

BUDOVA VARSO TOWER

VARSO PLACE



Marcin Chruslinski, Peter Rozložník

Vo Varšave prebieha výstavba najvyššej výškovej budovy v strednej Európe s názvom Varso Tower. V článku je priblížená objektová skladba a etapy projektu Varso Place, sú popísané podzemné a nadzemné časti nosnej konštrukcie veže, základanie, zabezpečenie a tesnenie stavebnej jamy, realizácia a postup výstavby, predpoklady návrhu a dimenzovania železobetónových konštrukcií, dodatočne predpäté stropné dosky a oceľové konštrukcie stožiara z hľadiska prenosu zvislých a horizontálnych síl, požiarnej odolnosti a postupu výstavby. ■

The construction of Varso Tower, tallest building in Central Europe, is currently under way in Warsaw. Following pages describe its structural frame as well as the stages of the Varso Place project, the underground and above-ground levels, deep foundations, sheeting and watertight performance of the construction pit, realization and sequence of its construction, assumptions for the design and dimensioning of the reinforced concrete structures, post-tensioned ceiling slabs and the steelwork structure of the mast with regard to the transmission of the vertical and horizontal loading, fire resistance and construction methodology.

Budova Varso Tower tvorí najvyššiu etapu z celkovo troch budov projektu Varso Place (ďalšími dvoma sú Varso 1 a Varso 2) na Chmielnej ulici v obchodnom a kultúrnom centre

Varšavy, len pár krokov od Paláca vedy a kultúry na rozhraní mestských častí Śródmieście, Wola a Ochota (obr. 2). Výška samotnej budovy bude dosahovať 230 m nad terénom, zvyšok bude tvoriť oceľový stožiar s výškou 80 m a po svojom dokončení bude s celkovou výškou 310 m najvyššou budovou v strednej Európe. Celkovo bude mať budova 53 nadzemných a štyri suterénne podlažia priamo napojené na podzemné nástupište hlavného vlakového terminálu Warszawa Centralna, s ktorým taktiež zdieľa spoločnú podzemnú stenu. Veža bude slúžiť prevažne ako kancelárska budova so službami a dvoma vyhliadkovými terasami, stožiar bude plniť telekomunikačnú funkciu.

VÝVOJ PROJEKTU

Dokonalé zladenie architektonických a inžinierskych priorít bolo pri tomto projekte vzhľadom na malé rozmery pozemku a limity vyplývajúce z okolitej zástavby a dopravnej infraštruktúry bezpochyby základným predpokladom k jeho úspešnému a funkčnému dizajnu. Návrh mestských dominánt, zvlášť ak ide o najvyššiu budovu v regióne, si vyžaduje veľmi citlivý prístup nielen z pohľadu samotnej konštrukcie, ale aj jej komplexného urbanistického začlenenia do panorámy mesta.

V tomto smere preto znie až neuveriteľne fakt, že konečná výška objektu nebola, ako to väčšinou býva, výsledkom tlaku investora, ale samotnou požiadavkou zástupcov mesta Varšava, ktorých predstavy o výškovom členení tohto mestského územia dokonca prevyšovali pôvodné ambície. Nie je preto náhoda, že počet budov nad 150 m je dnes vo Varšave už dvojciferný.

Koncept hmoty

Základná úvaha o tvare a proporcií budovy, tzv. „hmotovka“ (po anglicky massing), vychádzala z okrajových podmienok daných malým rozmerom pozemku a tiež požiadavkou na čo najefektívnejší pôdorys ako z pohľadu funkčnosti a využitia, tak aj náročnosti na realizáciu. Z týchto dôvodov architekt pristúpil k ostrým tvarom s vertikálnou pravidelnosťou, kde možnosti vnútorného priestoru budovy v úrovni parteru tvoria jednu z najhlavnejších priorít.

