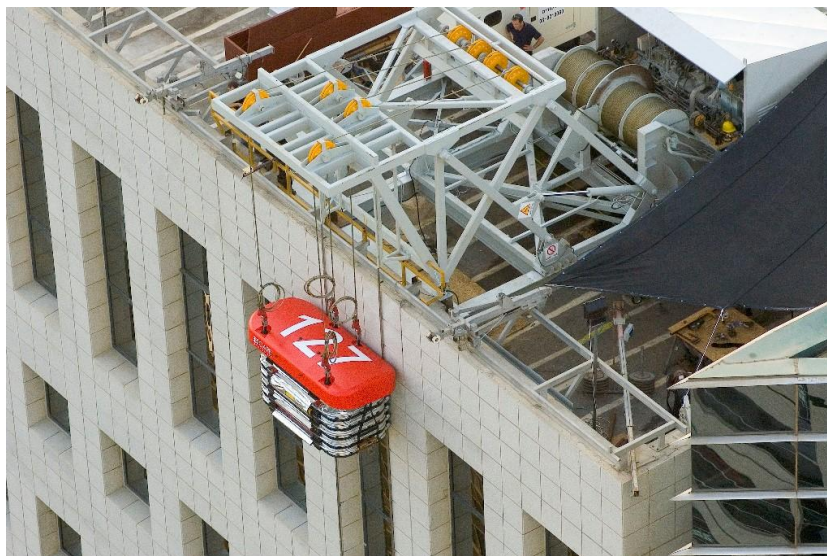
Na budovy jsou především kladeny vysoké technické požadavky z hlediska bezpečnosti. Měly by být neustále monitorovány pro sledování pohybu osob v prostorách budov a to nejen u vstupu do objektu, ale i uvnitř budovy a zabezpečeny proti požáru. Každá budova by měla mít možnost protipožárního zásahu vedeného vnitřkem budovy, vnějškem budovy nebo oběma cestami.

V případě požáru by měla být výšková budova vybavena systémem elektrické požární signalizace, zkráceně EPS. Tato zařízení obsahují detektory kouře a tepla a jejich rozvody tvoří nehořlavé kabely. V případě požáru se v každém patře rozezná signály, rozsvítí se nouzová osvětlení a uživatelé budov jsou o vzniklém požáru okamžitě informováni. Nouzová osvětlení musí být v každém případě viditelná a musí jednoznačně ukazovat směr k nouzovému východu. Zároveň se prostřednictvím EPS předá informace hasičskému záchrannému sboru (HZS). Systém automaticky nastartuje dieselové motory, jež udržují v chodu požární vzduchotechniku, a vypne vzduchotechniku fungující za normálních okolností.

Požární vzduchotechnika způsobí přetlak v únikových prostorách a tím do nich zamezí průniku ohně a kouře. Lidé se tak mohou z budovy bezpečně dostat, a to buď požárním schodištěm či evakuačním výtahem. Mimo tato zařízení by se měly ve výškových budovách nacházet funkční stabilní hasicí přístroje s automatickými skrápěcími hlavicemi, neboli sprinklery, které se zabudují do závěsných podhledů.

Evakuace osob v případě nebezpečí z velmi vysokých budov bývá náročnější. Požární plošiny dosahují v ČR do výšky maximálně 22,5 metru a požární žebříky mají dosah 45 metrů. Obvyklá požární schodiště jsou navrhována na 12 až 14podlažní budovy a nejznámější teleskopická hydraulická plošina, *Bronto Skylift F 90 HLA*, dosáhne do 25 podlaží. [22] Budovy vyšší než 25 podlaží se musely spoléhat pouze na požární systém na svých horních patrech. Později však v tomto směru došlo k rozvoji a bylo navrženo mnoho evakuačních metod. Příkladem jsou evakuační systémy *Escape Rescue System* a *Automatic Rescue Climber*.

V Izraeli byl v roce 2005 navržen záchranný vyprošťovací systém ERS, *Escape Rescue System*, který v případě požáru účinně řeší problém při evakuaci osob z budov vyšších než 25 podlaží. Toto zařízení je umístěno ve složeném stavu na střeše budovy a je propojeno s EPS budovy. V případě požáru se rozloží a pomocí lanového systému se po fasádě spustí na požadovanou výšku budovy. *Escape Rescue System* se skládá z pěti klecí, jež jsou obalené v odolném protipožárním materiálu. Zařízení může současně pojmout osoby z pěti podlaží na sebe navazující. Každá klec je navržena pro záchranu 30 osob, z nichž dvě místa jsou určena pro záchranáře či hasiče. Jak později ukázaly zkoušky, ERS je schopný z hořící 40patrové budovy zachránit 140 osob za pouhých osm minut. [22] Tento jednoduchý systém je vidět na obrázcích 31 a 32, jednak před spuštěním ve složeném stavu a následně při rozložení klecí. Jeho značnou výhodou je velká přepravní kapacita, jakákoliv výška budovy, obousměrný provoz výtahu a dodatečná montáž.



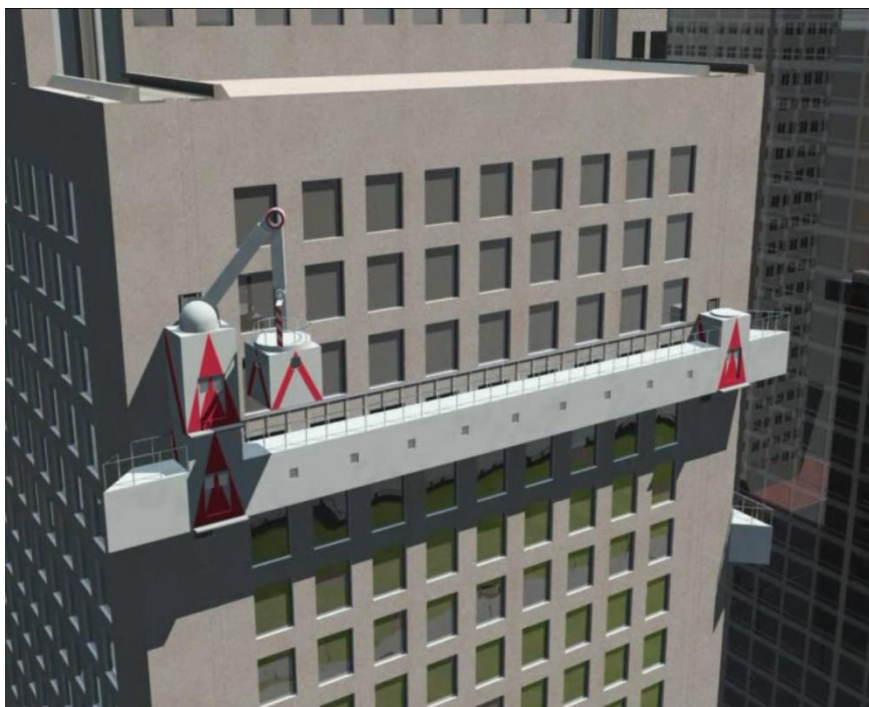
Obr. 31 - ERS ve složeném stavu [40]



Obr. 32 - Escape Rescue Systém [40]

Další systém vynalezený pro záchranu osob z hořících výškových budov je systém ARC, neboli *Automatic Rescue Climber*. První myšlenkou však bylo, že bude sloužit jako automatický systém pro údržbu budov. Jedná se o pohyblivý výtah po fasádě budovy. Toto zařízení sestává z kolejnice, kolem které se může pohybovat zdvihadlo, které je vybaveno teleskopickým ramenem, na jehož konci je umístěna klec. Jedná se tedy o zařízení sloužící k hašení požáru, záchraně lidí v jakémkoliv

výšce a současně se dá použít i pro údržbu fasády. [22] Ukázka použití ARC systému na výškové budově je vidět na následujícím obrázku 33. Nevýhodou oproti předešlému systému je, že se s ním musí už v průběhu realizace počítat a není možné jej instalovat dodatečně.



Obr. 33 - Automatic Rescue Climber [41]

3.3.2 Udržovací práce

Za udržovací práce v průběhu provozu stavby rozumíme např. odstraňování nadměrného množství sněhu ze střechy, revizi a údržbu různých zařízení umístěných na střeších budovy a údržbu fasády. Tyto činnosti musí být prováděny s odpovídajícími technickými opatřeními. Nicméně jen na údržbu fasády je kladen velký důraz a je součástí projektů a následného provedení stavby.

Údržba fasády mrakodrapů je prováděna pomocí lávek na lanech spuštěných ze střechy. Žádný jeřáb ani plošina by pro tento účel nestačily, jelikož nemají dostačující výškový dosah. Tento typ práce ale není pro každého. Chce to pořádnou dávku odvahy a ignoraci vůči výškám. Na obrázku je zachycena nehoda, která se stala na New Yorkském One World Trade Center pouze osm dní po jeho oficiálním otevření. V průběhu čištění fasády se uvolnilo jedno ze závěsných lan a celá pracovní plošina se naklonila. Dělníci tak čekali na záchranu na úrovni 68. nadzemního podlaží více jak dvě hodiny.



