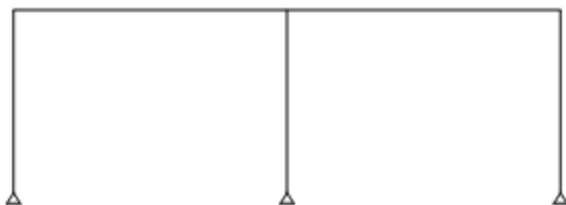




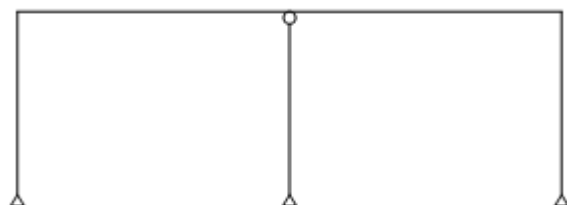
## Interakce ocelové konstrukce s podložím

### 1. Úvod

Nejrozšířenějšími pozemními konstrukcemi užívanými za účelem průmyslové výroby jsou ocelové haly. Základní nosné prvky těchto hal jsou příčné vazby, ztužidla a základy. Konstrukce využívané pro průmyslovou výrobu a manipulaci těžkých součástí (mostárny, sklady) bývají často doplněny jeřábovou dráhou s pohyblivým jeřábem. Základními prvky rámové příčné vazby jsou vodorovná příčle a svislé sloupy. Konstrukce sloupu a příčle příčné vazby závisí na zatížení a rozpětí. Rozlišuje se mezi prvky plnostěnnými nebo příhradovými. V současnosti je snaha o návrh plnostěnných profilů, jelikož jejich nižší cena výroby a montáže převládá nad estetickým dojmem příhradové konstrukce. Běžná rozpětí rámu se přitom pohybují okolo 20 – 30 m. Obvyklá statická schémata rámu příčných vazeb jsou zobrazena na obrázcích níže.



Obr. 1: Dvojpodnní rám, tuhé styčníky



Obr. 2: Dvojpodnní rám s kyvnou stojkou



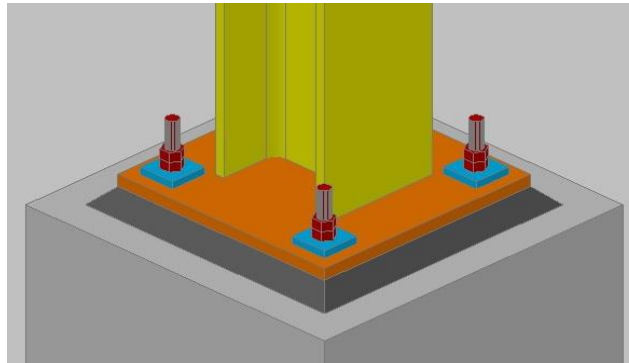
Obr. 3: Jednolodnní rám, tuhé styčníky



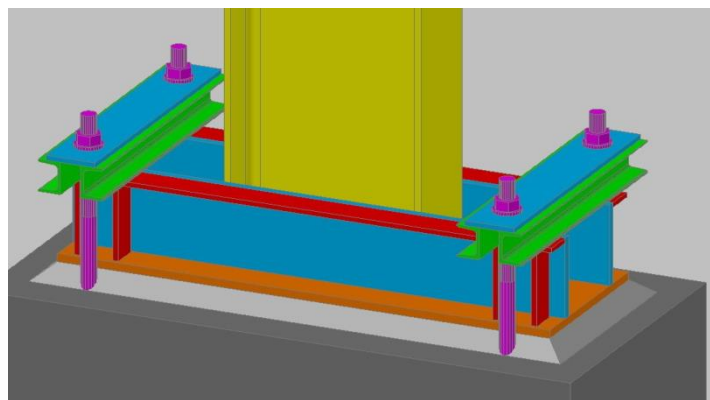
Obr. 4: Rám s kloubovým vazníkem

Výhodou konstrukce dvojpodnního rámu s tuhými styčníky na obr. 1 je celková tuhost a snížení momentového namáhání příčle vlivem tuhého styčníku mezi prostředním sloupem a příčlí. Tento styčník je však složitým detailem zvyšujícím nároky na výrobu konstrukce. Prostřední sloup může být také proveden jako kyvná stojka. Tato konstrukce má však nižší vodorovnou tuhost a vyšší ohybové namáhání příčle v místech kyvné stojky od nesymetrického zatížení. Jednolodnní rám s tuhými styčníky na velká rozpětí, viz obr. 3, je necitlivý na pokles podpor, nicméně je potřeba zajistit přenos vysokého ohybového namáhání z příčle do sloupu, což představuje správné navržení a výrobu detailu rámových rohů. Rám s kloubovým vazníkem na obr. 4 je rovněž necitlivý na pokles podpor, nemá žádné rámové rohy, ale jeho sloupy jsou vetknuté do základů. Toto vetknutí vyžaduje jeho pracný návrh a montáž, možné natočení základu má navíc za následek zvýšené namáhání ocelové konstrukce a základové poměry jsou často rozhodujícím faktorem pro její spolehlivý návrh. Jako běžný způsob založení sloupů ocelové konstrukce dnes převládá kloubová patka sloupu spočívající na betonové základové patce, viz obr. 5. Ve srovnání s patkou vetknutou, viz obr. 6, je její pracnost výroby a montáže nižší a natočení základu téměř neovlivňuje namáhání konstrukce. Pakliže je ale rám založen na kloubové patce, je jeho konstrukce ve většině případů náchylná na rozdíl

svislého sedání sloupů během jeho životnosti, což má za následek zvýšení jeho ohybového namáhání.



