

VADY A PORUCHY PODLAHOVÝCH DESEK – PROBLEMATIKA NÁVRHU A PROVÁDĚNÍ

Příspěvek XV. mezinárodní konference soudních znalců – Brno, leden 2006.

ABSTRAKT: Problematika navrhování podlahových desek je poměrně komplikovanou záležitostí, u které dochází často k projekčním chybám. Jedním ze zdrojů vad a poruch je nevhodný návrh geotechnického uspořádání, resp. zlepšení vlastností podložních vrstev pod vlastní podlahovou deskou. Druhým zdrojem poruch v oblasti projekční je špatný návrh konstrukce vlastní desky z hlediska mezního stavu únosnosti ve vztahu k použitému materiálu, resp. z hlediska použitelnosti.

Příspěvek upozorňuje na problematiku návrhu a možného použití zjednodušených povrchových modelů podloží.

Jsou popsány hlavní vady a poruchy a jejich příčiny. Využití těchto poznatků pak umožňuje:

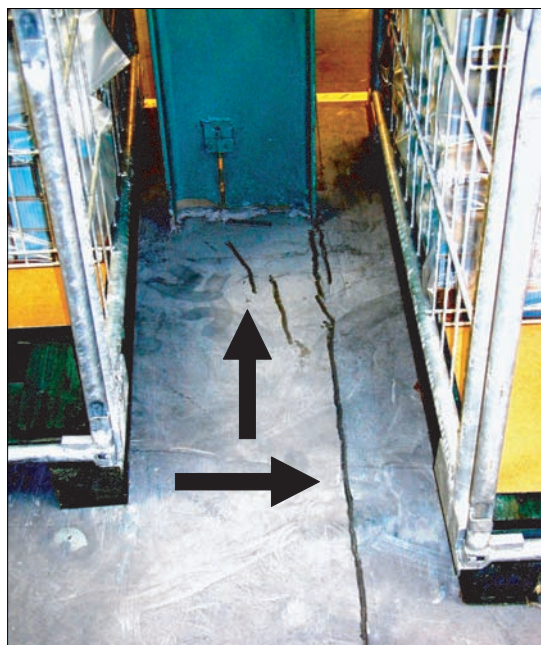
- bezpečnější a efektivnější návrh podlahové desky,
- pokud dojde ke vzniku poruchy, tak lze identifikovat její příčinu,
- následně navrhnout účelnou sanaci poruch u desek již porušených.

1. ÚVOD

V poslední době se množí poruchy podlahových desek velkých supermarketů a výrobních hal. Na podlahách, které mají být většinou bez dilatací a bez spar se objevují sítě trhlin, které mají různý tvar (pravidelná síť – obvykle ve dvou navzájem kolmých směrech, resp. zcela obecný směr) – obr. 1.

Na základě průzkumů několika porušených konstrukcí a studia projektové dokumentace je možno poruchy vznikající ve stádiu návrhu podlahové desky a zpracování projektu rozdělit do několika skupin:

- nerespektování reálného statického působení podlahové desky,
- nevhodný návrh skladby vrstev v podloží,
- poddimenzování vlastní betonové desky.



Obr. 1 Poruchy podlahových desek v poli

2. PROBLEMATIKA NÁVRHU PODLAHOVÉ DESKY

2.1 Základní údaje pro návrh konstrukce podlahové desky

2.1.1 Zatížení

V zadání stavby je obvykle definováno zatížení na 1 m^2 podlahové plochy, zatížení stojkou regálu, případně zatížení výrobním zařízením. Je na zpracovateli návrhu konstrukce, aby stanovil charakteristickou sestavu zatížení, uvážil možnosti vytváření shluku zatížení, tvoření „razníků“ a posoudil skutečnou hodnotu zatížení.

2.1.2 Deformační podmínky

Deformační podmínky, obvykle udávané jako „nerovnosti podlahové desky“, jsou dvojí:

- 1) nerovnosti docilované při instalaci podlahové desky,
- 2) nerovnosti způsobené účinky zatížení, nebo konsolidací podloží.

Výrobní nerovnosti jsou obvykle posuzovány podle DIN 18202 pro běžný provoz s výškou zakládání do 6m a nad 6m, nebo dle DIN 15185 pro tak zvané rychlé zakládání, kdy velikost nerovnosti definuje dodavatel zakládacího zařízení.

Je možné také postupovat podle doporučení Betonářské společnosti UK – Technical Report No 34.

