

David SEKANINA¹, Radim ČAJKA²

INTERAKCE PŘEDPJATÝCH PODLAH A PODLOŽÍ

INTERACTION BETWEEN PRESTRESSED FLOOR AND SUBSOIL

Abstrakt

Příspěvek se zabývá analýzou interakce předpjaté desky hangáru pro letadla s podložím. Výsledky řešení jsou porovnány s návrhem předpjaté podlahy hangáru podle směrnice společnosti VSL [2]. Pomocí nelineární analýzy je zkoumán vliv prokluzu v kontaktní spáře mezi podlahou a podložím na výslednou napjatost konstrukce.

Abstract

This paper is focused on analysis of interaction between hangars prestressed floor with subsoil. Results of solution are compare with design of prestressed floor, which was design according to rulebook of company VSL [2]. Through the use of nonlinear analysis is envisaged influence of slip in contact joint between floor and subsoil.

1 ÚVOD

Technologie předpínaných bezesparých podlah je zejména vhodná pro středně až těžce zatěžované podlahy různorodých skladových objektů, letištních hal, logistických parků atd.

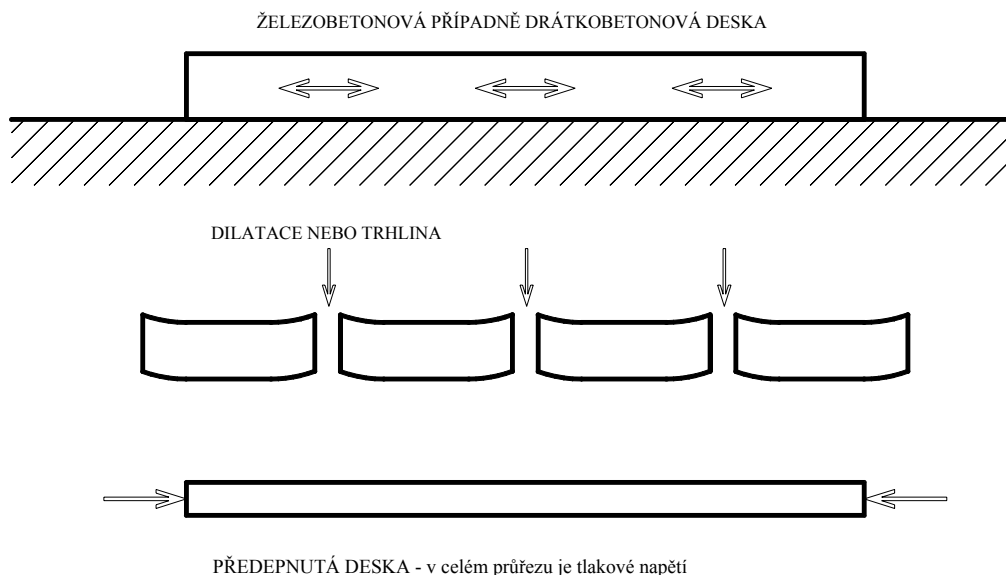
Mezi největší výhody předpínaných podlah patří výrazné omezení nutnosti dilatačních spár, které jsou nejcitlivější částí těchto konstrukcí, vyloučení trhlin, z toho plynoucí delší životnost, vysoká kvalita a současně výrazně menší náklady na údržbu. Předepnutá podlaha je tenčí ve srovnání s tradičně vyztuženou podlahou, přináší zkrácení doby provádění z důvodu ukládky menšího množství betonu ve větších plochách za den, často až 2500 m². Dle podkladů společnosti VSL [2], byla zhotovená předpínaná podlaha bez použití dilatačních spár, která pokrývala plochu 30 000 m².

Dodatečné předepnutí desek je navrženo tak, aby při nejnepříznivější kombinaci zatížení nedocházelo k tahovému porušení betonu, tzv. bez využití měkké výztuže, a předpětí bylo včas vnášeno do konstrukce ještě před zahájením tvorby smršťovacích trhlin. Z těchto důvodů je porušení betonu trhlinami zcela zabráněno na rozdíl od jiných metod kontroly trhlin, které spoléhají na vyšší množství pasivní výztuže s možností pouze omezit šířku trhlin dle určitého kritéria.