Obr. 34 - Nehoda při čištění fasády [32]

4 VÝŠKOVÉ BUDOVY VE SVĚTĚ

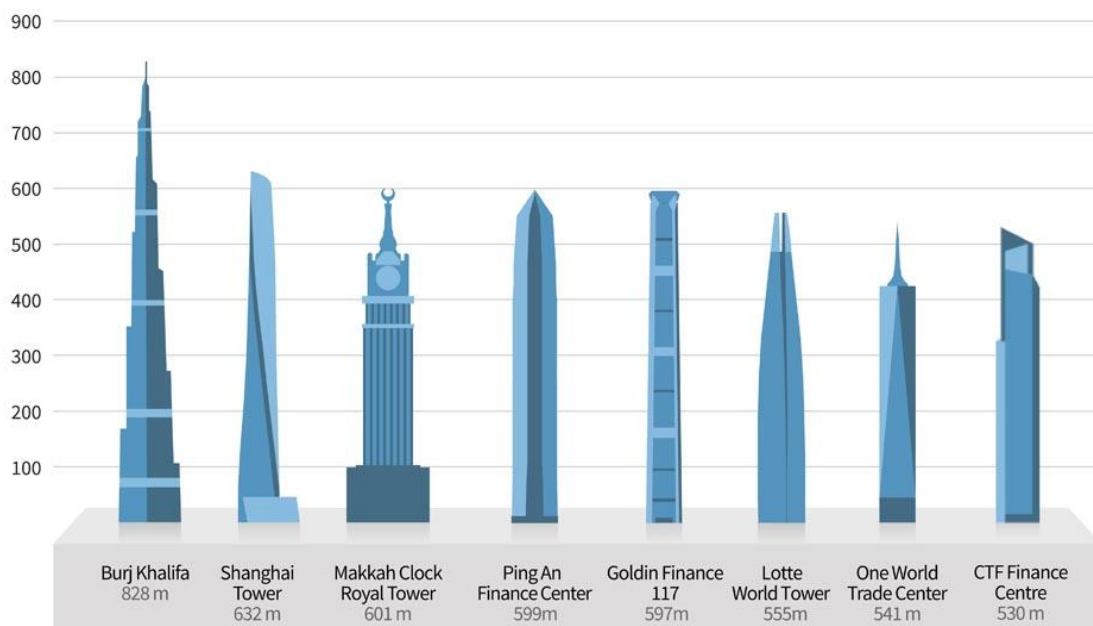
4.1 Úvod

Následující část je zaměřena na čtyři vybrané mrakodrapy mimo naše území, jejichž realizace byla spojena se značnou spoustou problémů a je tedy velice poučná pro výstavbu dalších mrakodrapů do budoucna. Tyto vybrané stavby se v průběhu výstavby potýkaly s extrémními podmínkami, jako jsou příliš vysoká teplota, velmi silný vítr nebo nevhodné geologické podmínky. Jedná se o gigantickou stavbu Burj Khalifu v Dubaji, Shanghajskou věž v Číně, One World Trade Centre v Americe a jako poslední stavba je uveden mrakodrap na Tchaj-wanu, Taipei 101.

Osm v současnosti nejvyšších budov na Zemi je sepsáno v následující tabulce. Stavby jsou seřazeny sestupně dle jejich stavební výšky. Anténní systémy přidané po dokončení stavby nejsou brány v úvahu. Seznam dále neobsahuje věže či vysílače. Těchto osm nejvyšších budov světa je dále schematicky znázorněno na obrázku, ze kterého jsou patrné výškové rozdíly jednotlivých budov. Jak je vidět, mezi nejvyšší budovou a druhou nejvyšší budovou na světě je bezmála 200 metrový rozdíl. Je však jen otázkou času, kdy nynější světový rekord 828 metrů bude překonán. Z tabulky je také zřejmé, že nejvyšší budovy se nachází na nejlidnatějším kontinentě v Asii, konkrétně v Číně. Tabulka uvádí názvy budov, jejich umístění, výšku budov a počet nadzemních a podzemních podlaží.

Tabulka 2 - Seznam nejvyšších dokončených budov světa
[Vytvořeno autorkou]

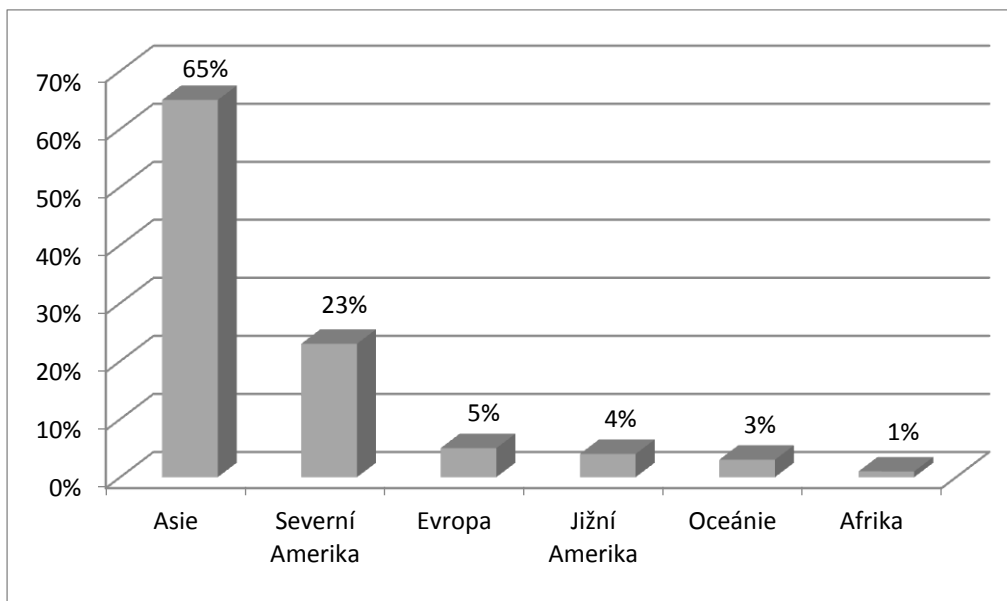
NÁZEV BUDOVY	MĚSTO	STÁT	VÝŠKA [m]	POČET NP (PP)
Burj Khalifa	Dubaj	Spojené arabské emiráty	828	163
Shanghai Tower	Shanghai	Čína	632	128 (5)
Makkah Clock Royal Tower	Makkah	Saudská Arábie	601	120 (3)
Ping An International Finance Center	Shenzhen	Čína	599	116 (4)
Goldin Finance 117	Tianjin	Čína	597	117
Lotte World Tower	Seoul	Jižní Korea	556	123
One World Trade Center	New York City	New York	541	104 (5)
CTF Finance Centre	Guangzhou	Čína	530	116 (4)



Obr. 35 - Schéma nejvyšších budov světa [9]

Z následujícího grafu je patrné, na jakém kontinentu je výstavba mrakodrapů častější než na jiných kontinentech. Jednoznačně nejrozšířenější výstavba mrakodrapů je v Asii, oproti tomu nejméně mrakodrapů se staví v Africe. Asijská městská centra trpí zoufalým nedostatkem místa, proto jsou pro ně mrakodrapy ideálním typem stavby. Na druhou stranu Afrika je světově nejchudší obydlený kontinent, proto by zde častější realizace mrakodrapů ani nebyla možná, především z ekonomických důvodů.

V Asii, konkrétně v Dubaji, je nejvyšší budovou Burj Khalifa s výškou 828 metrů. V Severní Americe v New Yorku je nejvyšší budovou One World Trade Center dosahující výšky 541 metrů. Nejvyšší budova Evropy se nachází v Moskvě. Jedná se o mrakodrap Federation Tower s výškou 374 metrů. V Jižní Americe ve městě Santiago je nejvyšším mrakodrapem Costanera Center s výškou 300 metrů. Austrálie a Oceánie má nejvyšší budovu ve městě Gold Coast Q1 s výškou 323 metrů. Nejvyšší budova Afriky se nachází v Johannesburgu a jedná se o budovu s názvem Carlton Centre dosahující do výšky 223 metrů.



Obr. 36 - Grafické znázornění počtu výškových budov dle kontinentů
[Vytvořeno autorkou]

Tabulka 3 představuje přehled první desítky měst s nejvyšším počtem mrakodrapů vyšších než 100 metrů k červnu 2016. [9] Nejvíce výškových budov se tedy nachází ve světových velkoměstech s největší hustotou osídlení. Mezi tato velkoměsta patří především Hong Kong, New York nebo Tokio. Zejména však Hong Kong je mrakodrapy plně zastavěn. Počet jeho výškových budov přesahující hranici 100 metrů je až neuvěřitelný.

