

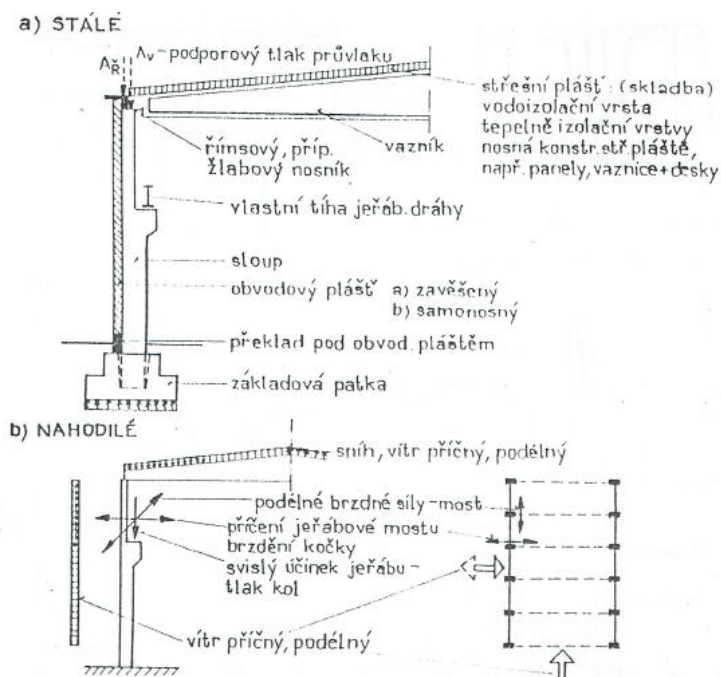
VYZTUŽOVÁNÍ PORUCHOVÝCH OBLASTÍ ŽELEZOBETONOVÉ KONSTRUKCE: ŽELEZOBETONOVÝ PREFABRIKOVANÝ SLOUP – NÁVRH ZÁKLADOVÉ KALICHOVÉ PATKY



Projekt: Vyztužování poruchových oblastí železobetonové konstrukce
Dílčí část: Železobetonový prefabrikovaný sloup – návrh základové kalichové patky
Vypracoval: Ing. Ondřej Slabý a kolektiv
ČVUT v Praze, Fakulta stavební
Katedra betonových a zděných konstrukcí
Thákurova 7, Praha 6 - Dejvice
Podpora: Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy České republiky
Karmelitská 529/5, 118 12 Praha 1
Datum: 2017

1 Úvod

Prefabrikované železobetonové sloupy jsou jedním ze základních konstrukčních prvků prefabrikovaných staveb, především pak montovaných hal. Hlavním úkolem sloupů je přenos zatížení ve svislém směru, doplňkově pak sil horizontálních. Příkladem zatížení působícího na sloup může být i) proměnné zatížení od větru či sněhu, ii) stálé zatížení od obvodového pláště, iii) stálé zatížení od střešního pláště a vazníku haly, iv) zatížení silami od účinku jeřábové dráhy.



Obr. 1 Příklady zatížení haly [1]

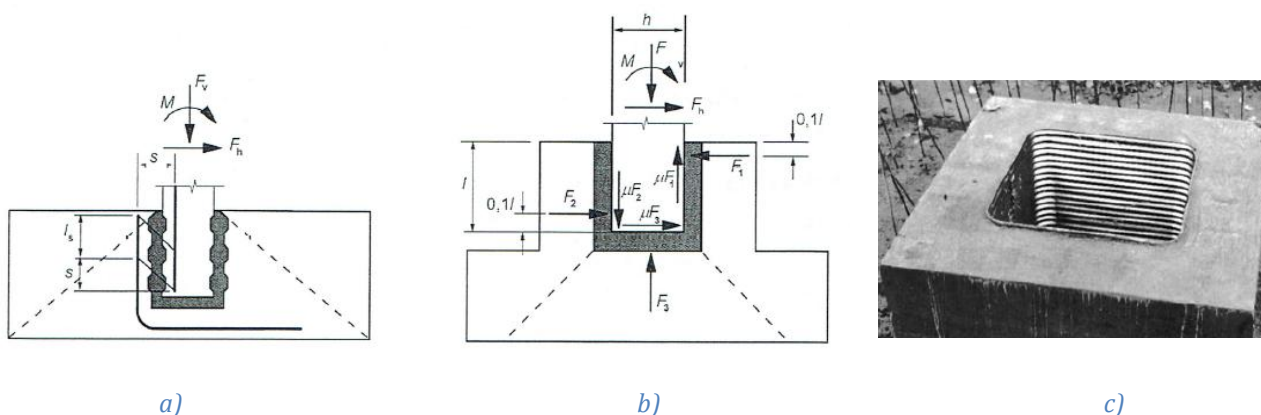
Sloupy jsou nejčastěji ukládány do železobetonových základových patek, uložení je možné realizovat jako „vetknuté“ nebo „kloubové“. Po výšce prvku sloup bývá často doplněn o krátké konzoly sloužící například pro uložení dráhy jeřábu či jiné požadované vybavení haly. Hlava sloupu pak bývá vhodně ukončena pro následné napojení zbylých konstrukčních prvků haly – střešních vazníků či průvlaků.

V rámci této dílčí části je problematika podrobněji zaměřena na:

- I) uložení prefabrikovaného sloupu do základové kalichové patky – způsoby provedení a problematika výpočtu
- II) uložení střešních vazníků na sloup – způsoby provedení a problematika výpočtu

2 Prefabrikované základové patky

Prefabrikované základové patky se využívají především u montovaných objektů. Výhodou je urychlení výstavby objektu, zjednodušení stavebních prací přímo na stavbě, kvalita provedení a též úspora nákladů. Patky se realizují v různých půdorysných tvarech a průřezích. Musí být schopny přenést veškeré zatížení působící ze sloupu do patky/základu – svislou sílu, vodorovnou sílu a ohybový moment. Pro uložení prefabrikovaných sloupů se navrhuje v zásadě patky s prohlubní (kalichem) – prohlubeň v základovém bloku (obr. 2 a) nebo dvoustupňové patky označované často jako kalichové patky (obr. 2 b). Prohlubně v patkách pro usazení sloupu se realizují s hladkým nebo zazubeným vnitřním povrchem – viz obr. 2. Pokud jsou prohlubně záměrně tvarované či zazubené považuje se styk za monoliticky působící se sloupem, resp. zazubení rozhoduje o velikosti smykové plochy. Sloupy jsou v místě, resp. po uvažované výšce usazení do prohlubně patky upraveny též profilováním/zdrsněním pro zajištění spolupůsobení.