Nerovnosti od zatížení, nebo vlivu podloží, mají obvykle lokální charakter, jako je deformace v oblasti charakteristického stroje, v oblasti stojky regálu, nebo shluku palet, které vytvořily „razník“ a výrazně přitěžují sektor podlahy. Nerovnosti vznikají i fixací podlahové desky prvky hlubinného zakládání nosné konstrukce, které nemají navrženy deformace koordinované s podlahovou deskou.

Obvykle bezpečná deformace definovaná stočením je v rozmezí 0,001 až 0,0025. Deformační podmínky bývají v běžné praxi nahrazeny doporučením deformační charakteristiky podloží, vyjádřené buď Westergardovým modulem odporu pro lehký provoz $k = 0,003 \text{ N/mm}^3$ a těžký provoz $k = 0,007 \text{ N/mm}^3$, nebo E_2 pro nosnou vrstvu 80 ~ 180 MPa a podloží 30 ~ 100 MPa s $n < 2,2$.

Je třeba si uvědomit, že uvedené údaje jsou užívány v silničním stavitelství a v případě návrhu podlahové desky slouží pouze pro kontrolu hutnění podložních vrstev.

U podloží průmyslových podlah je třeba pro charakteristické zatížení definovat aktivní zónu, podle skutečného geologického profilu posoudit deformace a v případě potřeby rozhodnout o úpravě podloží.

2.1.3 Podloží

Ekonomicky navržená podlaha musí mít nosnou vrstvu, která spočívá na původním terénu nebo násypu. Při posuzování vhodnosti podloží se obvykle postupuje tak, že pro dané provozní podmínky a doporučenou tuhost podloží se stanoví deformace pro homogenní jednovrstvé podloží, která má $E_{def} \langle 17; 27 \rangle \text{ MPa}$ ve vazbě na ostatní geotechnické vlastnosti. Následně se stanoví deformace na skutečném geotechnickém modelu. Jsou-li si obě deformace podobné, je možné navrhnout podlahu. V případě, že deformace nejsou vyhovující, je třeba navrhnout úpravu podloží, za účelem eliminace především diferenciálních deformací.

Úpravu podloží je třeba volit tak, aby byly „překlenuty“ stlačitelné vrstvy, vyskytující se v aktivní zóně. při volbě tak zvaného tvrdého

podepření, kdy betonové piloty jsou opřeny o podlahovou desku, se z podlahy vytváří pseudo-stropní deska. Porovnáním nákladů z takto realizované konstrukce, se původní cena podlahy 2,8 mil. Kč zvýšila o 0,75 mil. Kč.

Úpravy, které lze s výhodou využít pro vylepšení kvality podloží jsou zejména ražené zeminové pilíře, vibrované zeminové pilíře, reinjektované hřebíky, sypaná žebra prolévaná vápenným stabilizátem (resp. cementovým mlékem), reinjektovanými betonovými pilotami, respektive pilotami u kterých lze dodatečně zvětšovat jejich objem.

Geotechnický model upraveného podloží tvoří soustava sestávající z desky podlahy, nosné zeminové desky vyztužené tkanou syntetickou výztuží, podloží z původního materiálu, nebo násypu a případně i navrženého výztužného prvku. Pro dané zatížení a geotechnické prostředí se stanoví pracovní diagram výztužného prvku. Následně se řeší celá soustava tak, aby deformační chování soustavy bylo podobné, jako deformace prvku ve skutečném geotechnickém prostředí. Při užívání software je třeba, aby si uživatel ověřil systém vytváření geotechnického modelu, který se běžně vytváří pro první zatěžovací stav. Ostatní zatěžovací stavy jsou pak řešeny na základě tohoto modelu a mohou vytvářet nesprávné výsledky.

2.1.4 Vlastní podlahová deska

Podlahová deska je zhotovena z betonu, v našich podmínkách obvykle z B25 až B30 s upravenou recepturou pro podlahy, omezující smršťování betonu. Jako výztuž se používá rozptýlená kovová nebo syntetická výztuž. Využívá se duktility průřezu, proto každá výztuž má mít od výrobce udaný příslušný pracovní diagram, s podrobným popisem zkoušky. Doporučení, která se používají při prokazování bezpečnosti a použitelnosti konstrukce podlahy, musí mít vazbu i na další předpisy (gradienty zatížení materiálu apod.).