Tabulka 3 - Nejvyšší počet mrakodrapů podle měst
[Vytvořeno autorkou]

MĚSTO	POČET MRAKODRAPŮ
Hong Kong	1327
New York	794
Tokio	556
Shanghai	430
Dubai	403
Bangkok	355
Chicago	341
Soul	282
Kuala Lumpur	244
Jakarta	244
Singapur	238

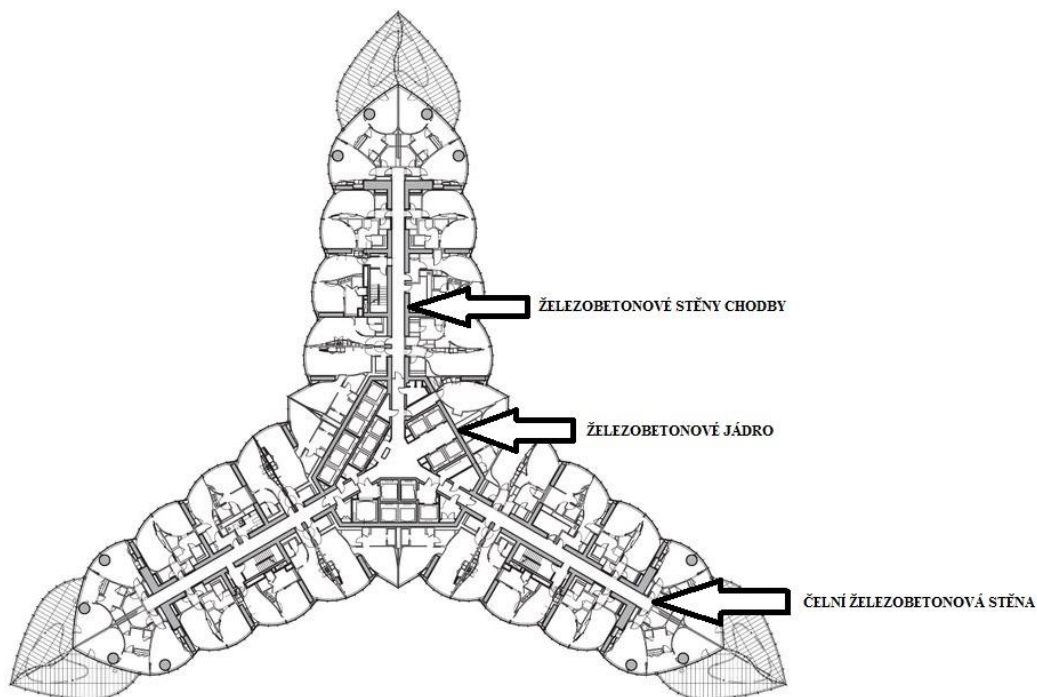
4.2 Vybrané světové mrakodrapy

4.2.1 Burj Khalifa

Burj Khalifa ve Spojených arabských emirátech uprostřed Dubaje je nejvyšším výtvozem lidských rukou na Zemi a jedním z největších úspěchů v dějinách techniky. Tento architektonický obr, s jeho 163 nadzemními podlažími, dosahuje neuvěřitelných 828 metrů (Obr. 39). Budovu má na svědomí jedna z nejuznávanějších amerických kanceláří Skidmore, Owings and Merrill a dubajská developerská společnost EMAAR. Celková cena za stavbu není známa. Odhaduje se však na jeden a půl miliardy dolarů, což zdaleka není nejdražší stavba, jak by se nejspíš očekávalo. Po šesti letech od začátku přípravných prací byl v lednu 2010 otevřen veřejnosti.

Jeden z prvních problémů, který se při návrhu budovy řešil, bylo dubajské podloží. Horní vrstva a následující tři až čtyři metry jsou tvořeny pískem, pak následuje měkký pískovec a křehký vápenec. Obecně tedy naprosto nevhodné podloží pro tak gigantickou stavbu. Budoucnost dubajské Burj Khalify je závislá na zákonu tření, kdy se použily plovoucí piloty. Hmotnost budovy je nesena pomocí tření mezi pláštěm pilot a přiléhající zeminou. Základy budovy spoléhají na velkou smykovou pevnost zeminy kolem pláště pilot. Celkem bylo použito 192 padesát metrů dlouhých pilot o průměru 1,5 metru, na kterých byla 370 cm silná základová deska z pevného betonu. Základy Burj Khalify musí nést více jak 500 000 tun vážící stavbu. Podle předběžných výpočtů by si měla budova sednout přibližně o 75 mm.

Pro tuto stavbu bylo třeba vymyslet zcela nový konstrukční systém, který vytvoří světlé vnitřní prostory po celé výšce. Byl navržen žebrový nosný systém tvořený třemi žebry podpírajícími vodorovně šestiúhelníkové jádro uprostřed budovy, který jí poskytuje torzní odolnost proti kroutivým silám. Samotné jádro je příliš štíhlé a nemohlo by do takové výšky vyrůst, proto je podpořeno jednotlivými křídly. Každé křídlo má zároveň vlastní nosné jádro a několik železobetonových sloupů po svém obvodu. Díky tomuto konceptu proudí do budovy přirozené světlo a zároveň splňuje konstrukční požadavky na statiku extrémně vysoké budovy. Jednotlivá křídla budovy ustupují a tím způsobují výbornou odolnost proti účinkům větru. Tlumiče tak nejsou zapotřebí. Konstrukční systém Burj Khalify je znázorněn následujícím obrázkem.



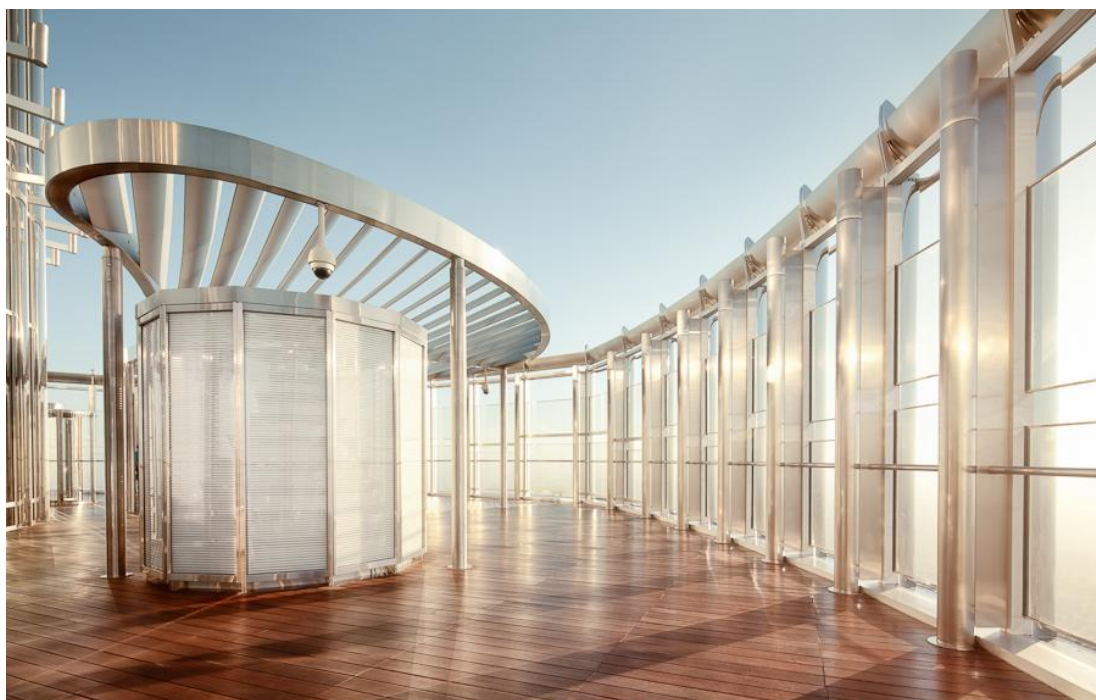
Obr. 37 - Žebrový systém, 7. podlaží [9]

V případě Burj Khalify byl klíčovým prvkem kvalita betonu. V rámci přípravy super pevného betonu se použilo 25 samostatných přísad, jež zaručovaly, že beton zůstal v průběhu pumpování do budovy tekutý a poté neobyčejně rychle ztuhl. Překážkou zde ale byla vysoká teplota, která se v Dubaji pohybuje kolem 45 °C. Teplý beton by pak tuhl příliš rychle, proto se musel lít v noci. Do betonové směsi byl navíc přidáván led a ledová voda. U tak vysokých budov je nejlepším způsobem lítí betonu do tzv. samo-šplhacího bednění. Do bednění se vloží ocelové výztuže a ty se zalijí betonem. Po dvanácti hodinách, po ztuhnutí betonu, se pomocí hydraulického pístu bednění posune, a to vždy o 4 metry. Celý proces se tak neustále opakuje. Díky tomuto systému stavba rostla rychlostí jednoho podlaží týdně. Pro dopravu betonu do horních pater se použila tři nejvýkonnější čerpadla na světě.