Proti předpjatým základům se do předpjatých podlah vnáší pouze normálová síla. Kotvení lan je v ose desky, protože ohybové momenty vlivem excentricity jsou v předpínaných podlahách nežádoucí.

¹ Ing. David Sekanina, Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební (FAST), Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 394, e-mail: david.sekanina@vsb.cz.

² Prof. Ing. Radim Čajka, CSc., Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební (FAST), Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 344, e-mail: radim.cajka@vsb.cz.



Obr.1: Schématické zobrazení principu předpjatých podlah

2 PŘÍKLAD PŘEDPJATÉ HANGÁROVÉ PODLAHY

Pro příklad byl zvolen projekt předpjaté podlahy hangáru pro letadla, viz [3]. Podlaha byla analyzována pro zatížení letadly typu SAAB 340.

Podlaha byla předpínaná ve dvou směrech. Pro delší směr „x“ byly navrženy 4 kabely po vzdálenostech 0,9 m. Na 1 m šířky vyšetřovaného pásu je tedy 4,44 kabelu. Skutečná síla po spočtených ztrátách v těchto kabelech byla $P_{x,skutečná} = 741,20 \text{ kN.m}^{-1}$.

V kratším směru „y“ byly navrženy 3 kabely po 0,75 m. Na 1 m šířky vyšetřovaného pásu připadají 4,0 kabely. Skutečná síla v kabelech byla $P_{y,skutečná} = 687,36 \text{ kN.m}^{-1}$.

Podlahová deska je spádovaná v průměrném sklonu 0,5 % směrem k vpustím. Tloušťka desky je proměnná od 0,3 m na okrajích a hřebenech spádových ploch až do 0,2 m v místech vpustí. Schéma desky a způsob spádování je patrný z obr. 2.

Ztráty vlivem tření podlahy o podloží byly dle projektu spočítány pomocí vztahu (1):

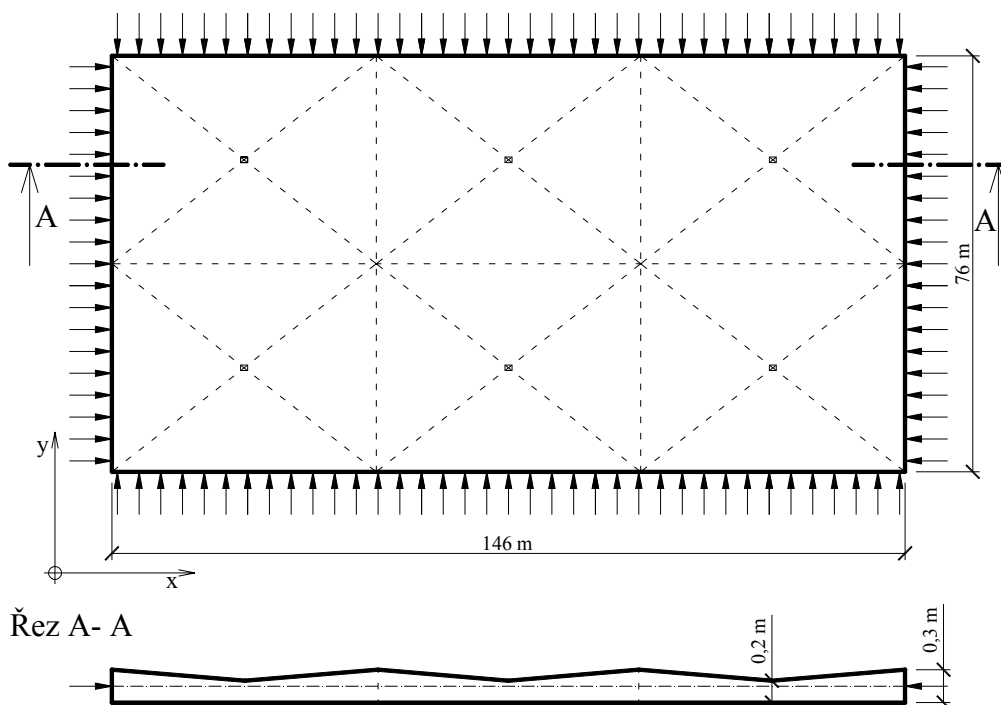
$$\Delta\sigma_{ir} = \frac{1}{2} f_t \cdot G \cdot L \quad (1)$$

kde:

- $\Delta\sigma_{ir}$ – ztráta předpětí vlivem tření podlahy o podloží
- f_t – součinitel tření (0,35 - 0,6) dle
- G – celková tíha předpínané podlahy
- L – celková délka předpínané podlahy

Jak je patrné z řezu na obr.2, tloušťka desky nemá konstantní šířku. Ztráty předpětí vlivem tření v kontaktní spáře byly proto analyzovány pro dva mezní případy a to pro tloušťku podlahy 0,2 a 0,3 m. Součinitel tření byl dle doporučení [2] a [4] uvažován hodnotou $f_t = 0,35$. V tabulce jsou uvedeny vypočtené hodnoty napětí bez a se zahrnutím ztrát předpětí třením, viz [3]. Hodnoty jsou vztaženy na šířku pásu 1 m.

Půdorys



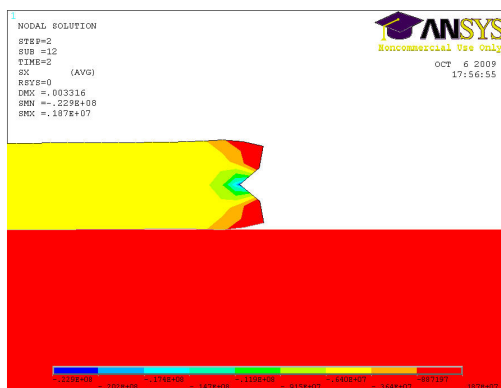
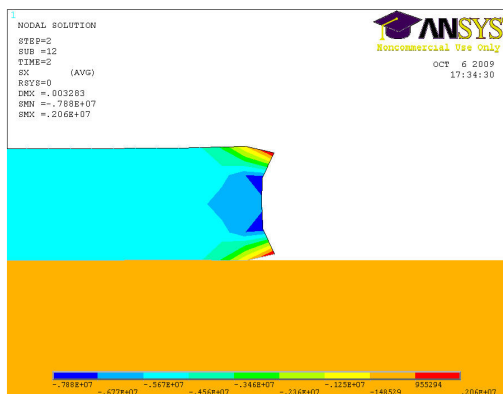
Obr.2: Schéma předpínané desky.

Tab.1: Tabulka hodnot normálových napětí uprostřed základu.

Směr	Předpínací síla [kN.m ⁻¹]	Normálové napětí [MPa]					
		Tl. desky 0,2 m			Tl. desky 0,3 m		
		Před ztrátou	Po ztrátě	Rozdíl [%]	Před ztrátou	Po ztrátě	Rozdíl [%]
x	741,20	3,71	3,00	19	2,47	1,77	28
y	687,36	3,44	3,07	11	2,29	1,93	16

2.1 Nelineární výpočet

Stejný příklad byl také řešen nelineárním výpočtem. Jedná se geometrickou nelinearitu. Pro výpočet byly použity plošné prvky PLANE42 a kontaktní liniové prvky CONTA172 a TARGE169. Kombinace těchto prvků zajišťovala tření mezi prvkem a podloží a hlídala maximální hodnotu napětí v základové spáře τ_{\max} . Dále v kontaktu mezi prvkem a podloží nemělo být povoleno tahové napětí, tudíž bylo možno stanovit délku oblasti, kde došlo ke ztrátě kontaktu. Byly analyzovány 4 příklady předpjaté podlahy a byly zkoumány ztráty předpětí vlivem tření základu o podloží. Pro názornost jsou na obr.3 zobrazeny detaily kotevní oblasti, kde je patrné rozložení napětí od zatížení silou v bodě a plošným zatížením, nahrazujícím přenos zatížení přes kotevní desku. Způsob zadání předpětí (plošným zatížením nebo osamělou silou) nemělo na výsledky analýzy v daném zaokrouhlovacím intervalu vliv.