Koncept podlaží

Priestorové usporiadanie typického podlažia vzišlo z predpokladu efektívneho využitia otvoreného vnútorného priestoru bez prekážok v podobe zvislých nosných prvkov. Ten na jednej strane disponuje limitovanou hĺbkou, avšak zároveň umožňuje maximálne využitie s prístupom k výhľadu po celom jej obvode a je

priechodný cez jadro. Limitovanie hĺbky priestoru je do veľkej miery definované hygienickou požiadavkou na presvetlenie pracovného priestoru denným svetlom, ktoré je v regióne V4 podstatne prísnejšie ako napríklad vo Veľkej Británii alebo v USA. Výsledkom práce bol nakoniec pôdorys pripomínajúci diamant, ktorého členenie definuje dve hlavné užívateľské časti spojené buď na koncoch, prípadne cez výťahové lobby ako v prízemí, tak aj v typickom podlaží.

Samostatnou kapitolou projektu bola problematika vertikálnej prepravy, teda pohybu ľudí a ich prúdenie v rámci budovy, z čoho priamo vyplýval návrh a usporiadanie výťahov. To muselo okrem požiadaviek spojených s potrebami ľudí, ich pohodlím a s funkciami jednotlivých častí budovy reflektovať aj požiadavky požiarnych noriem. Analýza všetkých spomenutých faktorov ukázala, že ideálnym riešením bude rozdeliť bu-

dovu na dve zóny – dolnú a hornú (tzv. low-rise a high-rise) s čím priamo súvisí aj zmena typického pôdorysu na úrovni 30. podlažia, kde časť výťahov končí a jadro sa tu zužuje. Výťahy idúce po celej výške budovy tak budú obsluhovať len jej hornú časť, čo vysoko zefektívni ich premávku. Zmena tvaru jadra je riešená pomocou troch masívnych vnútorných stĺpov a priestor je tak rozšírený pre lepšie využitie. (obr. 4)