Skleněná fasáda je tvořena 24 248 panely, které budovu chrání před větrem, deštěm a pískem. Je složená z reflexního skla, hliníku a ocelových panelů a trubkovitých žeber. Pro výrobu těchto skleněných panelů byla otevřena speciální továrna, ve které se skla pro Burj Khalifu vyráběla. Jedná se o závěsnou stěnu, kdy se každý panel zavěsil za horní desku. Každý panel měl délku 640 cm, vážil kolem 750 kg, byl zvedaný po jednom a instalován ručně zvenku za pomoci jeřábů. Problémem byla opět velmi vysoká vnější teplota vzduchu. Teplo, které by bylo propuštěno do budovy skrze skla, by vytvořilo uvnitř budovy nesnesitelné podmínky.

Bylo proto vyrobeno průhledové sklo, které bylo tvořeno dvěma nátěry. Vnější nátěr byl složený ze stříbra, zachycoval ultrafialové paprsky a odrážel je zpět do prostoru. Zevnitř bylo sklo natřeno titanem, zachycujícím infračervené paprsky. Takovéto provedení skla způsobí, že množství tepla, které do místnosti projde, značně klesne. Výroba, přeprava a montáže panelů stály 48 miliónů dolarů.

Dubajský obr se také pyšní nejvýše položenými balkóny na světě. Největší překážkou při návrhu balkónů byl vítr, který mohl v těchto výškách dosáhnout až 240 km/h. Proto byly navrženy zasklené balustrády, které měly větru zabránit, aby foukal přímo přes balkónové terasy. Mimoto se navrhly architektonické rozdělovače, které zabraňují, aby se vítr přehnal plnou silou přes terasu a v neposlední řadě byly vymyšleny treláže, jež by měly zabránit tvorbě sestupných proudů na vrchol z každé teras. Nejdůmyslnější řešení se ale nachází uvnitř. Na průčelí z každé teras je namontováno větrné poplachové zařízení, varující obyvatele terasového bytu před příliš silným větrem. Konečné řešení teras této budovy je vidět na obrázku 38.



Obr. 38 - Terasy Burj Khalify [9]

Při stavbě byly použity tři největší stavební jeřáby na Zemi, každý vážící 120 tun bez nákladu. Součástí jeřábů byl samo-posuvný mechanismus, díky kterému může jeřáb růst spolu se stavbou. Vrchol budovy je tvořený 136 metrů vysokým tubusem o hmotnosti 350 tun, který se zužuje až do průměru 120 cm. Problém byl, jak tuto nadstavbu dostat nahoru. Bohužel ani nejvyšší jeřáby, které byly použity, na

takový úkol nestačily. Tubus se proto zvedal po částech a sestavil se nahoře uvnitř budovy. Následně byl pomocí lanových zvedáků vyzvednut na vrchol budovy. Burj Khalifa spotřebuje průměrně 36 MWh elektřiny za den, což se rovná spotřebě dvacetitisícového města. Při výpadku elektřiny se okamžitě zapne 5 obřích 22 tun vážících záložních generátorů.

Další zajímavostí v průběhu výstavby Burj Khalify bylo, že stavební výtahy po celou dobu realizace budovy zajišťovala pardubická firma *Pega Hoist*. Všichni pracovníci byli po dobu stavby závislí na výkonnosti, rychlosti a spolehlivosti jejich 16 výtahů. Výtahy pardubické firmy pracovaly 24 hodin denně a sedm dní v týdnu a dokázaly převážet materiál i o hmotnosti 3,2 tuny při rychlosti 1,7 m/s. [27]



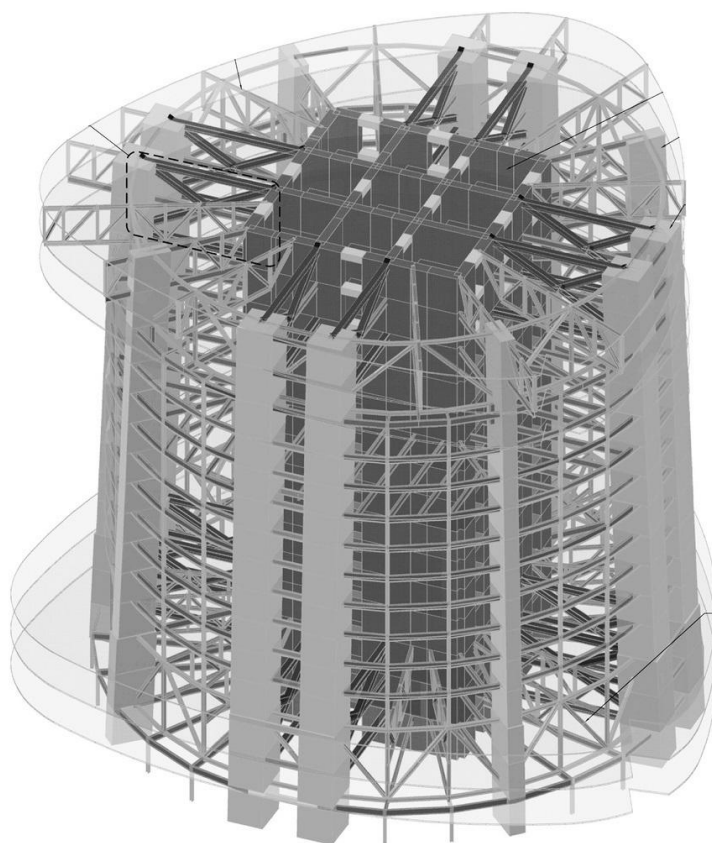
Obr. 39 - Dokončená Burj Khalifa [9]

4.2.2 Shanghai Tower

Nejlidnatější město světa se pyšní druhou nejvyšší budovou planety a zároveň nejvyšší budovou v celé Číně. Jedná se o Šanghajskou věž, která představuje tzv. "vertikální město". Najdeme zde veškeré občanské vybavení i sluncem prozářené zahrady vysoko nad přeplněnými ulicemi. Stavba měří 632 metrů a má 128 podlaží. Šanghajský mrakodrap stál téměř dvě a půl miliardy dolarů a jeho stavba byla dokončena v roce 2015.

Největšími problémy Šanghaje jsou především velké znečištění ovzduší, dále nedostatek místa pro stavění a v neposlední řadě každoroční tajfunová období. V takovém městě proto není ani jiná možnost než stavět do výšky. Věž obyvatelům Šanghaje nabízí mnoho místa, světla a svěží chladný vzduch, který této metropoli chybí.

Z konstrukčního hlediska se jedná o pevné betonové jádro a o devět samostatných etáží rozdělujících jednotlivá poschodí, viz obrázek 40. Vnitřní plášť je tvořený skleněnou stěnou obklopující obytné prostory. O osmáct metrů dál je vytvořený vnější spirálovitě stočený plášť tvořící fasádu z hladkého skla, který kryje celý mrakodrap. Vnější fasáda je ke snížení účinků větru postupně stáčena o 24%. V padesát metrů vysokých prostorách mezi oběma sekcemi se nachází zelené visuté zahrady. Tyto zahrady jsou ukázány na obrázku 41. Budova se tedy pyšní devíti prostory nebeských zahrad. Prostor mezi fasádami slouží ke snížení účinků extrémního počasí. Vrcholem budovy je ocelová výztuha o hmotnosti sedmi tun. Výztuže jsou tvořeny z armovací oceli, které jsou postupně zalévány betonem. Bednění se posunovalo nahoru po několika patrech, čímž bylo možné betonovat naráz několikapatrový úsek. Podle údajů se dokázalo odlít jedno patro již za pět dní.