a)

b)

c)

Obr. 2 Rozdíl působení kalichových patek – a) se zazubeným povrchem [2], b) s hladkým povrchem [2], c) patka s vnitřní úpravou ocelovým vlnitým plechem [3]

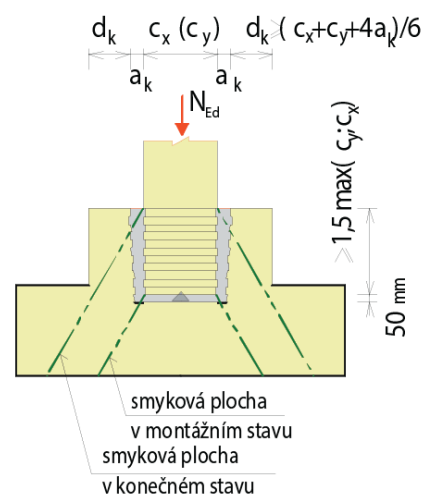
2.1 Montáž sloupů do základových patek s prohlubní (kalichem)

Samotná montáž prefabrikovaných sloupů do kalichových patek je poměrně jednoduchá. Osazovaný sloup se v první řadě zkontroluje a očistí v oblasti, která bude v kalichové patce usazena. Kalichová patka se též očistí od případných nečistot a provede se na dně kalichu maltové lože cca tl. 50 mm nebo tloušťky dle předepsané projektové dokumentace. Sloup se následně upne do závěsů a zdvihacím zařízením se usadí na požadované místo – do kalichu patky. Po usazení sloupu se provede kontrola svislosti a přesnosti osazení. Stabilizace sloupu v patce se provede pomocí dřevěných klínů a následně se provede zalití prostoru mezi kalichem a sloupem zálivkou.

2.2 Základní návrh rozměrů patky

Při koncepčním návrhu nosných konstrukcí, a to včetně základových konstrukcí, je často nutné znát základní rozměry prvků. Při návrhu jednotlivých rozměrů patky sloupu se doporučuje vycházet minimálně z níže uvedených zásad:

- půdorysný rozměr dna kalichu – min. o 50 mm větší rozměr než příslušný rozměr c_x, c_y průřezu sloupu – $c_x (c_y) + 2a_k$
- půdorysný rozměr horního líce kalichu – min. o 75 mm větší rozměr než příslušný rozměr c_x, c_y průřezu sloupu, pokud jsou vnitřní stěny kalichu navrženy se sklonem (příčměž sklon stěn kalichu nemá být menší než 1:20)
- tloušťka stěn prohlubně (kalichu) je dostatečná pokud je splněna podmínka $d_k \geq (c_x + c_y + 4a_k) / 6$ nebo $d_k \geq 0,5 \max(c_x; c_y)$
U kónických stěn s malým zešikmením (do 10%) lze uvažovat jako rozhodující rozměry stěn hodnoty v poloviční výšce
- hloubka zapuštění sloupu do kalichu patky – min. 1,5x max. $(c_x; c_y)$, přičemž minimální hloubka prohlubně je 500 mm
- hloubka kalichu – min. o 50 mm větší, než je hloubka zapuštění sloupu do kalichu
- tloušťka dna pod kalichem min. 200 mm (pokud z výpočtu nevychází větší)
- rozměr základové desky patky vychází z minimální velikosti dané geologickým profilem, resp. únosností základové půdy pod základovou konstrukcí



Obr. 3 Schéma základové patky [4]

Pro zajištění spolupůsobení stěn se sloupem je nutné splnit následující podmínky:

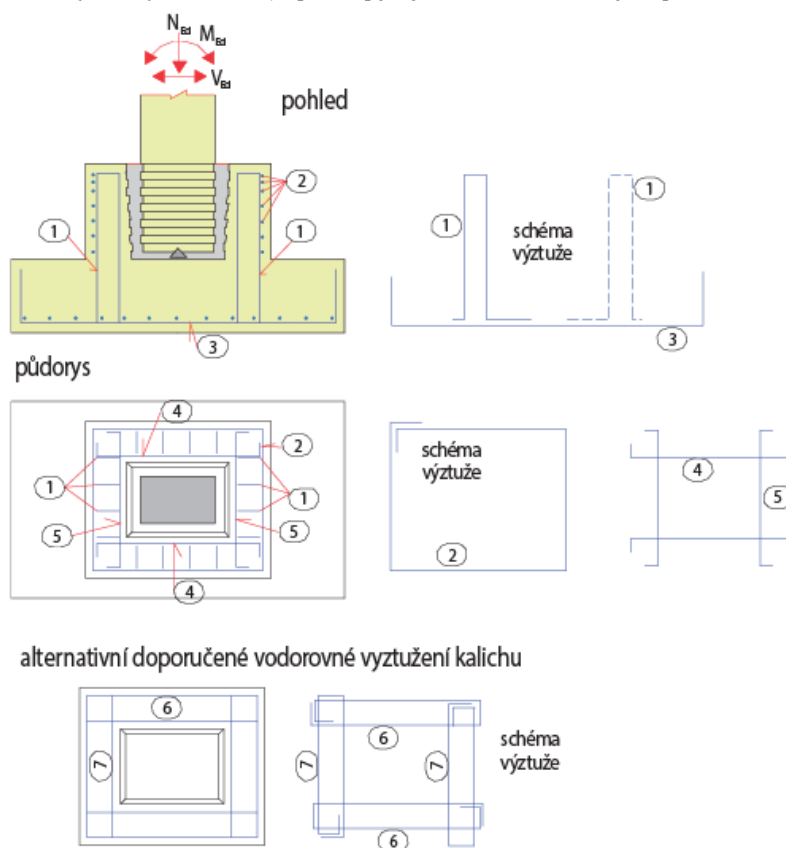
- hloubka prohlubně patky – min. $1,5x$ max. $(c_x; c_y)$, přičemž minimální hloubka prohlubně je 500 mm; pokud je excentricita zatížení větší než 2,5 ($e/c > 2,5$) (c_x resp. c_y podle vyšetřovaného směru; $e=M/N$), je nutné hloubku prohlubně zvětšit v poměru $e/(2,5c)$ (c_x , resp. c_y podle vyšetřovaného směru)
- dostatečné zazubení vnitřního líce stěn prohlubně a líce sloupu – hloubka zazubení je nejméně 15 mm a šířka ozubů (vzdálenost mezi ozuby) je menší než čtyřnásobek jejich hloubky, minimálně však 15 mm
- šířka spáry a_k mezi sloupem a vnitřním lícem stěn prohlubně je větší než 50 až 70 mm
- pevnost zálivkového betonu min. C 20/25, pro silně vyztužené sloupy ($\rho_c = 4\%$) pak nejméně C 30/37

Pokud jsou výše uvedené podmínky splněny, je možné patku posuzovat jako monolitickou (obr. 2 a), pokud však podmínky splněny nejsou, je nutné přenos sil posoudit podle EN 1992-1-1 jako patku s hladkými stěnami prohlubně (obr. 2 b).