Obr. 5: Klobková patka sloupu ocelové konstrukce rámu



Obr. 6: Vetknutá patka sloupu ocelové konstrukce rámu

Z výše uvedeného vyplývá, že sednutí a natočení základu staticky neurčité konstrukce ovlivňuje její namáhání. Toto platí především pro staticky neurčité rámové konstrukce. Tato interakce ocelové konstrukce s podložím bývá často při jejím návrhu ze strany projektantů opomíjena a může mít zejména při jejím založení v rozdílných základových poměrech významný vliv na přerozdělení vnitřních sil během její životnosti. Přerozdělení namáhání může vést k nadměrnému zatížení rámových rohů, přípojů a důležitých detailů konstrukce, které nejsou na toto dodatečné přitížení dostatečně dimenzovány. U průmyslových hal s jeřábovými dráhami může vyšší míra nerovnoměrného sedání způsobit rychlejší opotřebení kolejnic, ojíždění náolků a přičení mostu jeřábu. Z těchto důvodů je třeba při návrhu ocelové konstrukce vyšetřit i její interakci s podložím. Geologický profil zemin pod základem lze v ideálním případě získat pomocí inženýrsko-geologického vrtu vystrojeného v místě staveniště, pro předběžný návrh a posouzení často pomocí geologické mapy.

## 2. Vliv nerovnoměrného sednutí základu na ocelovou rámovou konstrukci

Zatížení základové spáry svislým provozním zatížením vyvolává svislé deformace základové půdy-sedání. Hodnota sedání je veličina závislá na čase a skládá se s těchto složek:

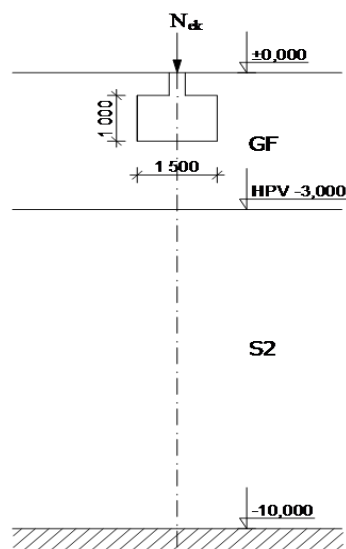
$$s = s_i + s_c + s_s ,$$

kde  $s_i$  je počáteční sedání,  $s_c$  je konsolidační sedání a  $s_s$  je sekundární sedání (creep). Hodnoty sedání základů konstrukce od provozního zatížení je nutné posoudit - 2. MS, GEO.

Tyto musí vyhovovat mezním hodnotám sedání dle ČSN 73 1001. Tato norma zavádí pro výpočet konečného sedání vrstevnatého podloží rovnici

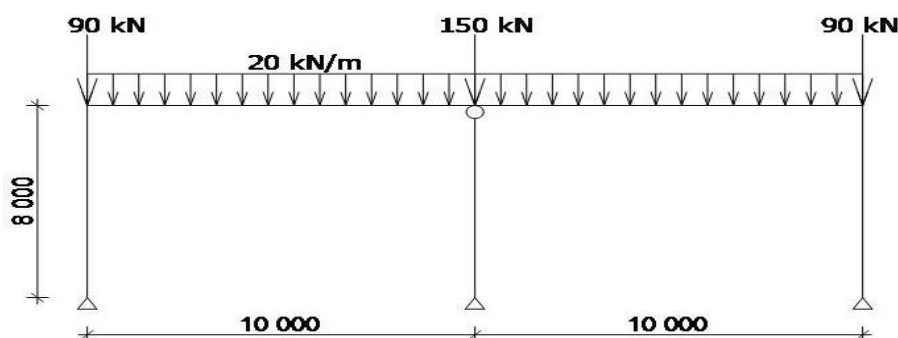
$$s = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zi} - m_i \sigma_{ori}}{E_{oedi}},$$