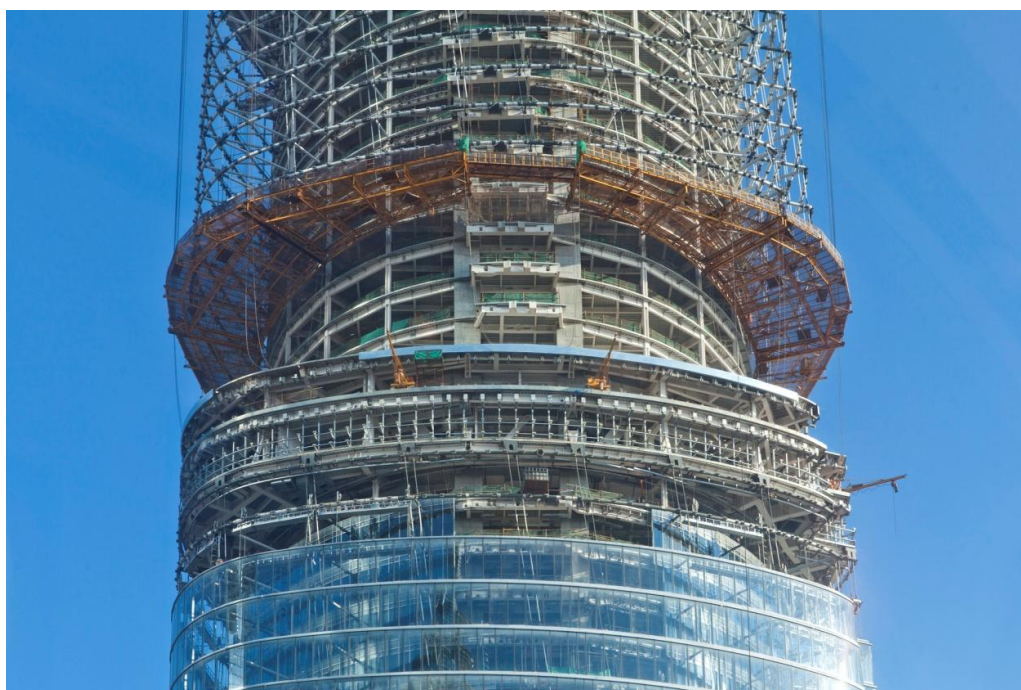


Obr. 40 - Konstrukční systém Shanghaijské věže [42]



Obr. 41 - Visuté zahrady Šanghajské [42]

Při montáži vnější fasády bylo využito gravitace. Konstrukce, která drží sklo, byla zavěšena z poschodí nad ní. Vznikla tak zavěšená konstrukce, která visí na ocelovém věnci. Zátěž tak byla rozložena na prvky, které sahají z horního patra až na podlahu tohoto atria. Problémem však bylo, jak takovou konstrukci smontovat, jelikož se muselo stavět shora dolů, což klasické lešení neumožňuje. Nakonec bylo vymyšleno posuvné lešení, tzv. "létající talíř", který sloužil jako pracovní plošina pro dělníky. Lešení je vidět na obrázku 42. Sto tun vážící plošina byla nejprve vyzdvížena na vrchol sekce a pak postupně spouštěna při zmáčknutí tlačítka. Pracovníci tak mohli upevňovat nosníky v jednotlivých patrech.



Obr. 42 - Pomocné lešení "létající talíř" [42]

Od každé výškové budovy lze očekávat alespoň nepatrné kymácení vlivem větru. U této budovy se ale chtělo takovému pohybu zabránit, proto se velmi přemýšlelo nad finálním tvarem budovy. Na úrovni střechy se dal očekávat vítr o síle 190-270 km/h, který se nejvíce opírá o nároží. Bylo zjištěno, že čím více bude budova zakroucena, tím větší snížení tlaku to přinese. Nejideálnější by bylo zakroucení o 180°, které by snížilo vliv větru o 24%. Takový tvar budovy by byl aerodynamický a zajišťoval by dostatečnou tuhost. Tato varianta byla bohužel velmi nákladná, proto byla zvolena hodnota 120°.

Dalším unikátním prvkem Šanghajské věže byla na míru vytvořená skla s celkovou plochou 130000 m². Skla musela vydržet šanghajské klima,

maximalizovat ochranu, minimalizovat odrazy, blokovat ostré sluneční paprsky, ale zároveň umožňovat, aby visuté zahrady byly zaplaveny světlem. Technologicky se jedná o nejdokonalejší sklo na světě.

Plíce mrakodrapu tvoří několik chladících jednotek, které mají za úkol regulovat kvalitu vzduchu. Jedno takové zařízení, vážící kolem 20 tun, bylo nutné vyzdvihnout do technického zázemí ve výšce 300 metrů.

Spolu s mrakodrapem se jeřáby musely posouvat stále výš a výš. Na vrchol jeřábové věže se přidala vzpěra, spodní vzpěra se odmontovala a jeřáb se mohl posunout nahoru. Jeřáby vážící 40 tun o výšce 20 poschodí držely pouze dvě svařené konzole na boku budovy. Výtahy Šanghajské věže dosahují velmi vysokých rychlostí, a to až 18 m/s. Následující obrázek přibližuje pohled na dokončenou Šanghajskou věž.



Obr. 43 - Dokončená Šanghajská věž [9]

4.2.3 One World Trade Center

One World Trade Center v New Yorku představuje nejnáročnější a nejdražší stavbu na Zemi. Celková cena tohoto díla je odhadována na bezmála čtyři miliardy dolarů. Budova se také pyšní titulem nejvyššího mrakodrapu v Americe a zároveň i na západní polokouli. Jedná se o nejodolnější budovu na světě, jež byla dokončena v roce 2014. Práce na stavbě začaly v roce 2006. Mrakodrap čítá 104 nadzemních podlaží a 5 podzemních podlaží. Díky 124 metrů vysoké špičce má budova výšku 541 metrů, bez ní by budova měřila 417 metrů. One World Trade Center se začal stavět na místo bývalého obchodního centra, které bylo 11. září 2001 zničeno. Muselo se tedy jednat hlavně o budovu bezpečnou. Ve výsledku se jedná o velmi odolný mrakodrap, odolávající čemukoliv - explozím, bouřkám i zemětřesení. Architekt projektu byl David Childs ze společnosti Skidmore, Owings and Merrill za pomoci architekta Daniela Libeskinde. One World Trade Center nabízí od roku 2015 velkolepé třípodlažní vyhlídkové centrum One World Observatory ve výšce 382 - 386 metrů, odkud je vidět celé velkoměsto.

Základním konstrukčním prvkem jsou tři ocelové sloupy, z nichž jeden je ručně popsán vzkazy připomínajícími oběti atentátu z 11. září 2001. Mrakodrap je založen na základové desce o rozměrech 61x61metrů. Ztužující jádro a prvních 57 metrů budovy tvoří speciální velmi odolná směs.

Budova má hladké skleněné stěny, za kterými se skrývá 50 000 tun ocele a 137 000 m³ betonu. One World Trade Center má ve skutečnosti velmi jednoduchý tvar. Stačí vzít jeden kus krystalu se čtvercovým půdorysem a trochu seříznout hrany. Stavba čítá 73 výtahů s maximální rychlostí 10,2 m/s. Na následujícím obrázku je patrná současná podoba této budovy.



Obr. 44 - One World Trade Center [32]

4.2.4 Taipei 101

Světznámý mrakodrap na Thai-wanu, zvaný Taipei 101, byl po dokončení v roce 2004 nejvyšší budovou na Zemi. Cena této velmi zajímavé stavby se vyšplhala téměř na 1,5 miliardy dolarů. Se svými 509 metry, 101 nadzemními podlažími a 5 podzemními podlažími se aktuálně řadí na deváté místo v žebříčku nejvyšších budov světa. Číslovka v názvu je odvozena od počtu podlaží a od adresy, kde budova stojí. Ve vzhledu věže, ale také v řadě dekorativních prvků, které se nachází na různých místech budovy, se odrážejí tradiční čínské motivy. Pro celou budovu je typické číslo osm, jenž v čínské kultuře představuje symbol štěstí. Věž například sestává z osmi stupňů, kdy každý z nich má osm pater.

Tato mohutná stavba se nachází v oblasti často zasahované tajfuny a v těsné blízkosti aktivního tektonického zlomu. Zemětřesení tuto oblast zasáhne přibližně jednou za deset let. Proto bylo požadováno, aby Taipei 101 vydržel i velmi silná zemětřesení. V roce 2002 se přihnaly silné seismické vlny, které prověřily spolehlivost konstrukce. Rozestavěný mrakodrap se divoce otřásl, všechny

nepřípevněné objekty se zřítily dolů, avšak samotná konstrukce vydržela a stavba mohla pokračovat.

Budovu nese 380 ocelových, betonem vyplněných pilot o průměru 1,5 metru, a to až do hloubky 30 metrů. Piloty jsou vázány do skalního podkladu a základová deska má tloušťku 5 m. Očekávaný pokles konstrukce byl 50 mm. Vzhledem k umístění budovy se muselo jednat o mimořádně tuhou a pevnou konstrukci. Projektanti nakonec našli inspiraci v bambusu. Bambus v čínské kultuře zaujímá důležité místo a tak dala budova městu i jistý symbolický význam. Bambus sice není moc pevný, ale je přirozeně pružný. Je to díky jeho vnitřní stavbě. Má duté stéblo rozdělené na jednotlivé články plnými kolénky, která stonek zpevňují. Byl použit stejný princip a v každém osmém patře byly sloupy sepnuty ocelovými příhradovými nosníky. Zvenku tak budova připomíná mohutné stéblo, viz následující obrázek 45.