Při posuzování patky sloupu je vždy nutné provést posouzení protlačení a to i) v montážním stavu, kdy vzdoruje zatížení pouze dolní deska pod kalichem a ii) v konečném stavu, kdy působí celá patka.

2.3 Základní uspořádání výztuže patky

Uvedený schematický obrázek (obr. 4) znázorňuje principy vyztužení základových patek



Obr. 4 Principy vyztužení kalichové patky se zdrsněným lícem prohlubně sloupu [4]

Návrh jednotlivé výztuže patky se určí výpočtem.

Profil vodorovné výztuže (2) patky nesmí být menší než 6 mm nebo $\frac{1}{4}$ jmenovitého průměru svislé výztuže (1).

Při menších hodnotách výstřednosti - $e/(c_x; c_y) \leq 2$ či při slabší výztuži kalichu ($d_s < 10$ mm) postačuje svislou i vodorovnou výztuž umístit pouze při vnějším povrchu kalichu.

Při větších výstřednostech - $e/(c_x;c_y) > 2$ je nutné svislou i vodorovnou výztuž umístit k oběma povrchům.

2.4 Návrh výztuže patky

Podrobný návrh výztuže patky je možné realizovat několika metodami. Níže jsou uvedeny odkazy na literaturu, kde je problematika návrhu výztuže podrobně popsána a vysvětlena.

Literatura [4] vysvětluje problematiku návrhu výztuže s použitím modelů náhradní příhradoviny. Literatura [5] popisuje návrh a posouzení kalichových patek pomocí jednotlivých mezních stavů porušení. Literatura [6] uvádí princip návrhu a posouzení pomocí rozložení sil působících ve sloupu do jednotlivých reakcí působících na stěny a dno patky.

Další možností návrhu a posouzení patky je užití softwarových programů. Vzhledem k náročnosti a množství vstupních proměnných výpočtu (jednotlivých dimenzí patky – stěny, hloubka uložení, velikost základové desky; geologickému profilu či optimalizaci tvaru patky s ohledem na výrobní náklady a hmotnost přepravovaného patky) je výhodné využít výpočetní software. Jednou z možností je software 4H-FUND zaměřený přímo na návrh patek a kalichových patek či software od společnosti Fine – GEO5 Patky. Další dostupnou variantou pro studenty je statický software Dlubal RFEM s přídatným modulem RF-FUNDATION Pro určený přímo pro návrh a posouzení patek a kalichových patek. V rámci navazující kapitoly je uveden příklad výpočtu právě pomocí tohoto softwaru.

V každém případě je nutné výstupy z výpočetních softwaru ověřit vhodnou metodou například z výše uvedeného výčtu literatury.

2.5 Příklad návrhu patky

Navrhnete rozměry a vyztužení patky pro prefabrikovaný sloup čtvercového rozměru o hraně 300 mm, který je zatížen v patě ohybovým momentem $M_d = 50$ kNm a svislou silou $N_d = 1000$ kN. Sloup je vyroben z betonu C 35/45 a je vysoký 5 m, základová patka bude vyrobena z betonu C 25/30.

2.5.1 Návrh rozměrů patky

Patka bude navržena jako kalichová s vnitřním zazubeným povrchem, níže jsou uvedeny předpokládané minimální rozměry základové patky pro zadaný sloup a zatížení tak, aby patku bylo možné považovat za monolitickou.

- a) Půdorysný rozměr dna kalichu

$$c_x + 2a_k = 300 + 2 \cdot 50 = 400 \text{ mm}, c_y + 2a_k = 300 + 2 \cdot 50 = 400 \text{ mm}$$

- b) Hloubka zapuštění sloupu do kalichu patky

$$1,5 \cdot \max(c_x; c_y) = 1,5 \cdot \max(300; 300) = 450 \text{ mm}$$

pokud je excentricita zatížení je menší než 2,5 ($e/c > 2,5$) - není nutné dále hloubku uložení navyšovat

- c) Půdorysný rozměr horního líce kalichu

Stěny kalichu jsou navrženy s doporučeným sklonem 1:20

$$c_x + 2a_k = 300 + 2 \cdot 75 = 450 \text{ mm}, c_y + 2a_k = 300 + 2 \cdot 75 = 450 \text{ mm}$$

- d) Tloušťka stěn prohlubně (kalichu), podmínky:

$$d_k \geq (c_x + c_y + 4a_k) / 6 = (300 + 300 + 4 \cdot 50) / 6 = 133 \text{ mm}$$