kde  $s$  je sedání uvažovaného bodu pod základem,  $\sigma_{zi}$  je svislá složka napětí pod uvažovaným bodem od přitížení stavbou  $\sigma_{ol}$  ve středu  $i$ -té vrstvy,  $m_i$  je vliv strukturní pevnosti,  $\sigma_{ori}$  je původní geostatické napětí ve středu  $i$ -té vrstvy,  $E_{oedi}$  je oedometrický modul  $i$ -té vrstvy základové půdy. Svislá složka napětí  $\sigma_{zi}$  od přitížení stavbou  $\sigma_{ol}$  je závislá na vzdálenosti  $i$ -té vrstvy od základové spáry a rozměrech základu:  $\sigma_z = I_{ch} \sigma_{ol}$ . Parametr  $I_{ch}$  závisí na tuhosti základu, na hloubce založení a na vzdálenosti  $i$ -té vrstvy od nestlačitelného podloží. Postup pro určení tohoto parametru lze nalézt v ČSN 73 1001 (již neplatná). Na obr. 7 je uveden I. geologický profil zemin pod základem. Parametry zemin pod základem jsou určeny dle ČSN 73 1001. HPV je v hloubce 3,0 m pod terénem. Nestlačitelné podloží je v hloubce 10,0 m pod terénem. Patka má rozměry 1,5 x 1,5 m. Zeminy jsou: GF – štěrk hlinitý,  $E_{oed} = 114$  MPa, S2 – písek špatně zrněný,  $E_{oed} = 51$  MPa.

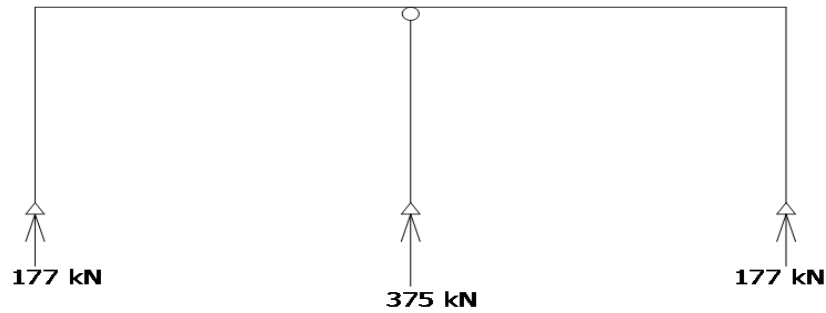


Obr. 7: Geologický profil zemin pod základem č. 1

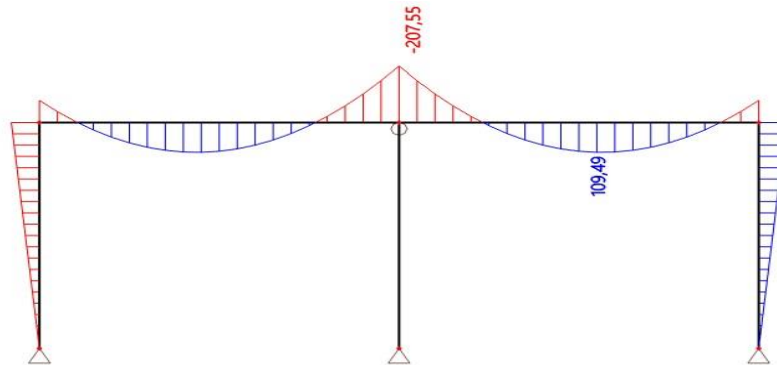
Provozní hodnota svislého zatížení patky byla v programu SCIA vypočtena jako reakce na rámové konstrukci, viz obr. 8. Rozpětí lodí je 10,0 m.



Obr. 8: Rámová konstrukce s kyvnou stojkou zatížená svislým provozním zatížením

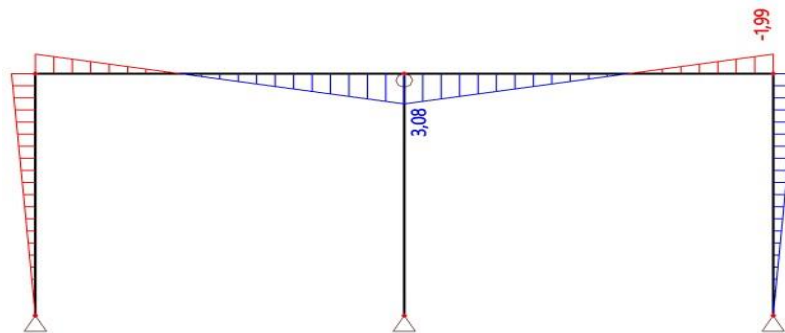


Obr. 9: Reakce od provozního zatížení



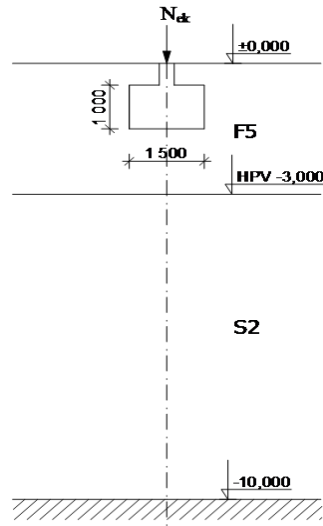
Obr. 10: Ohybové momenty od provozního zatížení v [kNm]

Profil příčle rámu je IPE 450, profil sloupu je HEA 360. V programu GEO 17 byla vypočtena pro geologický profil zemin pod základem č. I, viz obr. 7, hodnota konečného sedání pro prostřední sloup  $s = 1,4 \text{ mm}$  a pro krajní sloupy  $s = 0,4 \text{ mm}$  od reakcí v patkách sloupů od provozního zatížení, viz obr. 9. Nerovnoměrný pokles patek sloupů  $\Delta s = 1,0 \text{ mm}$  způsobuje přidavné ohybové momenty ocelové konstrukce rámu, viz obr. 11. Výpočet vnitřních sil byl proveden I. řádem.