1b

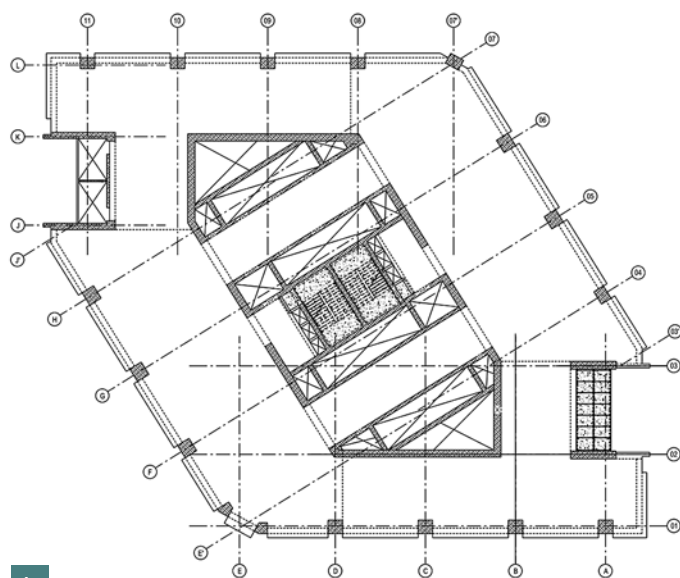


1c

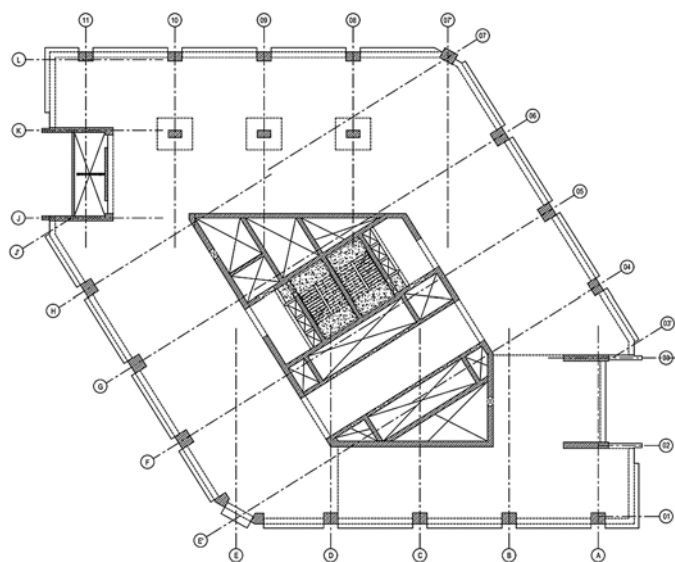


1 a), b), c) Varso Tower – vizualizácia,
2 Fotografie oblasti z roku: a) 1945, b) 2012
 (zdroj: [1]) **3** Pôdorys projektu Varso Place,
 vrátane Varso Tower, Varso 1 a Varso 2,
 na úrovni parteru na rohu ulíc Chmielna
 a Jana Pawła II (zdroj: [1]) ■

1 a), b), c) Varso Tower - visualization
2 Photographies of the area: a) 1945, b) 2012
 (source: [1]) **3** Layout of the Varso Place,
 including Varso Tower, Varso 1 and Varso 2,
 at the ground floor level on the corner of
 Chmielna and Jana Pawła II streets (source: [1])



4a



4b

STATICKÝ NÁVRH BUDOVY

Zakladanie a geológia

Oblasť centra mesta je z hľadiska geológie prebádaná pomerne dobre, avšak vzhľadom na fakt, že takto vysokú budovu vo Varšave ešte nikto nestaval a na podobnú úroveň základovej škáry sa tu zatiaľ dostal iba málokto, špeciálny prístup si vyžadovalo aj preskúmanie podložia. To sa robilo na niekoľko fáz, pretože na pozemku v mieste veže sa ešte odnedávna nachádzali podzemné objekty technického zázemia vlakovkej stanice. Po ich nahradení novými v rámci susednej etapy a následnej asanácii sa zrealizoval dodatočný geologický prieskum až do hĺbky 65 m pod terénom. Vrstvy zeminy pod úrovňou základovej škáry tu prevažne pozostávajú z priepustných uľahnutých pieskov a ílov s prímiesami silty a jemnozrnných zložiek v rôznych pomeroch s priemernou hrúbkou 2 až 6 m. Keďže sa jednotlivé vrstvy prekrývajú nepravidelne, prípadne tvoria lokálne šošovky, je nutné jamu adekvátne utesniť a jej odvodnenie navrhnuť tak, aby boli dodržané všetky stanovené limity jej prúdenia. To je v tomto prípade obmedzené z dôvodu zamedzenia sufózie v okolí jamy.

Zakladanie veže je riešené ako kombinácia plošného a hĺbkového systému, kde na základovú dosku priemernej hrúbky 3 m z betónu triedy C35/45 nadväzuje systém hĺbkových lamíel z vystuženého železobetónu s dĺžkou 17,5 m, lokálne až 20 m. Lamely sú realizované rovnakou technológiou ako podzemné steny, teda drapákom so šírkou 2,8 m a hrúbkou 800 mm. Priestor v ryhe je vyplnený bentonitovou

suspenziou, do ktorej sa vloží vopred vyviazaný kôš betonárskej výstuže. Ten zároveň obsahuje aj betónovacie potrubie, ktorým sa odspodu čerpá betón do lamely spolu so súbežným odčerpávaním bentonitovej zmesi na povrchu. Pracovná plošina pre zhotovenie lamíel bola zhruba 9 m pod úrovňou terénu.