2.1.5 Konstruktivní zásady

Za účelem omezení deformací a trhlin, se podlahová deska rozděluje pracovními a dilatačními spárami. Vzdálenost pracovních spar do 30m, dilatační spáry se volí do 8 m. Poměr stran je nejvýše 1 : 1,25. Rozvržení spar se volí tak, aby nedocházelo k tvorbě deformací (tzv. talířový efekt), nebo trhlin (u potravinářských provozů nepřijatelných).

Zvláštní skupinu tvoří bezsparé podlahy, které mají pracovní spáry min. po 50-ti metrech. Tyto podlahy jsou opatřeny již dilatačními přechody a připouští se u nich tzv. neřízená trhlinka, která bývá pro provoz výhodnější jak řezaná spára.

2.2 Stanovení dimenzačních veličin – zásady statického návrhu

Úloha stanovení deformace, přetvoření a napjatosti podlahové desky obecně, nelineární časově závislou interakční úlohou u které vlastnosti desky ovlivňují chování podloží a vlastnosti podloží ovlivňují chování desky. Přitom nelinearita problému není vyvolána pouze fyzikálně nelineárním chováním desky¹⁾ nebo

¹⁾ Fyzikální nelinearita u podlahových desek je vyvolána zejména vznikem, rozvojem a prohlubováním trhlin v desce při rostoucím zatížení.

podloží²⁾ ale také chováním v oblasti základové spáry³⁾, resp. hloubkou aktivní zóny⁴⁾ pro různé typy zatížení působícího na desku. Časová závislost úlohy je způsobena časově závislými jevy, které mohou probíhat v betonové desce (smršťování, dotvarování) a/nebo v podložní zemině (primární-filtrační konsolidace pokud je zemina v pórech zemního skeletu zcela nebo částečně saturována vodou; sekundární-creepová konsolidace podložní zeminy) a/nebo měnícím se zatížením desky v čase.

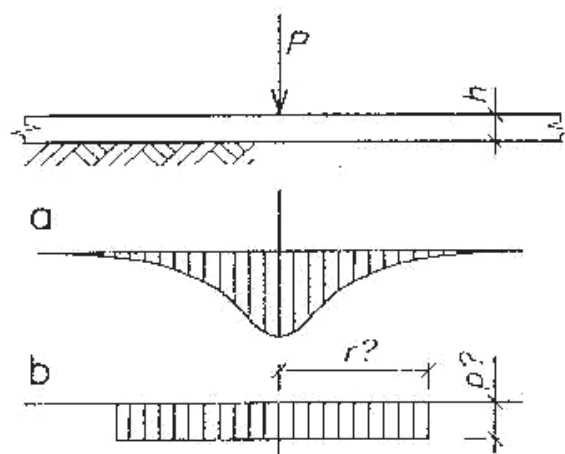
Řešení podlahové desky v interakci s podložím je obecně úlohou prostorovou (3D). Aby nebylo nutno každou úlohu řešit jako prostorovou se využívají při řešení některých problémů tzv. povrchové modely podloží, které pomocí sedání povrchu podloží a pomocí základních vztahů daného modelu definují napjatost, přetvoření a deformaci v každém bodě podloží. Do skupiny těchto modelů patří model pružného poloprostoru, model pružného podkladu, Pasternakův model podloží se smykovým roznosem, resp. další modely.

Samozřejmě lze obecně 3D úlohu řešit numericky jako úlohu prostorovou; zejména v poslední době lze pro řešení užít metodu konečných prvků a celou oblast podloží a desky diskretizovat prostorovými konečnými prvky.

Vzhledem ke komplikovanosti stanovení deformace, přetvoření a napjatosti desky na podloží i při poměrně jednoduchém zatížení desky provedli různí autoři zjednodušení celé úlohy tak, aby ji bylo možno buď analyticky nebo numericky řešit. Přitom se pro desku užívají nejčastěji modely tenké nebo tlusté desky.