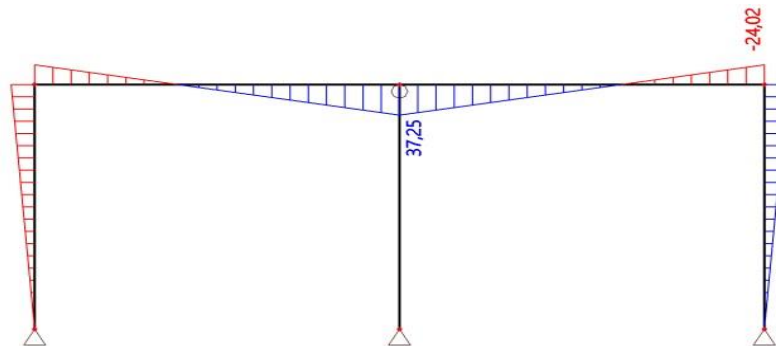
Obr. 11: Přidavné ohybové momenty od nerovnoměrných poklesů sloupů v [kNm]

Přidavné ohybové momenty jsou poměrně malé. To je následkem malých nerovnoměrných poklesů podpor, které jsou způsobeny vysokou tuhostí základové půdy. Pro snížení tuhosti podloží byl zvolen II. geologický profil, viz obr. 12. Parametry zemin pod základem jsou určeny dle ČSN 73 1001 (v současnosti již neplatná). HPV je 3,0 m pod terénem. Nestlačitelné podloží je v hloubce 10,0 m pod terénem. Patka má rozměry 1,5 x 1,5 m. Zeminy jsou: F5 – hlína s nízkou plasticitou měkké konzistence,  $E_{\text{oed}} = 4,5 \text{ MPa}$ , S2 – ulehlý písek špatně zrněný,  $E_{\text{oed}} = 51 \text{ MPa}$ .



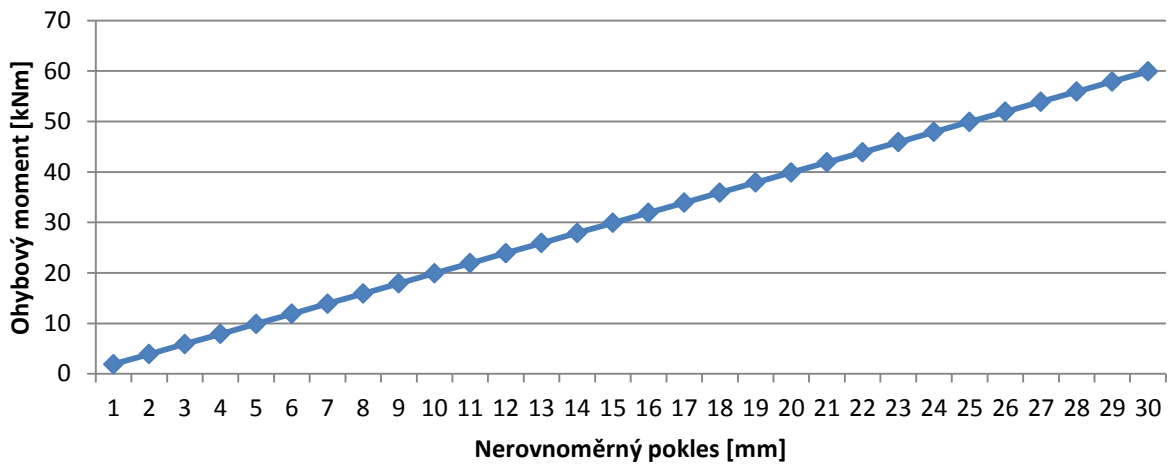
Obr. 12: Geologický profil zemin pod základem č. II

Pro vyšetřovanou rámovou konstrukci zatíženou provozním zatížením, viz obr. 8, byly pro hodnoty reakcí v programu GEO 17 vypočteny hodnoty konečného sedání pro prostřední sloup  $s = 20,5 \text{ mm}$  a pro krajní sloupy  $s = 8,4 \text{ mm}$ . Tyto hodnoty sedání byly vypočteny pro geologický profil č. II. Nerovnoměrný pokles patek sloupů  $\Delta s = 12,1 \text{ mm}$  způsobuje přídatné ohybové momenty ocelové konstrukce rámu, viz obr. 13. Výpočet vnitřních sil byl proveden I. řádem.