$$d_k \geq 0,5 \max(c_x; c_y) = 0,5 \max(300; 300) = 150 \text{ mm}$$

- e) Hloubka kalichu – min. o 50 mm větší, než je hloubka zapuštění sloupu

- f) tloušťka dna pod kalichem min. 200 mm








2.5.2 Návrh a výpočet pomocí softwaru Dlubal RFEM

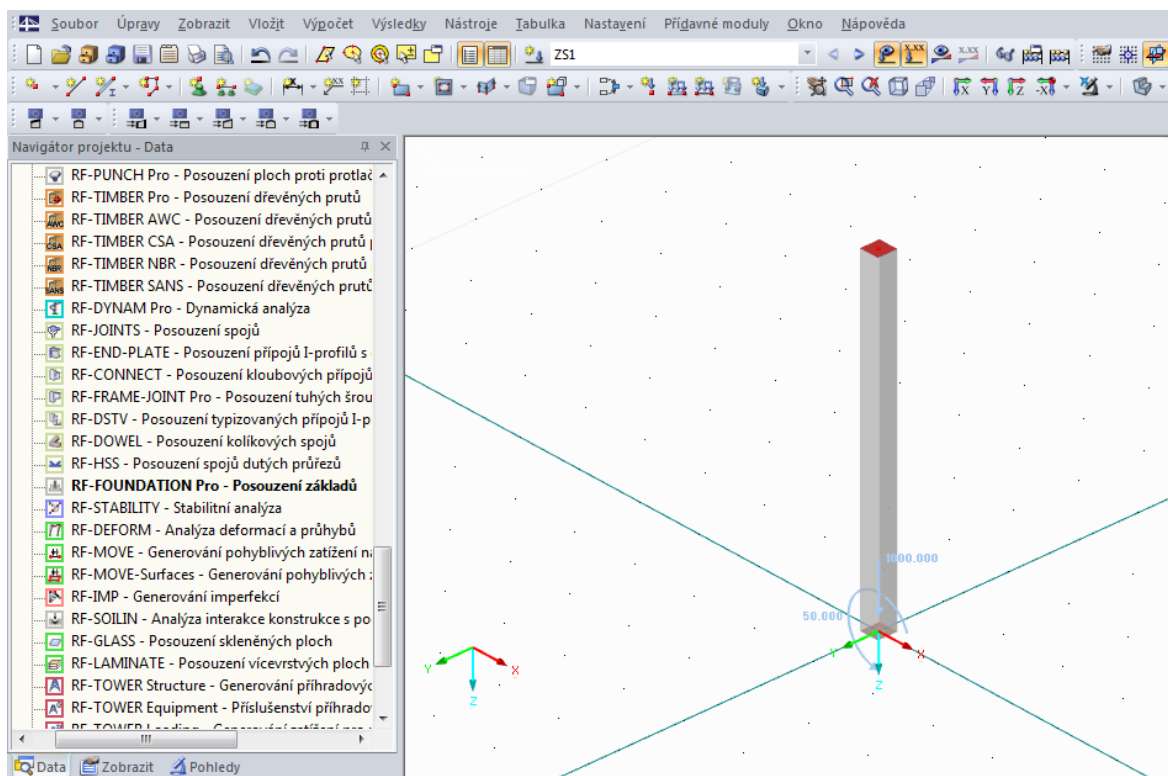
V rámci návrhu a posouzení patky je jednoduše v několika krocích uveden postup vytvoření modelu a výpočtu v programu Dlubal RFEM. Kompletní informace a podrobné návody je možné získat z manuálů na stránkách společnosti Dlubal.

Model konstrukce

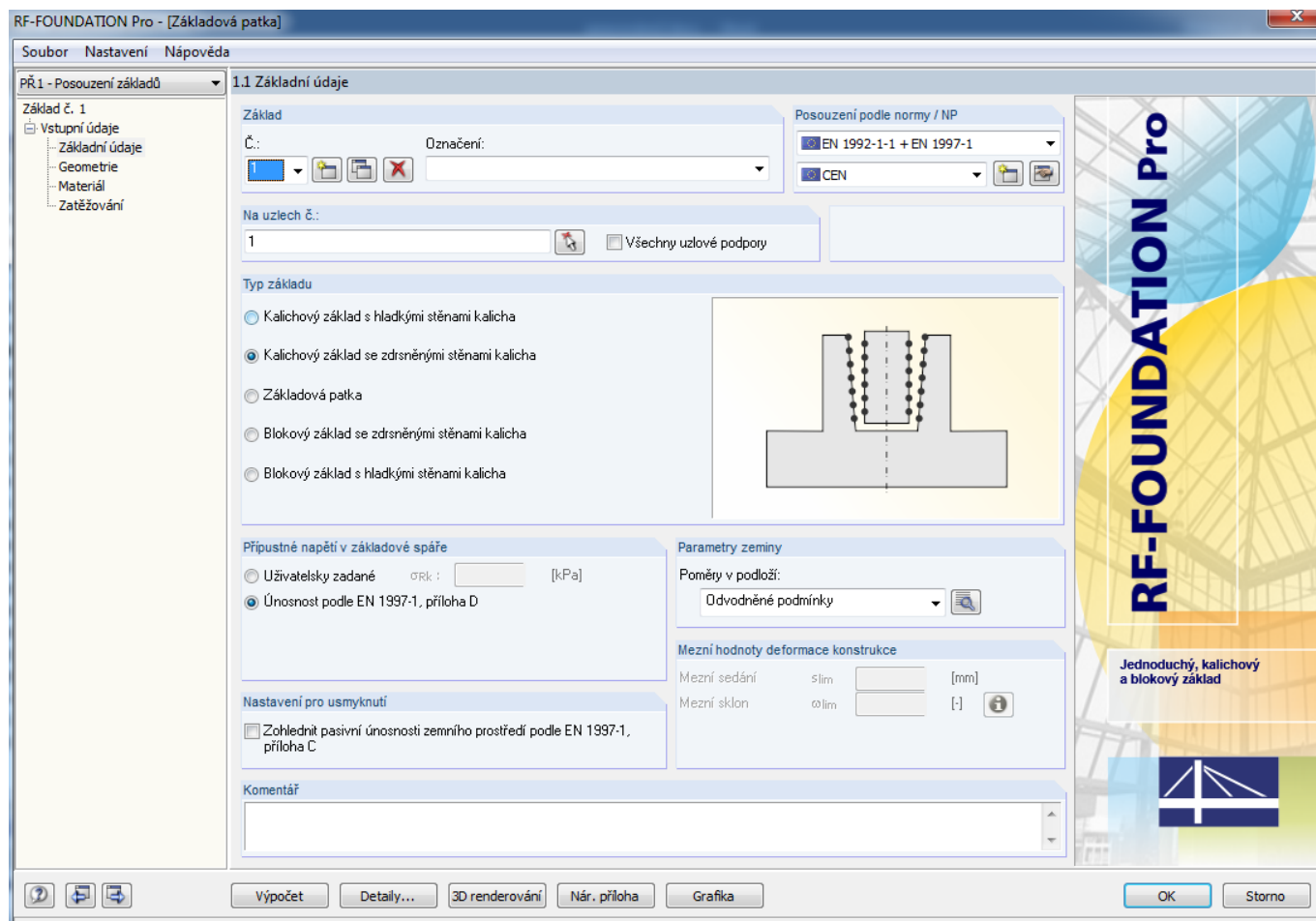
Po spuštění programu Dlubal RFEM v prvním kroku vytvoříme nový model – v dialogovém okně Nový model – základní údaje vyplníme potřebné údaje. Po vytvoření nového modelu přistoupíme k realizaci samotného výpočtového modelu.