2.2.1 Inženýrský přístup k řešení sedání, přetvoření a vnitřních sil

Celá řada autorů se věnovala/věnuje vývoji vhodných modelů podloží, které by umožnily výstižné stanovení vnitřních sil a deformace desky na podloží při různých způsobech zatížení (např. osamělé břemeno, částečně rovnoměrné zatížení, plné rovnoměrné zatížení atd.). Přitom některé předpisy umožňují využívat zjednodušených rozdělení napětí v základové spáře; převážně se jedná o rovnoměrné resp. částečně rovnoměrné rozdělení napětí v určité oblasti. Na obr. 2 jsou znázorněny některé problémy, které jsou s využitím zjednodušených modelů spojeny. Skutečné rozdělení kontaktních napětí v základové spáře při zatížení osamělým břemenem dle obr. 2a závisí na vzájemném poměru tuhostí desky a podloží. Pokud použijeme zjednodušené částečně rovnoměrné rozložení kontaktního napětí dle obr. 2b je nutno stanovit poloměr r plochy na níž je nenulové rozdělení napětí; velikost p kontaktního napětí určíme pak z podmínky rovnováhy ve svislém směru. Je zřejmé, že má-li být uvedené zjednodušení výstižné musí poloměr roznášecí oblasti a tedy i velikost kontaktního napětí p záviset na poměru tuhosti desky a podloží.

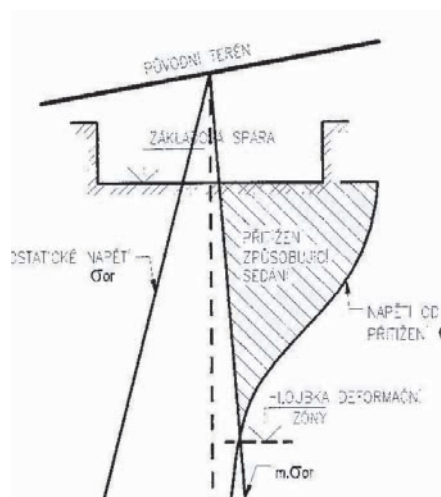


Obr. 2 Kontaktní napětí v základové spáře: a) skutečné rozdělení zóny, b) zjednodušené rovnoměrné rozdělení kontaktního napětí

Pokud srovnáme výsledky určení napjatosti a deformace desek stanovené pomocí zjednodušených rozdělení napětí v základové spáře a v minulosti provedených analytických řešení založených na teorii pružnosti, která uvažují poddajnost desky a podkladu, je možno konstatovat, že analyticky odvozené vztahy⁵⁾ jsou podstatně výstižnější než zjednodušené řešení.

2.2.2 Hloubka deformační zóny

Hloubka deformační zóny podloží je omezená oblast podložní zeminy, ve které dochází ke vzniku nezanedbatelných deformací od přitížení povrchu podloží. Za nezanedbatelné deformace jsou označovány takové deformace, při kterých dochází k porušování struktury zeminy, tj. k překročení smykové pevnosti na kontaktu zrn zemního skeletu⁶⁾ a zrna zemního skeletu se začínají vzájemně



Obr. 3 Stanovení hloubky deformační zóny

2) Fyzikální nelinearita u podloží je definována tvarem pracovního diagramu.
 3) Jedná se o tzv. jednostrannou vazbu, při které po překročení určité hodnoty normálového tahového napětí působícího ve směru normály k základové spáře v ní dochází k „odtržení“ desky pod podloží. Obdobně lze vyjádřit jednostrannou vazbu ve směru tečném k danému bodu základové spáry: při překročení smykové pevnosti kontaktu deska-podloží dochází k porušení kontaktu – vektory posunutí v tečném směru ke spáře v desce a v podloží si již nejsou rovné.
 4) Podrobněji odst. 1.2 tohoto příspěvku.

5) Jedná se např. o vztahy odvozené Westergaardem, Gorbunovem-Posadovem, nebo Meyerhoffem, resp. dalšími autory.
 6) Strukturální pevnost je definována normou ČSN 73 1001 jako m -násobek geostatického napětí v zemině; m je opravný součinitel, který závisí na druhu zeminy. Lze jej např. určit dle tab. 10 citované normy.

posouvat a pootáčet. Pokud je napjatost v zemním tělese menší než strukturální pevnost zeminy, dochází pouze ke stlačování zrn zemního skeletu bez jejich vzájemného posunutí a pootočení – deformace takto zatíženého zemního tělesa nebo jeho části jsou zanedbatelné.

Princip stanovení hloubky deformační zóny je znázorněn na obr. 3, kde značí σ_{or} geostatické napětí, σ_z svislou složku napětí od působících přitížení a m opravný součinitel přitížení. Hloubka deformační zóny je definována jako oblast (měřená od povrchu zeminy), na který působí přitížení vnějším zatížením, ve které platí:

$$\sigma \geq m\sigma_{or}.$$

Přitom je nutno poznamenat, že pro různé zatěžovací stavy (různé kombinace zatížení působících na desku) se hloubka aktivní zóny mění. Není proto možné, jak to někteří projektanti běžně provádějí, vypočítat vnitřní síly, deformace a sedání desky od „základních“ zatížení a ty potom kombinovat.