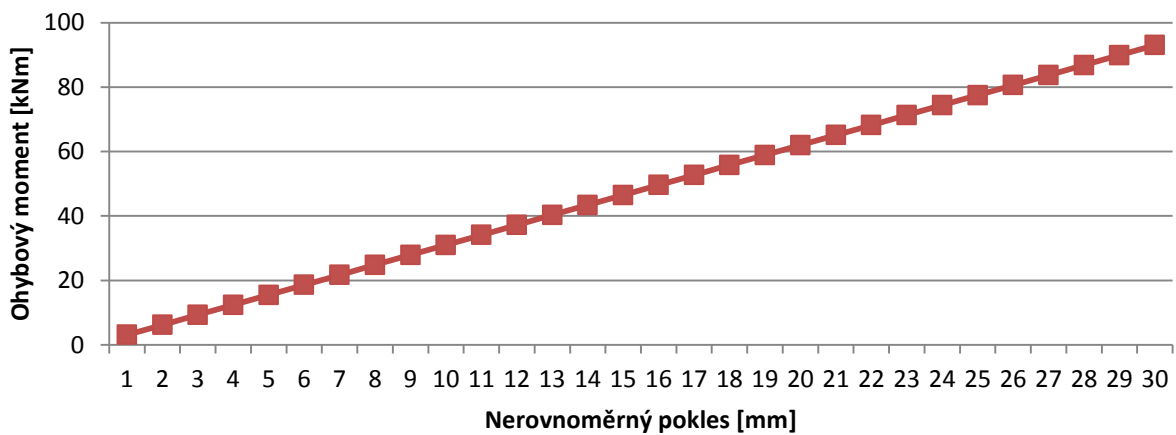


Obr. 13: Přídatné ohybové momenty od nerovnoměrných poklesů sloupů v [kNm]

Snížení svíslé tuhosti geologického podloží vedlo ke zvýšení hodnot nerovnoměrného sedání kloubových patek sloupů, což mělo za následek i zvýšení ohybových momentů této rámové konstrukce až o 37,2 kNm. Tato hodnota již není zanedbatelná a při návrhu konstrukce na ní musí být brán zřetel. Grafická závislost nárůstu ohybových momentů na rozdílu poklesů patek prostředního sloupu a krajních sloupů  $\Delta s$  [mm] v rámových rozích a příčli v místě připojení kyvné stojky je na obr. 14 a obr. 15.

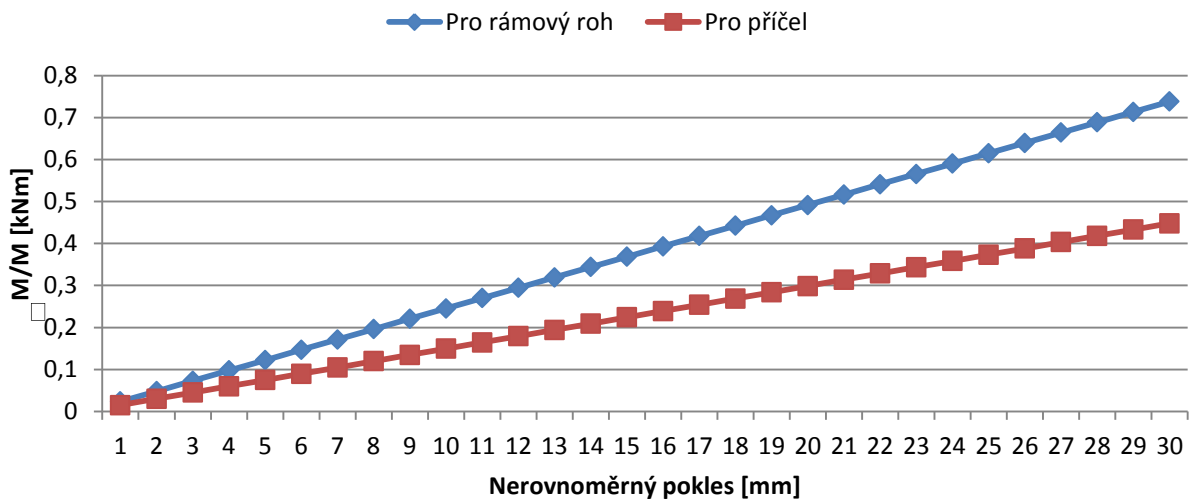


Obr. 14: Přídavný ohybový moment od nerovnoměrného sedání v rámovém rohu



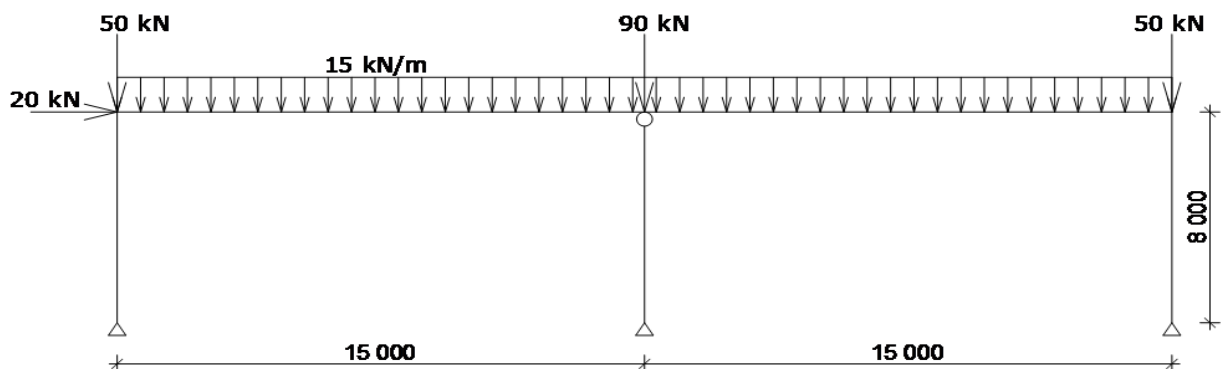
Obr. 15: Přídavný ohybový moment od nerovnoměrného sedání na příčli – v místě stojky