V první řadě se pomocí tlačítka nový uzel  nadefinuje počáteční a koncový bod uvažovaného železobetonového sloupu. V dalším kroku se pomocí tlačítka nový prut jednotlivě  nadefinuje požadovaný průřez sloupu, jeho materiál a určí se, mezi kterými uzly má být prvek vytvořen. Vytvořený sloup je následně nutné pomocí tlačítka nová uzlová podpora  podepřít.

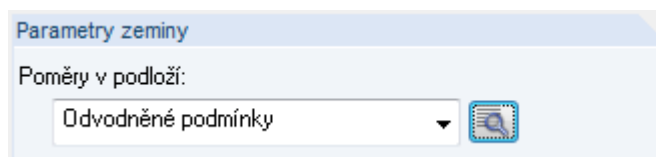
Takto vytvořenou konstrukci je dále nutné zatížit požadovaným zatížením. V první řadě se pomocí tlačítka nový zatěžovací stav  se v nové dialogovém okně nadefinuje požadovaný zatěžovací stav, v rámci něhož bude na konstrukci umístěno zatížení. Je samozřejmě možné při složitějších výpočtech, či více druhích zatížení nadefinovat i více zatěžovacích stavů a jejich kombinací. Zatížení na konstrukci zadá tlačítkem nové zatížení , v našem případě zatížení na uzel. V dialogovém okně se dle znázorněného schématu nadefinuje nové uzlové zatížení.



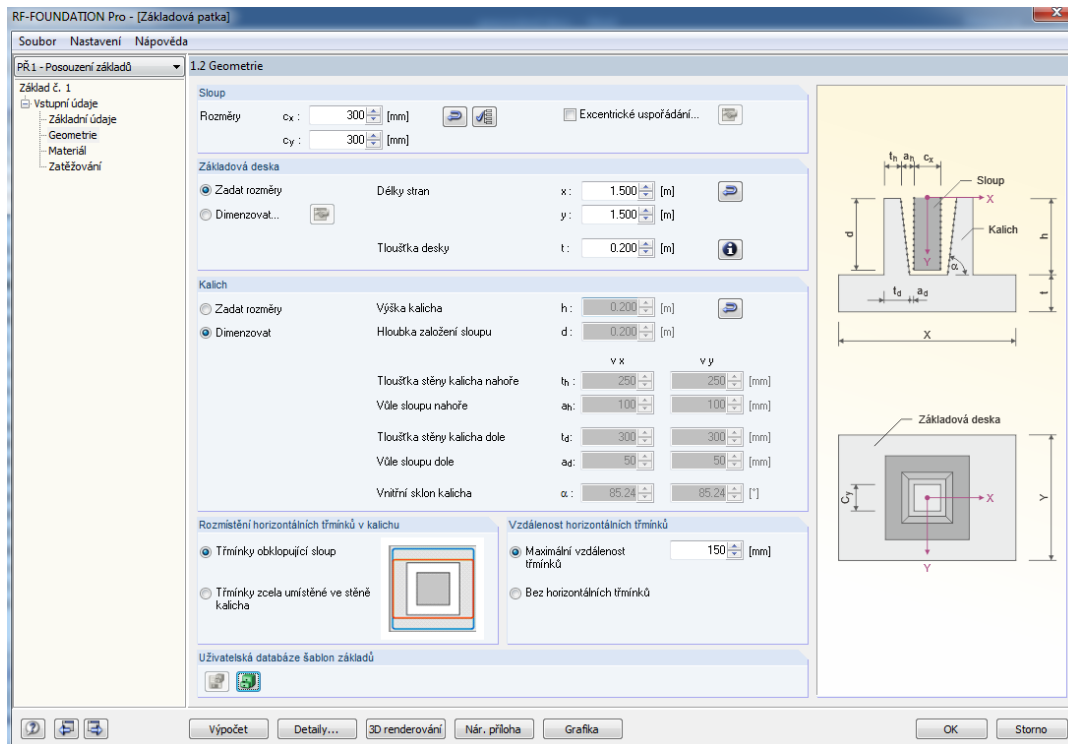
Takto vytvořená konstrukce je připravena k využití výpočtu základové patky pomocí přídatného modulu RF-FUNDATION Pro.



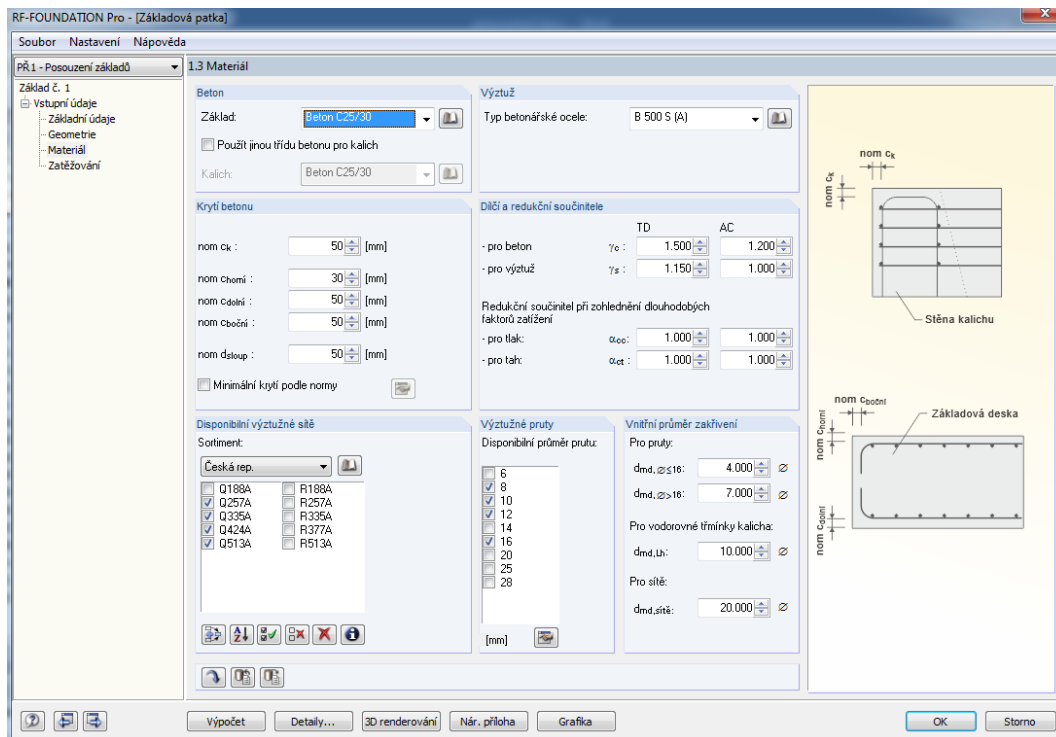
V dialogovém okně **základních údajů** vybereme uzel, ve kterém bude patka umístěna a dále zvolíme uvažovaný typ základu. V neposlední řadě je nutné pomocí tlačítka  zadat parametry zeminy/podloží.