Obr. 45 - Taipei 101 [9]

Nosnou konstrukci budovy tvoří osm spřažených megaloupů s půdorysnými rozměry 3 x 2,4 metru. Jádro představuje 16 spřažených sloupů tloušťky 80mm (ocelové sloupy zalité železobetonem). Jádro stavby je sice tuhé, ale nedostatečně. Proto se pomocí příhradových ocelových nosníků roznesla síla na vnější sloupy, které fungují jako plováky na plachetnici. Tento postup je aplikován po celé výšce budovy. Nosníky jsou umístěny v každém osmém poschodí s výškou 1 - 3 patra. V každém osmém patře jsou tedy sloupy připojeny k vodorovným nosníkům inspirovaným kolénky bambusu. Nosník zvyšuje vodorovnou tuhost a uvolňuje také prostor v blízkosti středového sloupu. Do devátého patra jsou navíc použity i železobetonové stěny.

Každé poschodí je odlito z betonu. Dopravu do několika set metrové výšky zajišťovaly velice výkonné pístové pumpy. V případě Taipei 101 se musel dostat beton do 101. poschodí. Taková trubice naplněná betonem váží více jak 13 tun. Pumpa byla umístěna u paty budovy. Tento úkol však zvládl pouze mimořádně silný stroj o výkonu 420 kW. Doprava musela být nepřetržitá, jinak by došlo ke ztuhnutí směsi. Právě proto mělo čerpadlo dva písty, kdy jeden nasává, zatímco druhý vytlačuje. Podtlak vtáhne tekutý beton dovnitř a silný dieselový agregát vytvoří hydraulický tlak, který ho vytlačí ven.

Mrakodrapy by nemohly existovat bez výtahů. Budova Taipei 101 jich má 61. Více jak polovina výtahů má dokonce dvě kabiny. Počet výtahů by měl postačovat pro 10000 lidí. Byly zde navrženy technicky nejdokonalejší výtahy na světě. Jsou řízeny digitálně, mají přetlakovou aerodynamickou klec se systémem redukce otřesů a senzory pro případ zemětřesení. Jedná se o jeden ze dvou výtahů, které jsou v Guinnessově knize rekordů jako nejrychlejší na světě. Do 84. patra výtah vystoupá za necelých 37 sekund. V kabině je jako v letadle přetlak, aby cestujícím, při rychlosti až 16,8 m/s, nepraskalo v uších. V případě prasknutí lana vysokorychlostní zdviže se aktivují bezpečnostní brzdy. Vodící kolejnici sevřou dvě čelisti na bázi nitridu křemíku. Dvacetitunovou kabinu, řítící se dolů rychlostí 21,1 m/s, je možné zastavit na pouhých 40 metrech.

Bylo nutné zabránit rozkývání se budovy ve velmi silném větru. Pro Taipei 101 byl proto navržen nejtěžší stabilizátor na světě, viz obrázek 46. Jeho konstrukce byla zavěšena mezi 92. a 87. patrem na 16 silných ocelových lanech. Stabilizátorem je obrovská pozlacená koule o hmotnosti 730 tun, fungující jako kyvadlo. Měří

6 metrů v průměru a skládá se z 61 ocelového plátu. Svými pohyby působí proti výkyvům budovy. Využívá vlastnost společnou všem objektům, setrvačnosti. V případě vychýlení budovy se koule zhoupne jako obří kyvadlo, zatlačí na mohutné olejové tlumiče, které následně energii výkyvu rozptýlí.



Obr. 46 - Tlumič Taipei 101 [9]

5 SHRnutí POZNATKŮ O REALIZACI VÝŠKOVÝCH BUDOV

Tato kapitola bude zaměřena na shrnutí poznatků, kterým by se měla při návrhu výškové budovy věnovat pozornost. Dále jsou zde porovnány způsoby realizace těchto typů budov v České republice a ve světě. Podmínky pro stavění mrakodrapů jsou odlišné ve všech koutech světa. Z technologického hlediska vycházejí zejména z geologických a klimatických poměrů, ve kterých se stavba nachází. Výška budovy vytváří jednoznačné podmínky pro její návrh, konstrukci a provoz.

5.1 Návrh výškové budovy

- **Vhodné založení stavby**

Jeden z nejdůležitějších aspektů při navrhování výškové budovy je její správné založení. Založení stavby záleží zejména na geologickém profilu podloží a rozměrech stavby. Základy musí být schopné bezpečně přenést veškerá zatížení do únosné základové půdy. Z tabulky mnou vybraných budov je patrné, že při zakládání výškových budov se nejčastěji využívá kombinace základové desky s pilotami. U Budov City Empiria a V Tower, Prague bohužel nebylo možné dohledat bližší informace o jejich založení. Můžeme se však domnívat, že i u těchto budov byla zvolena obdobná varianta založení jako u ostatních. Základy nemusí sloužit pouze pro přenos zatížení, ale mohou sloužit např. i k jímání tepla a chladu pro regulaci vnitřního prostředí, jako je tomu u budovy AZ Tower v Brně. Z tabulky je dále vidět, že budovy vyšší i nejvyšší budova na světě Burj Khalifa, jsou rovněž založeny na pilotech a základové desce. Počet pilot a jejich velikost je ale značně vyšší, protože musí přenést daleko větší tíhu konstrukce do základové půdy, než je tomu u budov AZ Tower nebo City Tower.

Tabulka 4 - Přehled způsobů založení vybraných budov
[Vytvořeno autorkou]

BUDOVA	ZPŮSOB ZALOŽENÍ
ČR	
AZ Tower (111m)	118 ŽB pilot 30 metrů hlubokých + základová deska tloušťky 750mm
City Tower (109m)	Plošné - třípodlažní monolitická ŽB základová skříň s půdorysnými rozměry 80x22 metrů a se základovou spárou 16 metrů pod terénem
City Empiria (104m)	Nezjištěno
V Tower, Prague (104m)	16 metrů hluboké základy, více nezjištěno
SVĚTOVÉ	
Burj Khalifa (828m)	192 plovoucích pilot 50 metrů hlubokých o Ø 1,5 metru + základová deska tloušťky 3700mm
Shanghai Tower (632m)	980 pilot 86 metrů hlubokých + základová deska tloušťky 6000mm
One world Trade Center (541m)	Základová deska s půdorysnými rozměry 61x61 metrů, hloubka betonových základů 56 metrů
Taipei 101 (509m)	380 ocelových betonem vyplněných pilot 30 metrů hlubokých o Ø 1,5 metru + základová deska tloušťky 5000mm

- **Správný návrh konstrukčního řešení**

Volba konstrukčního nosného systému je závislá na prostorovém řešení stavby, rozponech vodorovných konstrukcí, konstrukční výšce podlaží, volbě materiálu konstrukce a na technologii výstavby. Na výškové budovy působí zejména vodorovná zatížení způsobená působením větru. Tomuto zatížení musí být věnována zvýšená pozornost. Stavba by měla být dále odolná vůči nárazu letadla a chránit před případnými teroristickými útoky. Síla větru závisí na výšce budovy a na jejím umístění. Dle normy ČSN EN 1991-1-4 jsem výpočtem zjistila, že na naše čtyři nejvyšší budovy AZ Tower v Brně a City Tower, City Empiria a V Tower, Prague v Praze působí na jejich vrcholu přibližně stejná síla větru, a to 35,4 m/s což odpovídá 127,44 km/h. Oproti tomu na úrovni střechy Shanghajske věže se dá očekávat vítr o síle 190-270 km/h. Z tohoto faktu vyplývá, že budovy vyšší nebo budovy, kde je silnější vítr, musí být navrženy s odolnějším konstrukčním systémem. Z vytvořené tabulky je patrné, že se většina výškových budov navrhuje jako skeletový systém se ztužujícím jádrem, který současně slouží pro vertikální dopravu.

Tabulka 5 - Přehled konstrukčních systémů vybraných budov
[Vytvořeno autorkou]

BUDOVA	KONSTRUKČNÍ SYSTÉM
ČR	
AZ Tower (111m)	ŽB jádro + ŽB stěny po obvodě + ŽB sloupy
City Tower (109m)	ŽB jádro + ocelové sloupy
City Empiria (104m)	ŽB jádro + ocelové sloupy
V Tower, Prague (104m)	ŽB sloupy
SVĚTOVÉ	
Burj Khalifa (828m)	Žebrový nosný systém - ŽB jádro + 3 podpírající křídla (každé křídlo své jádro a ŽB sloupy po obvodě)
Shanghai Tower (632m)	ŽB jádro + 9 samostatných etáží z ocelových sloupů
One world Trade Center (541m)	ŽB jádro + 3 ocelové sloupy
Taipei 101 (509m)	Jádro: 16 spřažených sloupů (ocelové sloupy zalité betonem) + po obvodě 8 spřažených sloupů (každých osm pater jádro spojeno s obvodovými sloupy ocelovými nosníky)

- **Fasáda**

U výškových budov je velice náročné i řešení fasádního pláště. Plášť musí mimo obalovou funkci a zajišťování tepelně technických požadavků zvládnout odolat jednak namáhání od slunečního záření a také vzdorovat účinku tlaku a sání větrem. Dále by měla být fasáda schopna odolávat veškerým projevům chování konstrukce budovy. Pozornost je třeba také věnovat údržbě fasády.