Absolutní míra nárůstu ohybových momentů  $\Delta M$  od nerovnoměrného poklesu patek sloupů  $\Delta s$  [mm] v porovnání s hodnotami ohybových momentů  $M$  od provozního zatížení je zobrazena na obr. 16.



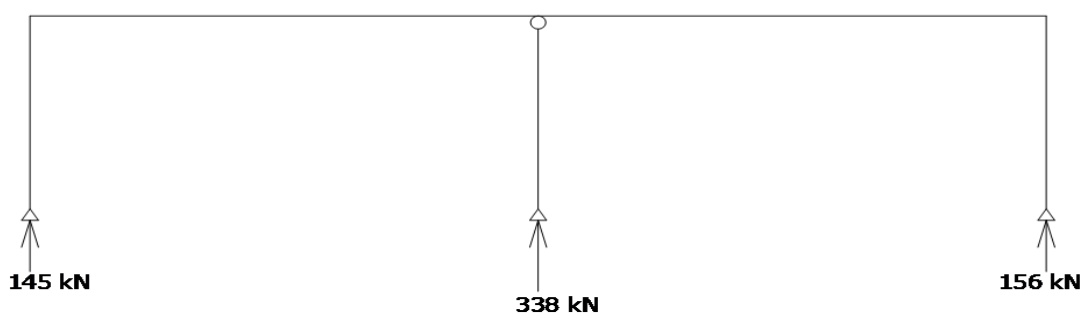
Obr. 16: Absolutní míra nárůstu ohybových momentů od nerovnoměrného poklesu patek sloupů  $\Delta s$

Rámová konstrukce na obr. 8 je zatížena pouze svislým provozním zatížením. V praxi bývají rámy zatíženy i zatížením vodorovným – účinky větru, stabilizace jiných konstrukcí, apod. Příklad rámové konstrukce, která vzdoruje účinkům svislého a vodorovného provozního zatížení, je na obr. 17. Rozpětí lodí je 15,0 m.



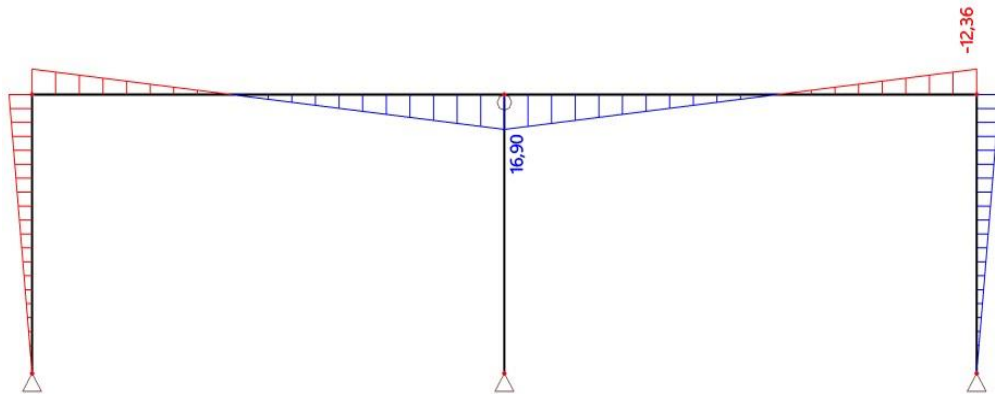
Obr. 17: Rámová konstrukce s kyvnou stojkou zatížena svislým i vodorovným provozním zatížením

Profil příčle rámu je IPE 450, profil sloupu je HEA 360. Provozní hodnota svislého zatížení patky byla v programu SCIA vypočtena jako reakce na této rámové konstrukci, viz obr. 18.