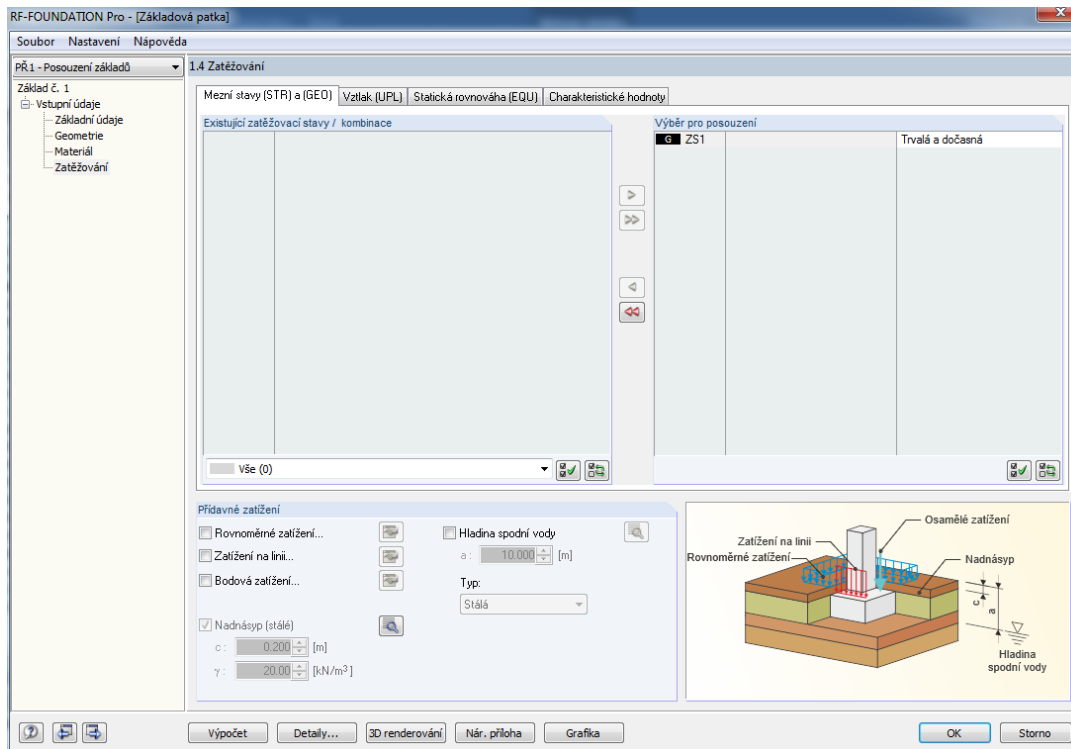
V dialogovém okně **geometrie** zadáme i) rozměry sloupu, ii) geometrii základové desky, iii) geometrii kalichu a iv) uspořádání výztuže. Geometrii základové desky a geometrii kalichu je možné nechat dimenzovat programem.



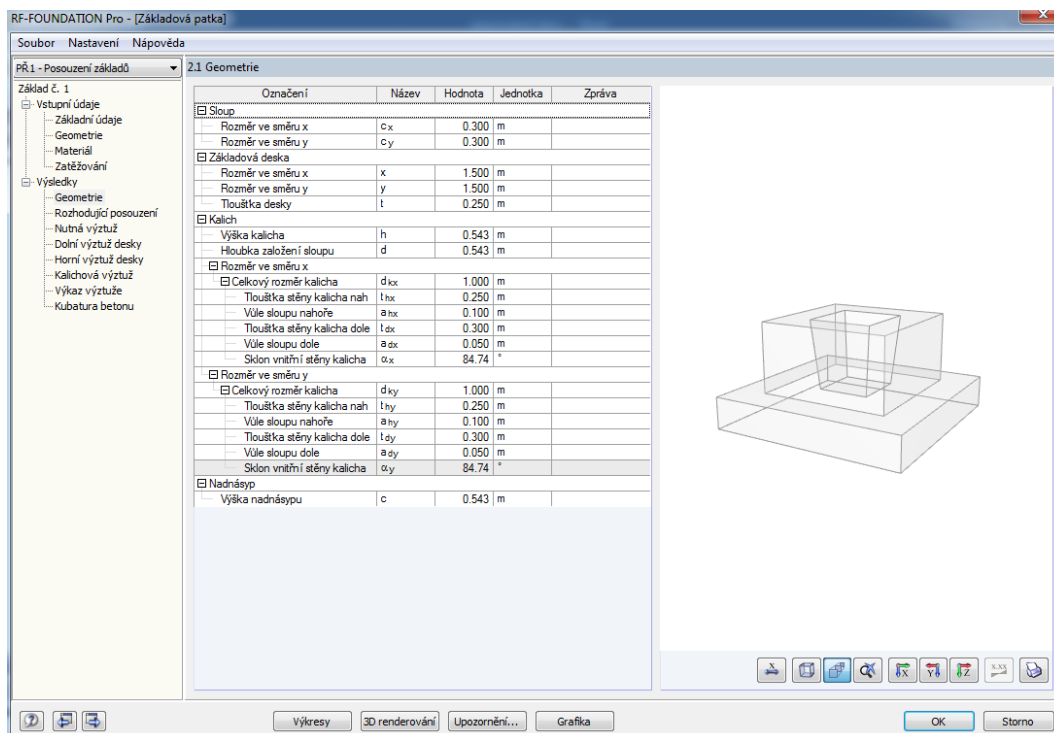
V dialogovém okně **materiál** zadáme potřebné údaje o materiálu beton a výztuž.