2.2.3 Model podlahové desky

Podlahová deska je plošná konstrukce pro jejíž řešení lze většinou užít Kirchhoffovy teorie tenkých desek. Tuhost betonové desky v daném průřezu a její vnitřní síly závisí na tom, zda se na konstrukci vyskytují trhliny či nikoliv; pokud se trhliny vyskytují, tak závisí na jejich vzdálenosti i na hloubce trhlín.

Pro stanovení vnitřních sil v desce je možno – pro zjednodušení celé úlohy – stanovit vnitřní síly pro dimenzování mezních stavů únosnosti na konstrukci neoslabené trhlinami; ve výpočtu tedy uvažujeme plně působící betonový průřez. Vnitřní síly v extrémně namáhaných průřezích vypočtené za předpokladu pružného chování desky bez zahrnutí vliv trhlín vychází vyšší než při uvážení oslabení průřezů trhlinami a plastického chování materiálu desky. Naopak přetvoření desky vychází při pružně působících trhlinami neoslabených průřezích desky nižší než ve skutečnosti, kdy v betonu vznikají trhliny.

I když je rozdíl mezi pružným a fyzikálně nelineárním výpočtem desek významný, lze pružný výpočet použít pro návrh neboť

- při poklesu tuhosti desek dochází k příznivé redistribuci reakcí podkladu (čili kontaktních napětí) směrem k podporám, což odlehčuje mezipodporové oblasti desky,
- deska s trhlinami při dostatečné plasticitě průřezů je schopna dále přenášet část reakcí podloží „membránovým“ působením,
- ohybově potřhanou základovou desku zdola nevidíme a často bývá deska zakryta různými povrchovými úpravami, na kterých se poruchy shora neprozačují.

2.2.4 Interakce podlahové desky a podloží

Pro řešení úlohy chování podlahové desky na podloží je nutno zajistit nejen:

- a) Splnění základních rovnic pro desku dle obr. 4b, na kterou působí vnější zatížení $q(x, y)$ a reakce podkladu $p(x, y)$. Z těchto podmínek se určí sedání $w_d(x, y)$.
- b) Splnění základních rovnic zvoleného modelu podloží dle obr. 4c. Na povrch podloží působí kontaktní napětí $-p(x, y)$, kterému odpovídá sedání povrchu podloží $w_p(x, y)$, v základové spáře, ale i deformační podmínku:

$$w_d(x, y) - w_p(x, y) \Big|_{\Gamma_{pd}} = 0.$$

Pro řešení tenké desky vycházející z teorie pružnosti pak lze odvodit diferenciální rovnici:

$$B_{\beta} \cdot \Delta^2 s_d(x, y) = g(x, y) - p(x, y),$$

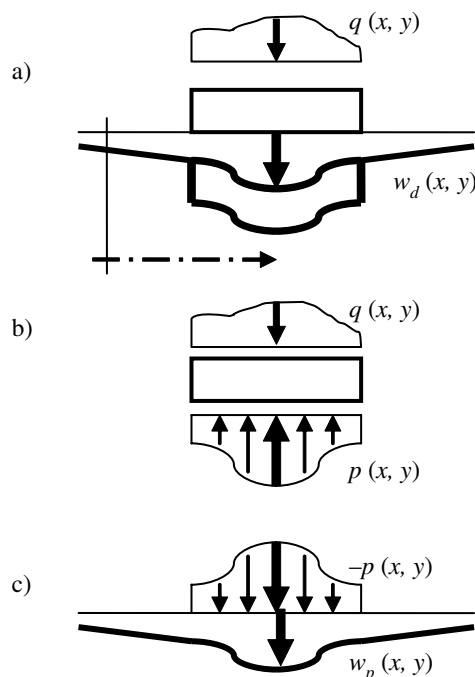
kde:

$B_{\beta} = Eh^3 \left(\frac{1}{12} (1 - \nu^2) \right)$	je ohybová tuhost izotropní desky ⁷⁾ ,
E	je modul pružnosti,
h	je tloušťka desky,
ν	je Poissonův součinitel,
$\Delta = \partial^2 \partial x^2 + \partial^2 \partial y^2$	je Laplaceův operator.