Ako je na prvý pohľad zrejmé z obr. 5, rozmiestnenie lamíel (plnou farbou) kopíruje polohu stien nosného jadra a obvodových stĺpov, výťahové šachty sú podopreté súvislou uzavretou podzemnou stenou a severné stĺpy veže v hornej časti sú založené na obvodovej suterénnej stene pomocou roznášacieho nosníka na výšku prvých dvoch podzemných podlaží. Obvodová suterénna stena, ktorá slúži aj ako dočasné zabezpečenie jamy počas výstavby má hrúbku 800 mm, resp. 1 000 mm. Chýbajúca časť steny naľavo je predmetom susednej etapy zhotovenej v predstihu, na ňu sa suterénom veže sprava napájame.

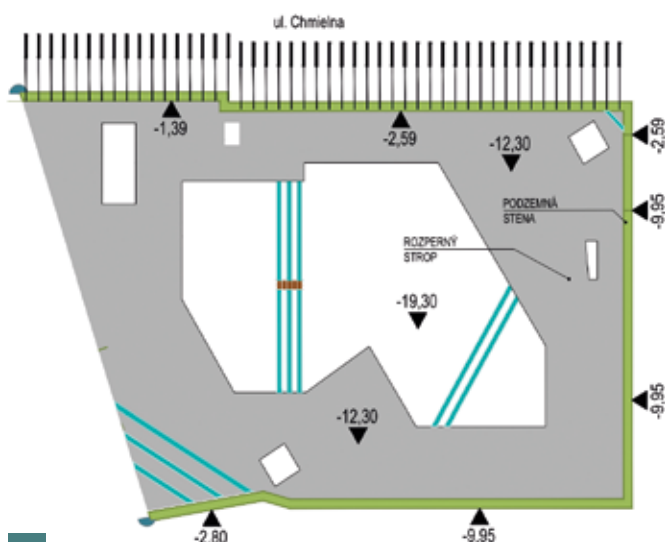
Skelet hornej stavby

Rovnako ako architektúra samotného tvaru budovy a fasády, aj statické riešenie doznalo svojho vývoja a bolo výsledkom niekoľkých diskusií. S určitou istotou sa však dá povedať, že o železobetónovom skelete s obvodovými stĺpmi, stužujúcim jadrom a dodatočne predpäťmi stropnými doskami sa uvažovalo už od samého začiatku projektu.

Najčastejším diskutovaným prvkom budovy bolo práve stužujúce jadro, ktoré zabezpečuje celkovú priestorovú tuhosť veže a z dôvodu projektovej koordinácie súvisiacej s už spomínanými výťahmi a ostatnými profesiami TZB bolo predmetom neustálych zmien. Po jeho

konečnom zadaní sa následne optimalizovali hrúbky jeho stien a taktiež rozmery stĺpov v rasti 8,1 m, ktorých návrh musel okrem iného zohľadňovať aj požiadavky na architektúru fasády. V priebehu navrhovania skeletu sa tiež diskutovalo aj možnosť previazania stužujúcich funkcií jadra a obvodových stĺpov pomocou veľmi tuhej stropnej dosky s veľkou hrúbkou (cca 1 až 2 m), tzv. „outrigger“, na úrovni 43. podlažia. Táto možnosť sa ale neukázala ako efektívna, nakoľko by toto riešenie znamenalo vážne zásahy do využitia vnútorného priestoru a prinieslo by len drobné redukcie v zvislých nosných prvkoch, ďalšie komplikácie by tiež súviseli s už tak tesným harmonogramom výstavby.

Konečné riešenie nosnej konštrukcie teda pozostáva z kompaktného uzavretého jadra so šmykovými stenami s po výške sa meniacimi hrúbkami. Vonkajšie steny jadra začínajú na hrúbke 900 mm a postupne sa zužujú na 800 mm v 3. NP, 650 mm v 13. NP a 500 mm v 30. NP, kde dochádza aj k zásadnej zmene jeho tvaru. Táto hrúbka vonkajších stien „horného jadra“ už zostáva zachovaná až po 48. podlažie, kde sa tvar posledných podlaží mení v zmysle požiadaviek na uloženie technológií. Vnútrné šmykové steny jadra sú hrúbky 300 až 400 mm, ktorá zostáva zachovaná po celej výške budovy. Zmeny v hrúbkach stien boli minimalizované okrem iného aj z dôvodu použitia šplhacieho debnenia. Okrem stien samotného jadra sa na celkovej tuhosti budovy podieľajú aj dve dvojice samostatných stien, tzv. žiletiek, na východnej a západnej strane. Dimenzie obvodových stĺpov vychádzajú okrem návrhu a posúdenia na prenášanie zvislých síl aj