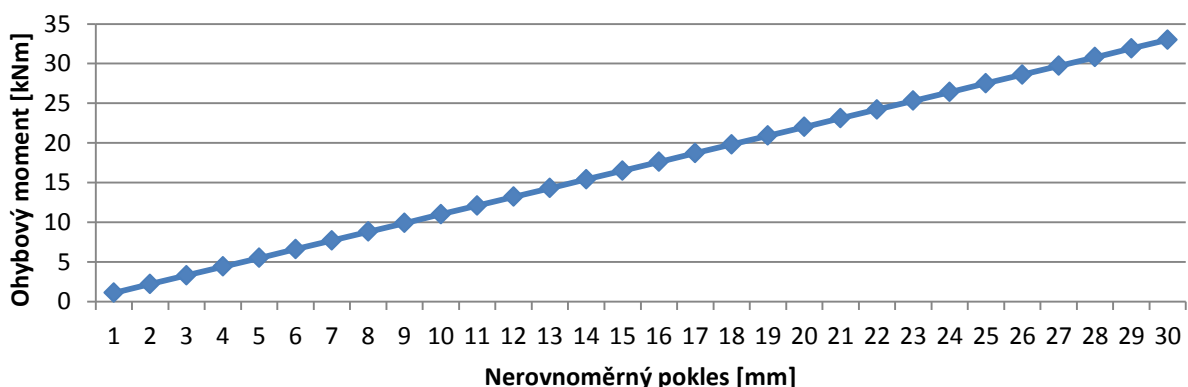
Obr. 18: Reakce od provozního zatížení

V programu GEO 17 byla vypočtena pro geologický profil zemin pod základem č. II, viz obr. 12, hodnota konečného sedání pro prostřední sloup  $s = 18,2 \text{ mm}$ , pro levý sloup  $s = 6,4 \text{ mm}$  a pro pravý sloup  $s = 7,1 \text{ mm}$  od reakcí v patkách sloupů od provozního zatížení na obr. 18. Tyto hodnoty sedání patek sloupů způsobují přídavné ohybové momenty ocelové konstrukce rámu na obr. 19. Výpočet vnitřních sil byl proveden I. řádem.



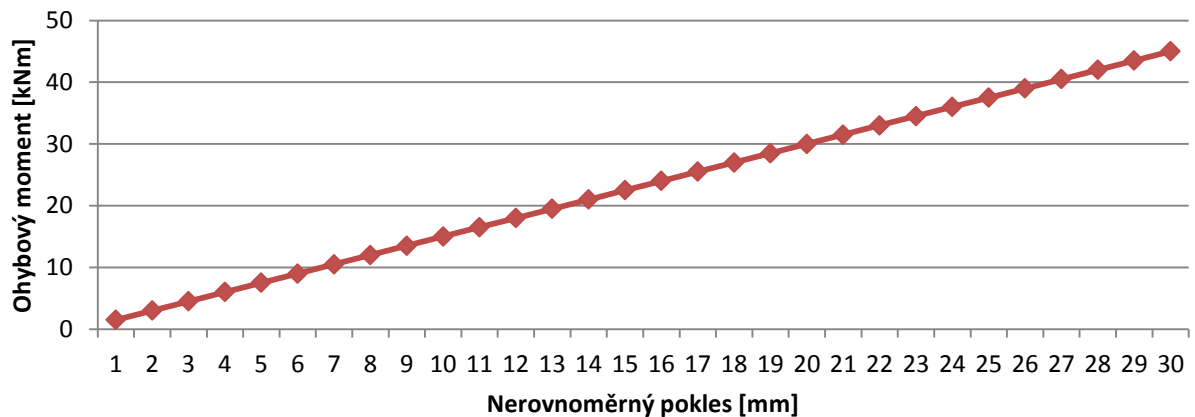
Obr. 19: Přídavné ohybové momenty od nerovnoměrných poklesů všech sloupů v [kNm]

Ohybové momenty od rozdílu konečného sedání levého a pravého sloupu  $\Delta s' = 0,7 \text{ mm}$  jsou zanedbatelné a pro konstrukci na obr. 16 lze zjednodušeně říci, že nárůst ohybových momentů vlivem konečného sedání patek sloupů je závislý na rozdílu konečného sedání patky prostředního sloupu a krajních sloupů  $\Delta s$ . Hodnota konečného sedání krajních sloupů je uvažována pro zjednodušení jejich průměrnou hodnotou. Graficky je tato skutečnost pro rámový roh a pro příčli v místě přípojení kyvné stojky zobrazena na obr. 20 a 21. Rozdíly sedání levého a pravého sloupu způsobené přítomností vodorovného zatížení 20 kN v levém rámovém rohu a jejich vliv na přídavné ohybové namáhání konstrukce lze v tomto případě zanedbat.