V dialogovém okně **zatěžování** je nutné pro jednotlivé zatěžovací stavy nebo kombinace přidat do výběru pro posouzení jednotlivých případů. V dialogovém okně je zároveň možné definovat další přídatná zatížení.

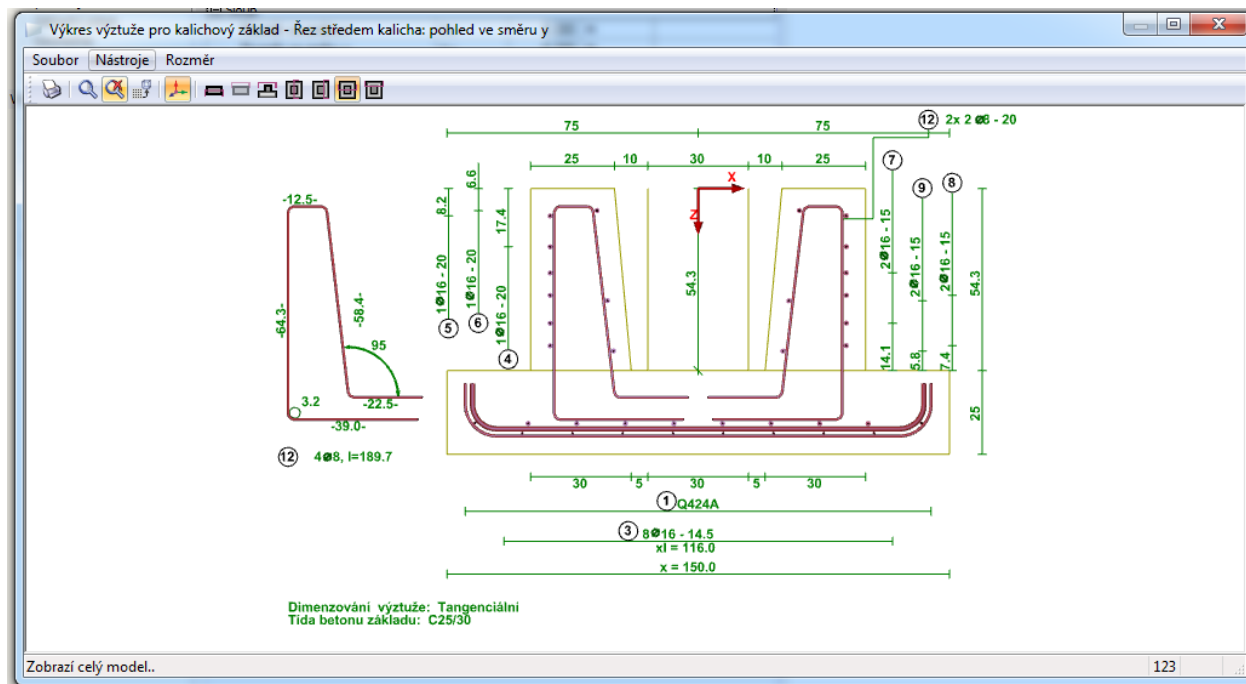


Po vyplnění všech potřebných parametrů výpočtu je možné provést samotný výpočet základové patky – tlačítko **výpočet**. Po provedení výpočtu se v levém sloupci okna vytvoří karta výsledků, kde je možné zobrazit požadované výstupy – příklad na obrázku níže – navržené geometrie a vizualizace patky.

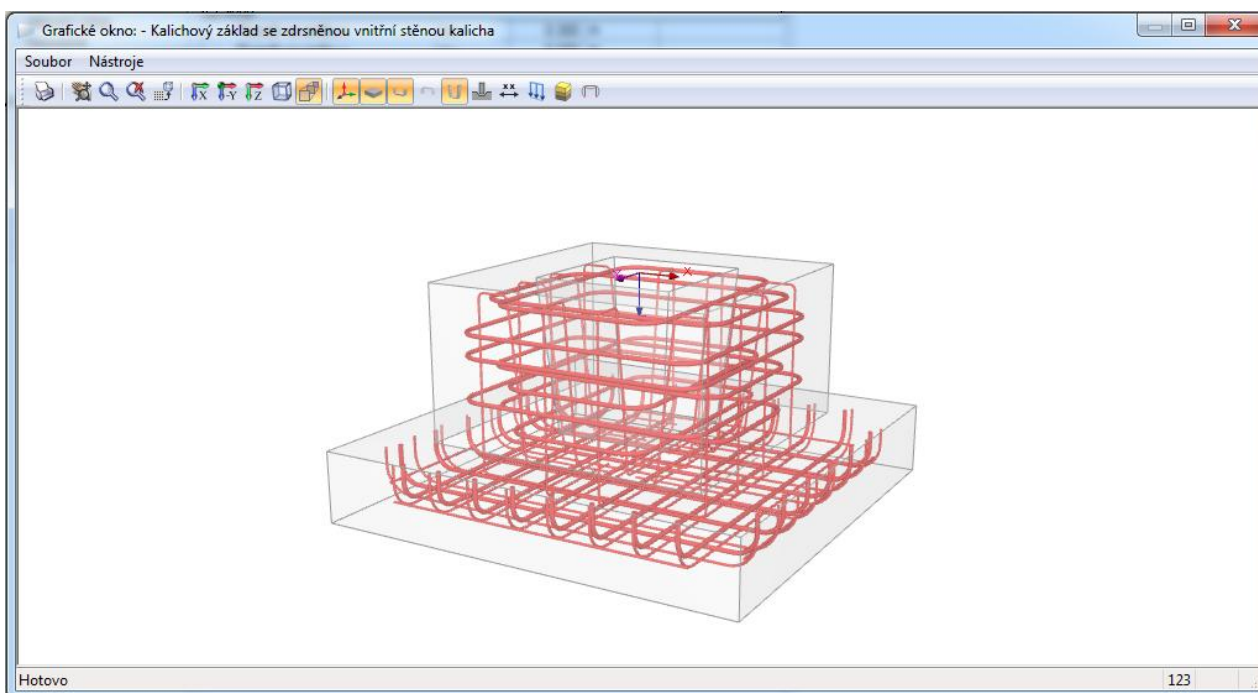


V dalších kartách výsledků jsou uvedeny i) posouzení patky, ii) výztuže desky a kalichu a iii) výkazy materiálů – výztuže a betonu. V rámci výsledků je nutné věnovat pozornost kartě Rozhodující posouzení a zkontrolovat, že navržená patka vyhovuje ve všech posouzeních.