Obr.3: Lokální napjatost a deformace konce předpínané podlahy v místě kotvení lan.

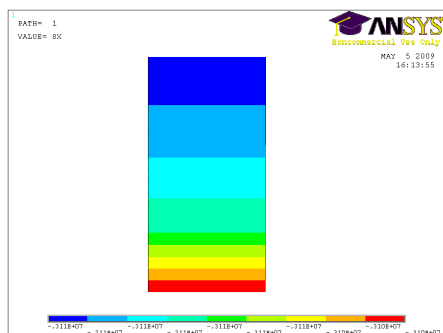
Kluzná spára je tvořena vrstvou písku a 2x PE fólií. V souladu s projektem byl zadán součinitel tření 0,35 mezi základem a PE fólií a bylo určeno mezní smykové napětí pískové vrstvy, které se stanovilo ze vztahu (1), kde byla hodnota pro:

Podlahu tloušťky 0,2 m

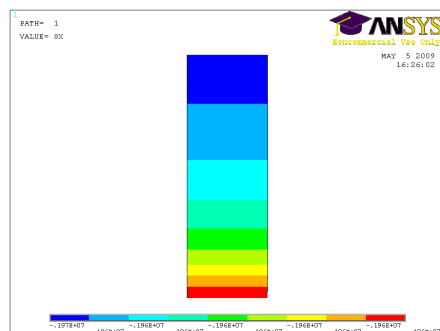
$$\tau_{\max} = \sigma \cdot \tan \varphi + c = 5 \cdot \tan 35^\circ + 0 = 3,5 \text{ kPa}$$

a pro tloušťku 0,3 m

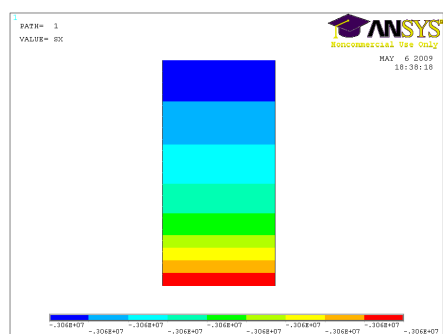
$$\tau_{\max} = \sigma \cdot \tan \varphi + c = 7,5 \cdot \tan 35^\circ + 0 = 5,25 \text{ kPa}$$



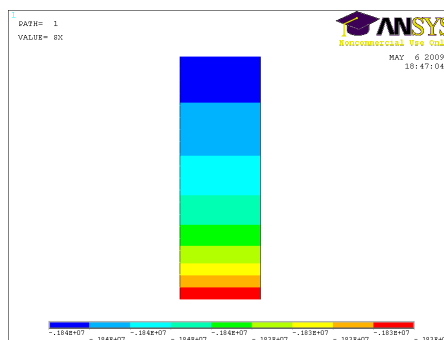
a)



b)



c)



d)

Obr.4: Průběhy napětí uprostřed prvku a) $h = 0,2$ m, délka 76m b) $h = 0,3$ m, délka 76 m c) $h = 0,2$ m, 146 m d) $h = 0,3$ m, 146 m.

Parametry zeminy byly uvažovány v souladu s ČSN 73 1001 [1]. Na obr. 4 a) až d) jsou znázorněny průběhy normálových napětí, které byly řešeny nelineární analýzou pomocí programu ANSYS, pro 4 uvažované typy tloušťek a rozpětí. Průběhy normálových napětí po výšce průřezu jsou analyzovány uprostřed prvku vždy ve směru působení předpínací síly (pro délku 146 m – směr x , pro 46 m- směr y).

Výsledné hodnoty nelineárních výpočtů normálových napětí jsou pro přehlednost uvedeny v tabulce 2. Hodnoty jsou srovnány s hodnotami uvedenými v projektu.