z požiadaviek na dizajn fasády, ktorý požaduje jednotný vonkajší rozmer 1,3 m. U nosných stĺpov bola, resp. bude použitá výstuž z vysokopevnostnej ocele SAS 670 MPa $\varnothing$ 57,5 mm spojovaná objímkami TR 3006 dĺžky 180 mm. Všetky stĺpy a steny jadier sú navrhnuté z triedy betónu C50/60 a na požiaru odolnosť REI 180 v nadzemnej časti a REI 240 v podzemnej časti.

Návrh stropnej dosky typického podlažia

Stropná doska má v hlavných častiach s rozponom 11,8 m hrúbku 250 mm a je riešená ako dodatočne predpätá

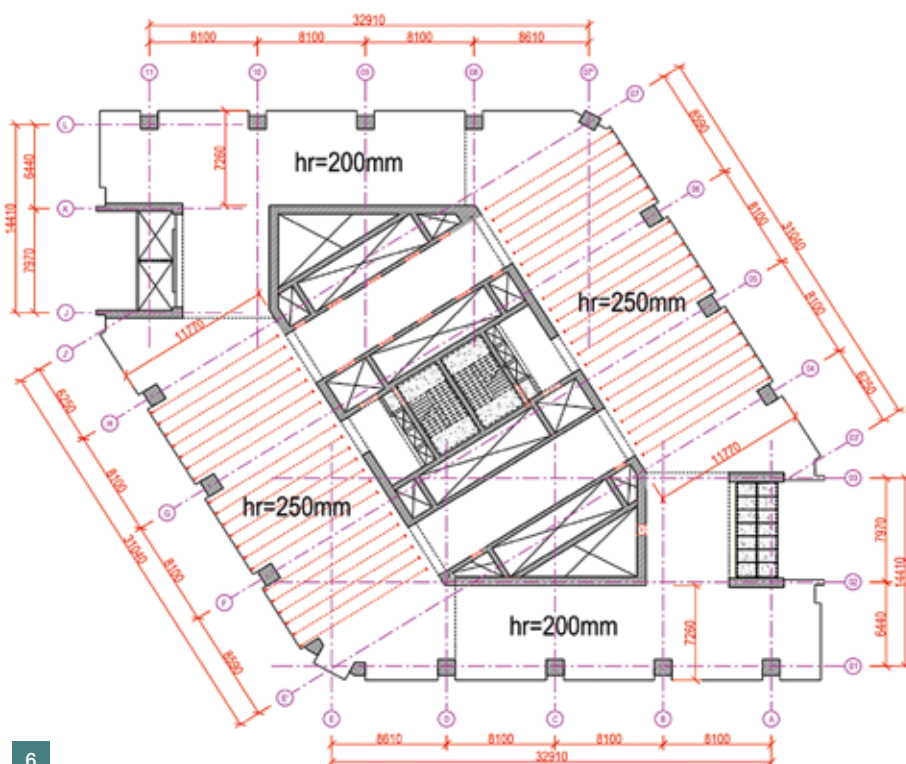
konštrukcia s plochými 4-lanovými multistrand káblami pevnosti 1 860 MPa. Zvyšná časť stropnej dosky s menším rozponom 7,3 m má hrúbku 200 mm a je železobetónová. Trieda betónu dosky je C40/50. (obr. 6)