V rámci výsledků je možné dále pomocí i) tlačítka **Výkresy** zobrazit výkresy vyztužení patky – viz grafický výstup níže



a ii) pomocí tlačítka **3D renderování** zobrazit render celé patky včetně vyztužení

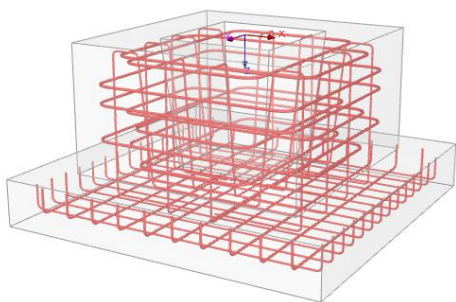
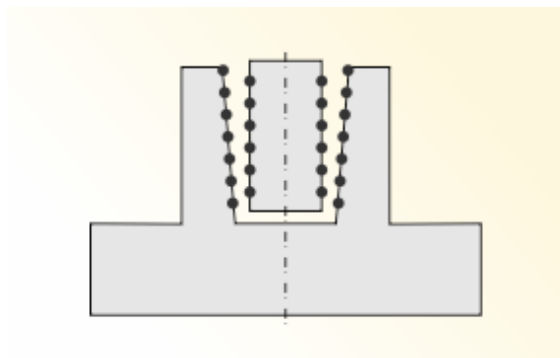


Při návrhu patky je dobré se zároveň zamyslet nad ekonomikou celého návrhu, resp. porovnat různé varianty možného způsobu provedení patek. Níže je uvedeno porovnání návrhu patky pro stejný sloup a zatížení, avšak v případě i) je patka provedena jako kalichový základ se zdrsněnými stěnami kalichu a v případě ii) je základ proveden jako blokový základ se zdrsněnými stěnami kalichu.

Návrh patky pro sloup rozměru 300 x 300 mm zatížený $N=700\text{kN}$ a $M=40\text{kNm}$

Případ i)

Kalichový základ se zdrsněnými stěnami kalichu

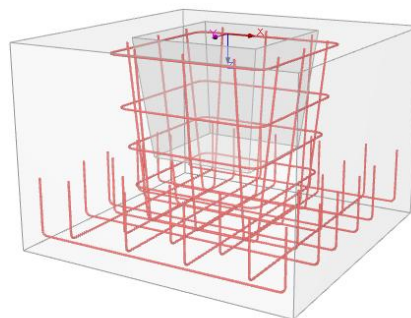
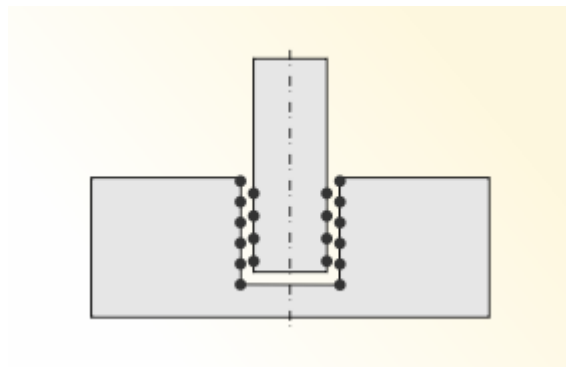


Celková hmotnost oceli: 58,25 kg

Kubatura betonu celkem: 0,82 m³

Případ ii)

Blokový základ se zdrsněnými stěnami kalichu



Celková hmotnost oceli: 17,1 kg

Kubatura betonu celkem: 0,84 m³

Z návrhu je patrné, že pro případ i) vychází vyšší spotřeba oceli pro vyztužení oproti případu ii), kubatury betonu jsou téměř srovnatelné. Z pohledu výrobních nákladů, však patka případ i) bude výrazně dražší, a to především z pohledu náročnosti na bednění a pracnosti uložení výztuže.

Je tedy dobré se již ve fázi návrhu věnovat problematice náročnosti výroby a výši výrobních nákladů. Vždy však záleží na konkrétním případě, konkrétních základových podmínkách a možnostech realizace.

4 Literatura

- [1] Podklady poskytnuté k dané problematice p. prof. Jaroslavem Procházkou. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra betonových a zděných konstrukcí.
- [2] ČSN EN 1992-1-1 (731201). Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [3] BACHMANN, Hubert. a Alfred. STEINLE. *Precast concrete structures*. Berlin: John Wiley, c2011. ISBN 978-3-433-02960-2.
- [4] ŠMEJKAL, Jiří a Jaroslav PROCHÁZKA. NAVRHOVÁNÍ ZÁKLADOVÝCH KONSTRUKCÍ S POUŽITÍM MODELŮ NÁHRADNÍ PŘÍHRADOVINY. *Beton TKS*. 2011, **2011**(2), 76-86.
- [5] ZICH, Miloš. *VYBRANÉ STATĚ Z NOSNÝCH KONSTRUKCÍ* [online]. Brno, 2006, , 24-34 [cit. 2017-10-05]. Dostupné z: <http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BL13-Vybrane%20state%20z%20nosnich%20konstrukci/Betonove%20zaklady%20I.pdf>
- [6] *Structural precast concrete handbook*. 2nd ed. Singapore: Building and Construction Authority, 2001. ISBN 98-104-3609-2.
- [7] Podklady poskytnuté k dané problematice doc. Jitkou Vaškovou (v rámci přednášek předmětu BK02) České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra betonových a zděných konstrukcí. Dále pak podklady od Ing. Jaroslava Hejla a společnosti STATIKA Čížek s.r.o.

*Dokument smí kdokoliv bez omezení využívat pro vlastní potřebu (sebevzdělávání). Autor si však nepřeje, aby byl dokument jako celek nebo jeho části jakýmkoliv způsobem využíván pro veřejnou prezentaci. **Zakázáno je zejména neautorizované použití pro jakékoliv kurzy komerčního i nekomerčního charakteru, včetně interních firemních kurzů a školní výuky.***