- **Vnitřní technologie**

Bez vertikální dopravy by byly mrakodrapy nemyslitelné. Nevýhodou však je, že zabírají velkou část půdorysné plochy objektu.

Výškové budovy by se také neobešly bez dalších technických vybavení jako je klimatizace, zásobení vodou, plynem, sanitární zařízení, elektroinstalace a odvoz odpadů. To vše bohužel zabírá další prostor.

Při projektování těchto typů budov je důležité myslet na to, že v případě požáru by měli mít lidé přechájející z budovy dostatek času a možností na svou záchranu a požární jednotka možnost co nejrychleji a nejúčinněji tento požár likvidovat.

- **BOZP**

Při výstavbě by měla být navržena správná bezpečnostní opatření a tato následně i plně respektována, aby lidé na staveništi i mimo něj nebyli nijak ohroženi. Všechny stavební činnosti při výstavbě výškových budov musí být přizpůsobeny práci v extrémní výšce.

5.2 Porovnání výškových budov v ČR a ve světě

Hlavním důvodem vzniku mrakodrapů a to nejen ve světě, ale i u nás, je vysoká cena pozemků v centrech měst. Vzhledem k tomu, že cena pozemků neustále vzrůstá, bude přibývat i počet výškových budov. Dalším důvodem je rostoucí počet obyvatel ve velkých městech.

V porovnání se světovými mrakodrapy jsou naše výškové budovy miniaturní. Oproti ostatním částem světa však máme rozhodně výhodu v zeměpisné poloze, jelikož se nenacházíme v oblasti postihované častými a silnými zemětřeseními, tajfuny či jinými katastrofami. Jediné, s čím se musíme potýkat, je vítr. Důvodem, proč u nás výstavba výškových budov není tak častá, jako je tomu v jiných zemích, je nejspíš to, že se na naše území architektonicky nehodí a jejich realizace by zde byla neefektivní. Hlavní město Praha je plné historických staveb a památek a jakýkoliv mrakodrap by v této zástavbě působil pravděpodobně nepatříčně a rušivě. Výjimkou je pouze vznikající centrum výškových budov na Pankráci v Praze. Pro Českou republiku je v současnosti vzhledem k velikosti území a počtu obyvatel stavění mrakodrapů nadbytečné. Další důvod může být ten, že na stavění extrémně vysokých budov nemáme dostatek odvahy. Oproti ostatním částem světa upřednostňujeme spíše historickou návaznost a obdivujeme středověká centra měst, nikoli zázraky techniky. V neposlední řadě je otázkou, zda dlouhodobější pobyt v mrakodrapu není pro jeho obyvatele nepříjemné.

Častá výstavba mrakodrapů především v Asii a v USA nejspíš souvisí s jejich historií. Přeci jenom se první mrakodrapy začaly objevovat právě v New Yorku. Bylo to způsobené prudce se zvyšujícími cenami pozemků v rozvíjejících se metropolích. Výhodnější pak samozřejmě bylo stavět více do výšky než do šířky. Ve velkoměstech jako je New York, Hong Kong, Tokio nebo Dubai jsou mrakodrapy na každé rohu. Jejich výstavba zde byla a vždy bude velmi rozšířená a to nejen díky rozloze těchto měst nebo vysokému počtu obyvatel, ale také díky tomu, že jsou tato

města o něco napřed než města ostatní. Především Amerika byla vždy "výstřelkům" jako jsou mrakodrapy nakloněna více než konzervativní Evropa. Realizovat však mrakodrapy v těchto metropolích obnáší i mnoho problémů. Například v případě zmiňované Burj Khalify se jednalo o velmi vysoké teploty a nevhodné podloží. U budov Taipei 101 a Shanghajske věže pak o tajfunová období. Oproti ČR se také v průběhu výstavby nesmí stavební jeřáby dostat mimo předem definovanou oblast kolem realizované budovy a tak se používají jeřáby s výložníkem, který se zdvihá.

ZÁVĚR

Výškové budovy jsou velmi specifické stavby, a to zejména z hledisek stavebních, konstrukčních, technologických, provozních i technických zařízení budov. S neustále zlepšujícími se technologiemi budou do budoucna mrakodrapy stále budovány. Za zmínku jistě stojí právě rozestavěné mrakodrapy Azerbaijan Tower v azerbájdžánské metropoli Baku a Kingdom Tower v saúdskoarabském městě Džidda. Budou to první mrakodrapy, které zdolají kilometrovou výšku. Oba mrakodrapy stanovily termín dokončení na rok 2019. I přes to, že je výstavba takovéto konstrukce velmi náročná, člověk má ve své povaze zakořeněnou touhu po pokroku. Mrakodrapy jsou v dnešní době trendem po celém světě. Jejich výstavba je ale přirozená součást moderního rozvoje města. Skoro v každém větším městě se setkáváme s výškovými budovami. V České republice však máme s realizací těchto budov velmi malé zkušenosti.

Vzniklá práce má sloužit jako souhrnný přehled informací o výškových budovách a problémech při jejich realizaci. Výsledek práce může být mimo jiné přínosem pro širší odborné publikum. Výškové budovy jsou ve všech směrech velmi zajímavé a při tvorbě práce jsem měla problém zaměřit se pouze na určitá odvětví, jelikož je daná problematika velmi rozsáhlá. Snažila jsem se tak o vytvoření přehledu zejména klíčových informací. Závěrem bych ráda řekla, že jsem si díky bakalářské práci mohla urovnat své dosavadní vědomosti a rozšířila je o nové velmi zajímavé poznatky.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

Literatura

[1] CHEW YIT LIN, Michael: Construction Technology for Tall Buildings (2nd Edition), Nakladatelství: Singapore University Press, 2001, ISBN 981-02-4338-3

[2] KOLÁŘ, Václav: Mrakodrapy, Nakladatelství Práce v Praze, 1946

[3] TERRANOVA, Antonio: Supermrakodrapy - Noví obři světových metropolí, Nakladatelství Slovart (ČR), 2008, ISBN 978-80-7391-104-1

[4] VORLÍK, Petr: Český mrakodrap, Praha, Nakladatelství Paseka, 2015, ISBN 978-80-7432-504-5

[5] Článek z časopisu: Beton - technologie, konstrukce, sanace, Český mrakodrap mezi železobetonem a ocelí, 4/2009

[6] Článek z časopisu: Vytápění, větrání, instalace, Využití přirozeného větrání ve výškových prosklených budovách, 2/2016

Webové stránky

[7] Výšková budova [online]. [cit. 2017-02-09].

dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%BD%C5%A1kov%C3%A1_budova

[8] Mrakodrap [online]. [cit. 2017-02-09].

dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Mrakodrap>

[9] Emporis [online]. [cit. 2017-02-15].

dostupné z: <https://www.emporis.com/>

[10] Seznam nejvyšších budov ČR [online]. [cit. 2017-02-15].

dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Seznam_nejvy%C5%A1%C5%A1%C3%ADch_budov_v_%C4%8Cesku

[11] Seznam nejvyšších budov světa [online]. [cit. 2017-02-15].

dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Seznam_nejvy%C5%A1%C5%A1%C3%ADch_budov_sv%C4%9Bta

[12] V Tower [online]. [cit. 2017-02-22].

dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/V_Tower

[13] V Tower [online]. [cit. 2017-02-22].

dostupné z: <http://www.vtower.cz/>

[14] TZB info [online]. [cit. 2017-02-22].

dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/hruba-stavba/15138-nejvyssi-bytovka-v-tower-bude-mit-hrubou-stavbu-do-konce-roku#fotogalerie>

[15] Vysoké budovy - přednáška - Prof. Ing. Josef Macháček, DrSc. [online]. [cit. 2017-02-25].

dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/~machacek/prednaskyOK3/OK3-7z.pdf>

[16] Stavební katastrofy - Mrakodrapy [online]. [cit. 2017-03-02].

dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=I6GGWUZmAdQ>

[17] Velké stavby světa - Nejvyšší mrakodrap [online]. [cit. 2017-03-02].

dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=kKk7EGPqTOs>

[18] Dokonalé mrakodrapy - Šanghajská věž [online]. [cit. 2017-03-14].

dostupné z: <https://www.ulozto.cz/!2XfZ26MnZ/1x03-dokonale-mrakodrapy-sanghajska-vez-mp4>