Přitom právě hodnota $p(x, y)$ závisí na druhu podloží.

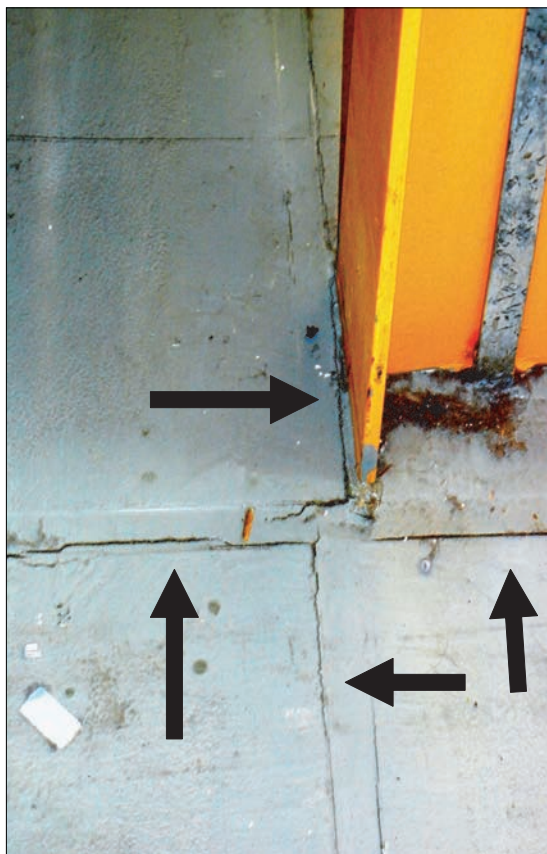
2.3 Problematika reálného statického působení podlahové desky

V poslední době se objevila na našem trhu celá řada firem, která nabízí návrh podlahové desky jako součást jejich dodávky. Pro vlastní návrh jsou užívány programy, které byly do ČR dodány jako součást „know how“ zahraničních firem. Bohužel tyto programy jsou zpracovány podle jiných předpisů než platí v ČR, někdy není také dostatečně známý jejich teoretický základ. Statik je pak odsouzen k tomu, aby bezmezně důvěřoval předaným výsledkům.



Obr. 4 Schéma řešení interakce podlahové desky a podloží: a) celková situace, b) deska: působící zatížení $q(x, y)$, $p(x, y)$ a průhyb $w_d(x, y)$, c) odloží: působící zatížení $-p(x, y)$ a sedání $w_p(x, y)$

⁷⁾ V případě ortotropní desky se směry ortotropie x a y a s ohybovými tuhostmi $B_{\beta,x}$ a $B_{\beta,y}$ je možno stanovit náhradní tuhost $B_{\beta} = \sqrt{B_{\beta,x} \cdot B_{\beta,y}}$ nebo přijít z izotropní formulace problému deformace a napjatosti desky na formulaci ortotropní. Poznamenejme, že pokud pro řešení používáme algoritmy metody konečných prvků lze obvykle snadno ortotropní formulaci zadat pomocí vstupních údajů.



Obr. 5 Trhliny v oblasti sloupu haly

Častou chybou bývá, že je výpočet vnitřních sil v desce perfektně proveden pro pole desky, tj. pro případ, kdy na dilatační celek působí břemeno (kolový tlak, stojka regálu aj.) ve všech možných pozicích, zatímco případ, kdy sloupy haly jsou založeny na pilotách, resp. na patkách není dostatečným způsobem zohledněn (resp. v horším případě není řešen vůbec). V tomto případě vznikají poruchy zejména v oblasti sloupů haly – obr. 5.

2.3.1 Nevhodný návrh skladby vrstev v podloží

Firemní programy, které jsou pro návrh podlahových desek používány mohou uvažovat i vrstevnaté podloží, ale obvykle neřeší časový rozvoj deformace podloží. Proto je ve velké většině statických výpočtů posuzován jen první mezní stav (únosnost) a použitelnosti (zejména nerovnoměrnému sedání – např. diferenční sedání definované v hodnotách mm/m, resp. šířce trhlin) není věnována dostatečná pozornost.