Tab.2: Tabulka hodnot normálových napětí uprostřed základu

Směr	Předpínací síla [kN.m ⁻¹]	Normálové napětí [MPa]					
		Tl. desky 0,2 m			Tl. desky 0,3 m		
		ANSYS	Návrh VSL	Rozdíl [%]	ANSYS	Návrh VSL	Rozdíl [%]
x	741,20	3,060	3,00	1,96	1,835	1,77	3,54
y	687,36	3,105	3,07	1,13	1,965	1,93	1,78

V případě ideálního stavu, kdy nedochází ke ztrátě kontaktu, nebo prokluzu mezi podlahou a podložím, by byly hodnoty napětí totožné. Rozdíly uvedené v tabulce jsou dány zřejmě již zmiňovanou ztrátou kontaktu vlivem zvednutí konců vyšetřovaného prvku a hodnotou omezeného smykového napětí, které je největší na koncích.

2.2 Parametrická studie vlivu deformace a prokluzu konců předpínaných podlah

Na základě dosažených výsledků byla provedena srovnávací parametrická studie, kde byly srovnány ztráty předpětí třením podlahy o podloží pro příklady různých délek předpjatých podlah tl. 0,2 a 0,3 m. Byla zvolena jednotná předpínací síla 1000 kN. Délka podlah byla zvolena od 10 m do 200 m. Z nelineární analýzy byly získány hodnoty napětí uprostřed prvku a ty byly porovnány s výpočtem podle vztahu (1).

Rozdíly ztrát předpětí pro jednotlivé tloušťky podlah se pohybují v určitém intervalu hodnot. Pro tloušťku podlahy 0,2 m je tento interval 0,4 – 1,0 kN a pro tloušťku podlahy 0,3 m je interval dán v rozmezí 1,0 – 2,0 kN. Jak je patrné z hodnot rozdílu ztráty předpětí, není tento rozdíl závislý na délce podlahy. Odchylky jsou dány zaokrouhlovacími chybami. Z tohoto důvodu jsou uvedeny průměrné hodnoty rozdílu ztrát předpětí pro velikost předpínací síly $P = 1$ MN a pro:

- podlahu tloušťky $h = 0,2$ m : $\Delta F_p = 0,64$ kN
- podlahu tloušťky $h = 0,3$ m : $\Delta F_p = 1,76$ kN

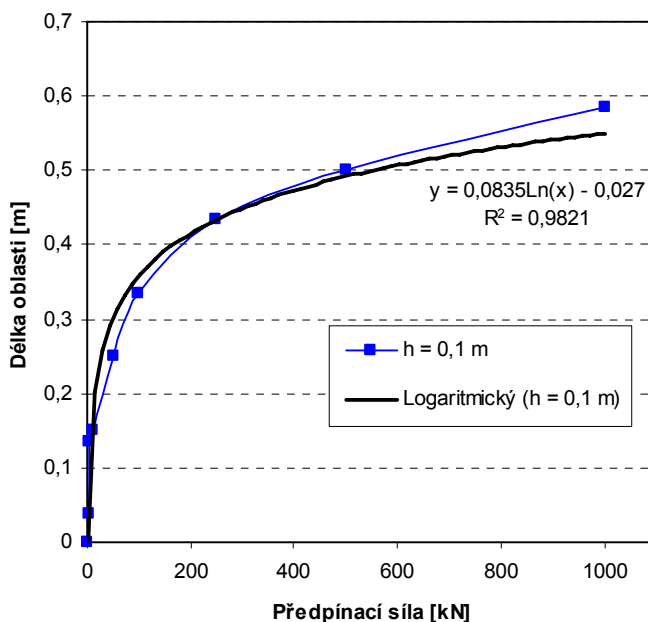
Hodnoty rozdílu ztrát jsou závislé na velikosti plochy, při níž došlo ke ztrátě kontaktu podlahy a podloží. Tímto dojde ke zmenšení kontaktní plochy a následnému snížení ztráty třením mezi podlahou a podložím. Zmenšením kontaktní plochy ale dojde ke zvětšení svislého kontaktního napětí. Pokud bude uvažována hodnota rozdílu ztrát předpětí $\Delta F_p = 1,76$ kN, hodnota délky vyšetřované oblasti by byla 0,67 m v souladu s uvedeným výpočtem dle vztahu (1). Hodnota délky oblasti ztráty kontaktu s podložím je v tomto řešeném případě závislá na hodnotě předpínací síly a tloušťce podlahy. Ve výpočtu nejsou uvažovány napětí a deformace vlivem smršťování a dotvarování betonu.