Predpínanie je realizované len v jednom smere s aktívnou kotvou na obvode, pasívna kotva je umiestnená pri napojení dosky na stenu jadra, avšak nie je s ňou priamo spojená čím sa redukuje tuhosť a tiež veľkosť horného ohybového momentu v danom mieste. Na vonkajšom obvode je doska zosilnená obvodovým nosníkom výšky 750 mm a šírky 500 mm, ktorý sa

4 Schématické znázornenie typického podlažia: a) dolnej časti budovy, b) hornej časti budovy

5 Rozmiestnenie hĺbkových základov pod hlavným objektom veže (zdroj: [2]) 6 Schématické znázornenie stropnej dosky typického podlažia s dodatočným predpätím (zdroj: [2]) 7 Pôdorys rozperného stropu pre zabezpečenie stavebnej jamy na úrovni -12,3 m (zdroj: [2])

4 Scheme of a typical floor: a) low-rise of the building, b) high-rise of the building 5 Positioning of the deep foundations under the main part of the tower (source: [2]) 6 Schematic demonstration of the post-tensioned ceiling slab of a typical floor (source: [2]) 7 Layout of the strutting ceiling to secure the construction pit at the -12.3 m (source: [2])



v prevažnej miere podieľa na prenášaní šmykových síl z dosky do stĺpov a tvorí tiež významný prvok z hľadiska uloženia fasády a jej tolerancií.

POSTUP VÝSTAVBY

Z dôvodu lokálnych obmedzení okolo stavby a tiež vzhľadom na veľkú hĺbku založenia bolo potrebné zvoliť aj netradičný spôsob realizácie suterénov pomocou tzv. podstropovej metódy. Zemné kotvy sa na zabezpečenie jamy dali použiť len z jednej strany, zvyšná časť stien bola preto rozopretá stropom uloženým na dočasných oceľových podperách v kombinácii s použitím oceľových rozpier. Všetky výkopové a betonárske práce sa teda realizujú cez pracovný otvor v rozpernom strope, ktorý bude po dokončení fungovať ako trvalá stropná konštrukcia v treťom podzemnom podlaží. Zvyšok hornej stavby sa bude realizovať klasicky pomocou šplhacieho debne. (obr. 7)



8 Výstavba: a) betónáž podzemnej časti skeletu Varso Tower a susedné budovy, b) druhá najvyššia budova projektu Varso bude mať 21 podlaží, c) projekt Varso v kontexte výškových budov vo Varšave ■ **8** Construction:

a) concreting the underground part of the Varso Tower and the neighbouring building skeleton, b) there will be 21 floors at the second tallest building of the Varso project, c) Varso Tower in context of the other highrise buildings in Warsaw

Literatúra:

- [1] FOSTER+PARTNERS. *Projektová dokumentácia.*
- [2] BURO HAPPOLD. *Projektová dokumentácia.*

Vizualizácie a fotografie: HB Reavis

Výstavbu je možné sledovať on-line na <https://www.youtube.com/watch?v=WRvDA9ABc7c>

ZÁVER

Základová doska Varso Tower bola vybetónovaná v októbri 2018 a v súčasnej chvíli je už podzemný skelet blízko úrovne terénu. U dvoch susedných budov (Varso 1 a Varso 2) už prebiehajú betónáže ich nadzemných častí a zároveň s tým sa už začína aj s inštaláciou fasádnych prvkov.

Investor	HB Reavis Group
Architektonický návrh	Foster+Partners
Architektonicko-stavebná časť	Epstein
Technická časť statiky	Matejko & Wesoly Biuro Projektowe
Audít statiky	BWL-Projekt
Technická časť TZB	BuroHappold

Pozn.: Táto tabuľka sa týka budovy Varso Tower.

Ing. arch. Marcin Chruslinski
HB Reavis Poland Sp.z o.o.
marcin.chruslinski@hbreavis.com



Ing. Peter Rozložník, PhD.
HB Reavis Group s. r. o.
peter.rozloznik@hbreavis.com