Často tak dochází k tomu, že v horní části aktivní zóny geologického profilu je poměrně tuhá vrstva (vápenná stabilizace, šterkopískový podsyp atd.) na kterém je uložena tepelná izolace a na ní provedena vlastní deska, zatímco v nižších vrstvách geologického profilu (které se nachází v aktivní zóně) jsou nekvalitní vrstvy zeminy s malými deformačními moduly (kolem 5 MPa), které přispívají ke vzniku poruch od dlouhodobého zatížení.

2.3.2 Poddimenzování vlastní betonové desky

V důsledku nerespektování podpor pro sloupy haly pod deskou bývá konstrukce desky poddimenzována zejména v oblasti sloupů, čímž dochází k rozevírání trhlin. Přitom pomocí přídatné betonářské

výztuže je možno velmi snadno vzniku těchto poruch zabránit. V poli bývá konstrukce obvykle nadimenzována správně.

Je však na místě upozornit na nutnost zohlednit při návrhu konstrukce desky vliv smršťování a – pokud je přípustná šířka trhlin – i vliv reologických vlastností podloží v celé oblasti aktivní zóny.

2.3.3 Další negativní vlivy

Rovněž definice úlohy (zadání pro projektanta od investora) není v některých případech na dostatečné úrovni. Chybí definice v úvahu přicházejících zatěžovacích stavů a jejich kombinace (které se mohou zejména pro výrobní provozy významně lišit), hodnoty přípustných deformací, resp. požadavky na vznik a šířku trhlin.

3. CHOVÁNÍ PODLAHOVÉ DESKY V ZÁVISLOSTI NA DEFORMAČNÍCH PARAMETRECH PODLOŽÍ (PŘÍPADOVÁ STUDIE)

Komplikovanost návrhu podlahové desky – zejména nutnost modelování interakční úlohy „podlahová deska na podloží“ – dokumentuje následující numerická studie vlivu skladby geologického profilu a jeho případných úprav na deformace a vnitřní síly v desce.

3.1 Popis řešené konstrukce

Studie je provedena na výseku obdélníkové desky 6,0×10,8 m. Deska tloušťky 150 mm je uložena na vrstvě polystyrénu tl. 50 mm, který je položen na srovnaném povrchu terénu. Výsek byl volen tak aby bylo možno využít pro okrajové podmínky symetrie zatížení. Výseky jsou řešeny programem NEXIS, parametry podloží $c1$, $c2x$ a $c2y$ jsou stanoveny iteračním výpočtem z počátečních hodnot programem SOILIN, který je součástí NEXISU; každý zatěžovací stav musí být řešen odděleně.

Řešený výsek desky je zatížen vlastní tíhou desky, dále stojany regálů po vzdálenostech 2,7 m v podélném směru a 1,25 m v příčném směru haly. Pod regály je dále uvažováno zatížení paletami se zbožím a v uličce je uvažováno nahodilé zatížení od provozu. Hodnoty zatížení v extrémních hodnotách dle ČSN 73 0035 jsou:

- břemeno od stojky regálu: samostatná (krajní) stojka 40,8 kN, vnitřní stojka 81,6 kN,
 - vlastní tíha desky 4,1 kN/m²,
 - nahodilé zatížení: v uličce 24 kN/m², od palet 12 kN/m²,
- dále bylo uvažováno zatížení vysokozdvíhým vozíkem.

Geologický profil je tvořen do hloubky 0,4 m pod úroveň terénu vrstvou, u které byla z důvodů omezení deformací provedena vápenná stabilizace (modulem deformace $E_{def} = 55$ MPa). V rozsahu 0,4 až 2,5 m je uvažována vrstva zeminy s modulem deformace měnícím se od 3,5 do 20,0 MPa. Od hloubky 2,5 m až do 7,0 m je uvažován hlinitý písek s modulem deformace $E_{def} = 10$ MPa. Od 7,0 m je počítáno s nestlačitelným podložím.

3.2 Vliv redukce 3D úlohy na úlohu 2D

Pro výpočet vnitřních sil v desce na podloží byly použity programy NEXIS a ANSYS.

V NEXIS-u byla užitá 2D formulace, která vychází z teorie publikované V. Kolářem a I. Němcem založené na redukci podle Pasternakovy teorie. Tuhosti byly stanoveny programem SOILIN dle teorie efektivního napětí pro každý zatěžovací stav samostatně.

Programový systém ANSYS byl použit pro modelování úlohy jako trojdimenzionální.