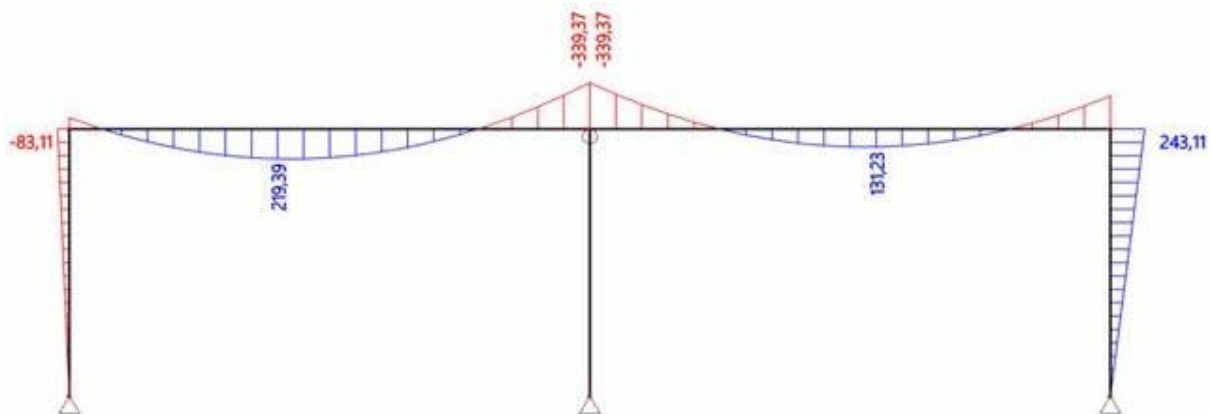
Obr. 20: Přídavný ohybový moment od nerovnoměrného sedání v rámovém rohu





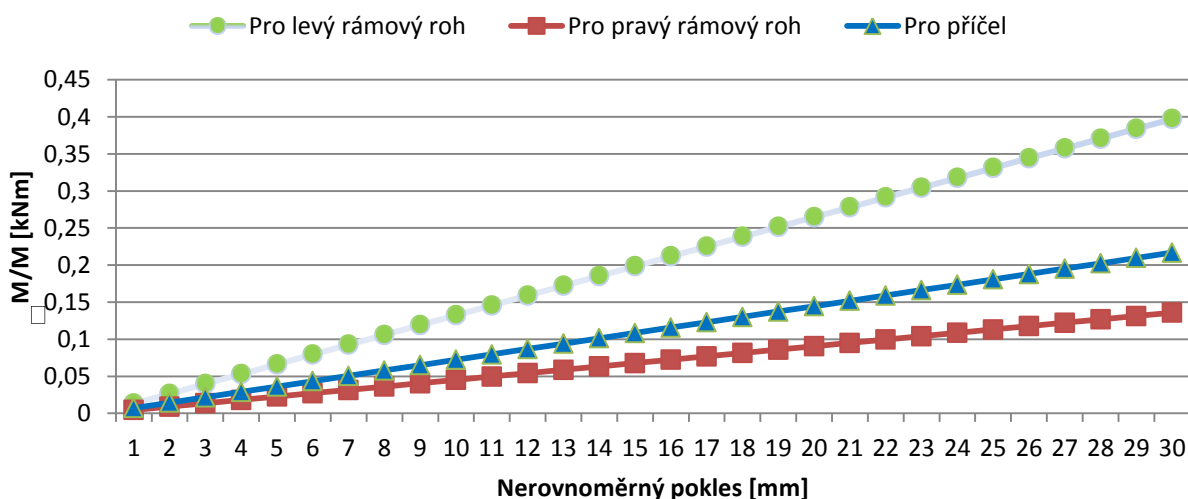
Obr. 21: Přídavný ohybový moment od nerovnoměrného sedání na příčli – v místě stojky

Vnitřní síly pro konstrukci zatíženou dle obr. 17 byly vypočteny vnitřní síly I. řádem. Jejich grafické zobrazení je na obr. 22. Hodnoty ohybových momentů v rámových rozích jsou odlišné z důvodu vodorovného zatížení.



Obr. 22: Ohybové momenty na rámové konstrukci zatížené dle obr. 17 v [kNm]

Absolutní míra nárůstu ohybových momentů  $\Delta M$  od nerovnoměrného poklesu patek prostředního a krajních sloupů  $\Delta s$  [mm] v porovnání s hodnotami ohybových momentů  $M$  od provozního zatížení je zobrazena na obr. 23. Podíl  $\Delta M/M$  je v grafu vyhodnocen zvlášť pro levý a pravý rámový roh z důvodu jejich rozdílného ohybového namáhání od provozního zatížení.



Obr. 23: Absolutní míra nárůstu ohybových momentů od nerovnoměrného poklesu patek sloupů  $\Delta s$

### 3. Závěr

Ověření 2. MS-GEO (mezní stav přetvoření základů) je nutné provádět již při prvotním návrhu ocelové konstrukce rámu jinak hrozí plastizace průřezů a zvýšená míra deformací. Tyto nepříznivé jevy se v průběhu životnosti konstrukce obtížně a nákladně odstraňují a snižují její životnost. Podle ČSN 73 1001 byla limitní hodnota konečného sedání základů staticky neurčité ocelové konstrukce stanovena na 80 mm. V případě překročení této hodnoty může být sedání redukováno uložením sloupů konstrukce na základovém pásu, pro který jsou z důvodu jeho větší ohybové tuhosti velikosti sedání menší než při jejich uložení na základových patkách. Konečná hodnota sedání základů rámu závisí převážně na velikosti jeho svislého provozního zatížení, rozpětí a geologickém profilu zemin pod základem. Základem správného návrhu je i konfrontace dosažených sedání a jejich velikosti se zamýšleným účelem konstrukce a požadavky zadavatele. (objednatele) stavby - investora.