2.3 Vliv vstupních parametrů na velikost oblasti se ztrátou kontaktu s podložím

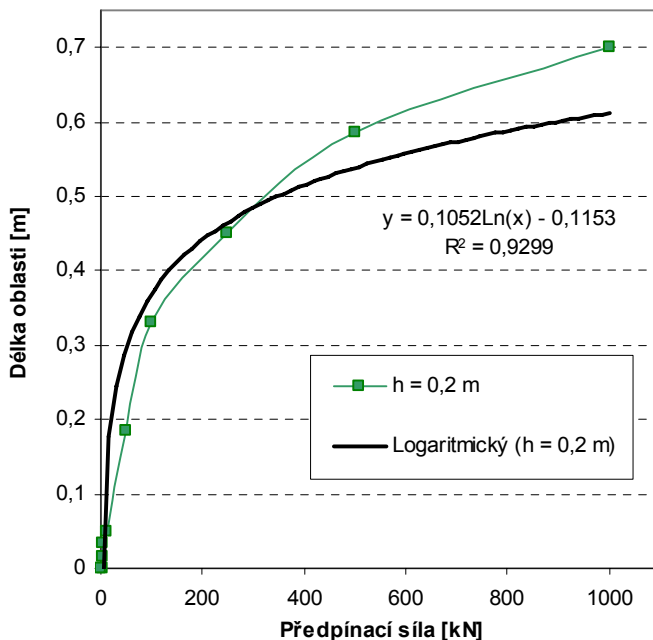
Z předchozích výsledků je patrná závislost velikosti oblasti ztráty kontaktu s podložím na tloušťce předpínané podlahy. Z důvodu větší přehlednosti závislosti velikosti vyšetřované krajní oblasti na vstupních parametrech, byla provedena další parametrická studie. Není zde patrná závislost na délce podlahy, tudíž je použit pouze jeden model délky 40 m.

Studie analyzovala případy podlah tl. 0,1 m, 0,2 m a 0,3 m. Dále byly použity hodnoty předpínací síly v intervalu od 1 kN do 1000 kN. V závislostech na tloušťce podlahy bylo upraveno i mezní smykové napětí τ_{\max} . Výpočet probíhal standardně ve dvou zatěžovacích krocích s použitím kontaktních prvků, viz odstavec 2.1.

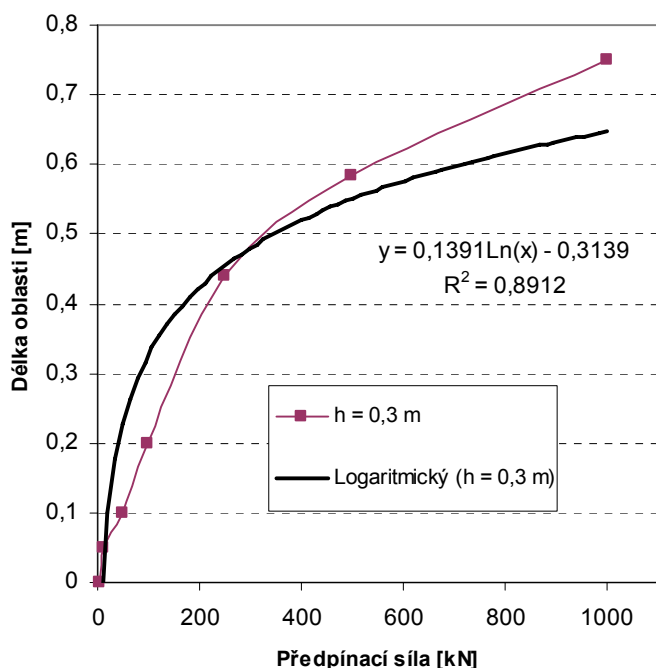
Z vypočtených hodnot byly provedeny průběhy závislostí délky deformované oblasti a předpětí, viz obr.4 – obr.6, a průběhy byly aproximovány logaritmickou funkcí.