[19] Technické divy světa - Taipei 101 [online]. [cit. 2017-03-05].

dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=7md5QD4FmVQ>

- [20] Školení BOZP [online]. [cit. 2017-03-14].
dostupné z: <http://www.skolenibozp.cz/aktuality/bezpecnost-prace-ve-vyskach-legislativa-priciny-dusledky-povinnosti-a-ochrana/>
- [21] Práce ve výškách - Skanska [online]. [cit. 2017-03-14].
dostupné z: http://www.skanska.sk/cdn1cf67df1fc50aee/Global/About%20Skanska/Sustainability/Downloads/Bezpe%C4%8Dnostn%C3%A9%20C5%A1tandardy/01a_BOZP_pr%C3%A1ce%20vo%20v%C3%BD%C5%A1kach.pdf
- [22] TZB info [online]. [cit. 2017-03-15].
dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3918-bezpecnost-vyskovych-budov>
- [23] Práce ve výškách [online]. [cit. 2017-03-14].
dostupné z: <http://www.bozpinfo.cz/prace-ve-vyskach>
- [24] Problémy při zakládání vysokých budov [online]. [cit. 2017-03-21].
dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/inzenyrske-stavby/geotechnika/problemy-pri-zakladani-vysokych-budov>
- [25] Stavební katastrofy - Mrakodrapy [online]. [cit. 2017-03-20].
dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=I6GGWUZmAdQ>
- [26] 100+1 - Zahraniční zajímavost [online]. [cit. 2017-03-21].
dostupné z: <http://www.stoplusjednicka.cz/nejrychlejsi-vytah-v-mrakodrapu-jezdi-60-kmh>
- [27] iDnes.cz [online]. [cit. 2017-03-21].
dostupné z: http://ekonomika.idnes.cz/nejvyssi-mrakodrap-sveta-stavely-pardubicke-vytahy-f9u-/ekoakcie.aspx?c=A100105_190511_ekoakcie_vel
- [28] AZ Tower [online]. [cit. 2017-03-25].
dostupné z: <http://www.aztower.org/>

[29] Diplomová práce Bc. Denisa Hrubá - AZ Tower [online]. [cit. 2017-04-11].
dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=81025

[30] Stavebnictví3000.cz - AZ Tower [online]. [cit. 2017-04-11].
dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/mrakodrap-az-tower-spickova-architektura-a-technologie/>

[31] BOZP info [online]. [cit. 2017-04-12].
dostupné z: <http://www.bozpinfo.cz/bezpecnost-vyskovych-budov>

[32] Mrakodrapy [online]. [cit. 2017-04-18].
dostupné z: <http://www.mrakodrapy.com/>

[33] Zakládání - piloty [online]. [cit. 2017-04-18].
dostupné z: <http://www.zakladani.cz/cz/piloty>

[34] rekonstrukce a dostavba City Tower [online]. [cit. 2017-04-18].
dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/architektura/stavby-a-budovy/mrakodrapy/rekonstrukce-a-dostavba-city-tower>

[35] Přednáška Fsv ČVUT - hlubinné základy [online]. [cit. 2017-04-18].
dostupné z: http://people.fsv.cvut.cz/~Pruskjan/Fakulta%20dopravni/Prednaska%2012_11.pdf

[36] Piloty [online]. [cit. 2017-04-25].
dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2157>

[37] Piloty [online]. [cit. 2017-04-25].
dostupné z: <http://kosper.cz/technologie/piloty/>

[38] CFA piloty [online]. [cit. 2017-04-25].
dostupné z: <https://www.kellergrundbau.cz/technologie/cfa/>

[39] ASB portál - Stoleté zkušenosti s pilotami Franki [online]. [cit. 2017-04-25].
dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/inzenyrske-stavby/geotechnika/stoleté-zkusenosti-spilotami-franki>

[40] Escape Rescue System [online]. [cit. 2017-04-25].
dostupné z: <http://www.escaperescue.com/about>

[41] Automatic Rescue Climber [online]. [cit. 2017-04-25].
dostupné z: <http://www.arcproject.ru/eng/01.html>

[42] Shanghai Tower [online]. [cit. 2017-04-25].
dostupné z: <http://www.archdaily.com/413793/gensler-tops-out-on-world-s-second-tallest-skyscraper-shanghai-tower>

[43] Výškové budovy [online]. [cit. 2017-04-25].
dostupné z: http://www.conference-cm.com/podklady/history2/referaty/Dostalova_ref.pdf

[44] Bezpečnost práce ve výškách [online]. [cit. 2017-05-05].
dostupné z: <http://www.rafra.cz/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

BOZP	Bezpečnost a zdraví při práci
ČR	Česká republika
USA	United States of America (Spojené státy americké)
TZB	Technická zařízení budov
m/s	Metr za sekundu
kg	Kilogram
%	Procento
mm	Milimetr
°C	Stupeň Celsia
km/h	Kilometr za hodinu
MW	Megawatt
tzv.	Takzvaně
m ²	Metr čtvereční
m ³	Metr krychlový
kW	Kilowatt
atd.	A tak dále
např.	Například
OOPP	Osobní ochranné pracovní prostředky
EPS	Elektrická požární signalizace
HZS	Hasičský záchranný sbor
Ø	Průměr
ŽB	Železobeton

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 - AZ Tower [28].....	15
Obr. 2 - Obložení výtahové šachty AZ Toweru rohoží CONIRAP [29]	17
Obr. 3 - Čerpadla betonových směsí KCP T 40 a KCP T 100 [29]	17
Obr. 4 - Stacionární betonovací věž [29]	17
Obr. 5 - Původní Český rozhlas a City Tower dnes [9]	19
Obr. 6 - Vstupní lobby [Archiv studentky]	20
Obr. 7 - Hlavní vstup do objektu [Archiv studentky]	20
Obr. 8 - City Empiria [Archiv studentky]	21
Obr. 9 - Vstupní lobby [Archiv studentky]	22
Obr. 10 - Vzhled bytu V Toweru [13]	24
Obr. 11 - Rozdělení věží V Toweru, Prague [13]	24
Obr. 12 - Základové desky dle tvaru [36]	26
Obr. 13 - Dělení pilot dle způsobu přenosu zatížení [36]	27
Obr. 14 - Schéma provádění vrtaných pilot pažených ocelovou pažnicí [37]	28
Obr. 15 - Vkládání armokoše do zapaženého vrtu [24]	28
Obr. 16 - Schéma provádění vrtaných pilot metodou CFA [38].....	29
Obr. 17 - Postup pilotáže piloty Franki [39]	30
Obr. 18 - Základní konstrukční prvky.....	31
Obr. 19 - Konstrukční systémy dle Fazlura Khana	33
Obr. 20 - Způsoby kolektivní ochrany [21]	38
Obr. 21 - Trojbodový spojovací prostředek [21]	39
Obr. 22 - Zachytávací systém s tlumičem pádu [21]	39
Obr. 23 - Zabezpečení bočnic [21].....	40
Obr. 24 - Ochrana proti sklouznutí [21].....	40
Obr. 25 - Umístění žebříku [21].....	41
Obr. 26 - Dvoutyčové zábradlí [21]	41
Obr. 27 - Zajištění tuhosti lešení [21]	42
Obr. 28 - Typy záchytných sítí.....	43
Obr. 29 - Shazování materiálů z výšky [21]	43
Obr. 30 - Vzdálenost zábradlí od budovy [21].....	44
Obr. 31 - ERS ve složeném stavu [40].....	46
Obr. 32 - Escape Rescue Systém [40].....	46

Obr. 33 - Automatic Rescue Climber [41]	47
Obr. 34 - Nehoda při čištění fasády [32].....	48
Obr. 35 - Schéma nejvyšších budov světa [9].....	50
Obr. 36 - Grafické znázornění počtu výškových budov dle kontinentů	51
Obr. 37 - Žebrový systém, 7. podlaží [9]	53
Obr. 38 - Terasy Burj Khalify [9]	54
Obr. 39 - Dokončená Burj Khalifa [9]	55
Obr. 40 - Konstrukční systém Shanghaijské věže [42].....	57
Obr. 41 - Visuté zahrady Šanghajské [42]	57
Obr. 42 - Pomocné lešení "létající talíř" [42].....	58
Obr. 43 - Dokončená Šanghajská věž [9].....	59
Obr. 44 - One World Trade Center [32].....	61
Obr. 45 - Taipei 101 [9]	62
Obr. 46 - Tlumič Taipei 101 [9].....	64

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Dělení výškových budov	11
Tabulka 2 - Seznam nejvyšších dokončených budov světa	49
Tabulka 3 - Nejvyšší počet mrakodrapů podle měst.....	51
Tabulka 4 - Přehled způsobů založení vybraných budov.....	66
Tabulka 5 - Přehled konstrukčních systémů vybraných budov	67