Obr.4: Velikost oblasti bez kontaktu s podložím pro podlahu tl. 0,1 m



Obr.5: Velikost oblasti bez kontaktu s podložím pro podlahu tl. 0,2 m



Obr.6: Velikost oblasti bez kontaktu s podložím pro podlahu tl. 0,3 m

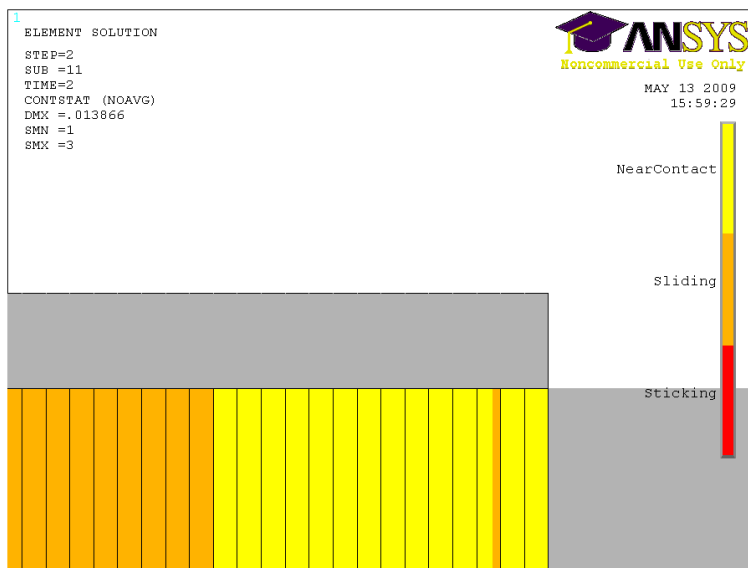
Rovnice aproximačních funkcí jsou následující:

Pro tloušťku podlahy 0,1 m: $y_{0,1} = 0,0835 \cdot \ln(P) - 0,027$

Pro tloušťku podlahy 0,2 m: $y_{0,2} = 0,1052 \cdot \ln(P) - 0,1153$

Pro tloušťku podlahy 0,3 m: $y_{0,3} = 0,1391 \cdot \ln(P) - 0,3139$

Z vyjádřených rovnic je patrná závislost strmosti dané logaritmické křivky na výšce předpínaného základu, resp. podlahy.



Obr.7: Žlutě je vyznačená oblast ztráty kontaktu podlahy s podložím

3 ZÁVĚR

V rámci studie byly provedeny pouze nelineární analýzy, kde byl zkoumán vliv tření v kontaktní spáře. Vlivem tření vzniká složka ohybového momentu deformující koncové části dlouhých konstrukcí. Použití kontaktních prvků umožnilo analyzovat délku oblasti, kde dochází ke ztrátě kontaktu s podložím a zahrnout vliv maximálního smykového napětí vzniklého mezi podložím a podlahou.

PODĚKOVÁNÍ

Při řešení byly využity teoretické výsledky dosažené za finančního přispění MŠMT, projekt 1M0579, v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS.

LITERATURA

- [1] ČSN 73 1001 Zakládání staveb: Základová půda pod plošnými základy, Vydavatelství norem, Praha 1988
- [2] Post tensioned foundations: Materiály VSL-international Ltd., Berne, Switzerland, 1988
- [3] Předpjatá podlahová deska – Hangár Mošnov: Projektová dokumentace, VSL, 7/2008
- [4] WRIGGERS P.: *Computation Contact Mechanics*, Springer, Germany, 2006

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Juraj Králik, Ph.D., Stavebná fakulta STU v Bratislavě.