Byly řešeny následující zatěžovací stavy SV1: vlastní tíha desky 4,1 kN/m², SV2: regály + palety na zemi, SV3: zatížení pouze regály, SV4: zatížení v uličce, SV5: zatížení regály + palety na zemi pod regály + zatížení v uličce, SV6: vysokozdvizný vozík. Ve stavech SV2 až SV6 byla samozřejmě kromě popsaného nahodilého zatížení uvažována také vlastní tíha. Řešení bylo provedeno jako fyzikálně lineární.

Některé výsledky (vypočtené vnitřní síly) v řezu 1, 2: pod stojkami regálů ve směru kolmém na uličku mezi regály (momenty m_y), v řezu 3: pod stojkami regálů ve směru osy uličky mezi regály pod střední řadou stojek (moment m_x), v řezu 4: zhruba v ose uličky mezi regály (moment m_x) jsou uvedeny v tab. 1. V tabulce jsou vypsané dimenzační momenty, získané dle vztahu:

$$m_{id} = m_i + \text{sign}(m_i) \cdot |m_{xy}|$$

kde $i = x, y$.

Tab. 1 Vypočtené vnitřní síly

zatěžovací stav	místo	NEXIS		ANSYS	
		m_{yd} [kNm/m]	m_{xd} [kNm/m]	m_{yd} [kNm/m]	m_{xd} [kNm/m]
SV2	řez 1	14,4		11,24	
	řez 2	14,4		11,24	
	řez 3		22,18		20,5
	řez 4		-8,6		-14,6
SV3	řez 1	15,2		9,8	
	řez 2	15,2		9,8	
	řez 3		20,4		17,8
	řez 4		-5,7		-7,0
SV4	řez 1	-0,9		-1,5	
	řez 2	-1,0		-1,5	
	řez 3		-5,2		-8,7
	řez 4		4,3		-7,6
SV5	řez 1	15,4		9,0	
	řez 2	14,2		9,0	
	řez 3		18,5		8,3
	řez 4		-3,7		3,2
SV6		9,1	10,5		

Extrémní dimenzační momenty v desce vypočtené oběma systémy jsou zhruba srovnatelné. Je však nutno upozornit, že v případě kdy je použita redukce prostorové úlohy na úlohu 2D a je-li řešeno více zatěžovacích stavů současně může být takto nesprávně vedeným výpočtem získána poměrně značná chyba jak v deformacích, tak i ve vnitřních silách. Tato chyba může v případě dimenzačních vnitřních sil činit až 30 % hodnot odpovídajících vnitřních sil získaných na prostorovém modelu.

3.3 Vliv způsobu založení nosné konstrukce haly

Dodavateli podlahových desek používané výpočtové programy obvykle vychází z Meyerhoffovy teorie pro zatížení podlahové desky osamělým břemenem (resp. kombinací břemen). Podle této teorie jsou tažena spodní vlákna podlahové desky a trhliny

se mohou rozvírat na spodním líci, což umožňuje použitelnost konstrukce podlahy.

Pokud však je deska uložena na podporách (ať pružných nebo poddajných) jsou tažena horní vlákna desky a případné trhliny mohou podstatným způsobem ovlivnit použitelnost desky. Některé pro dimenzování používané programy nerespektují vliv způsobu založení konstrukce haly, zejména piloty, resp. patky pod sloupy. Proto je nutno provést další výpočty, které tyto vlivy zohlední. Při zpracování této studie byl použit prostorový model úlohy sestavený v programovém systému ANSYS, který může vystihnout i tyto efekty. Byly uvažovány stejné zatěžovací stavy jako v odst. 3.2.

V místě, kde se pod deskou vyskytují piloty pod sloupy nosné konstrukce haly byla uvažována následující skladba: deska tl. 150 mm, polystyrén tl. 50 mm, $E = 12$ MPa, podsyp šterkopískový tl. 50 mm, $E_{def} = 35$ MPa, pilota průměr 400 mm. Bylo uvažováno již i s roznášením zatížení (osamělých břemen) až ke spodnímu líci desky jak to umožňuje ČSN 73 1201-86. Tím došlo k omezení (ke snížení) momentových špiček. Dosažené výsledky jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2 Srovnání vnitřních sil na modelech podlahových desek bez pilot a s pilotami

	model bez pilot		model s pilotami pod deskou			
	m_x [kNm/m]	m_y [kNm/m]	m_x [kNm/m]	m_y [kNm/m]	m_{xp} [kNm/m]	m_{yp} [kNm/m]
SV2	12,0	7,8	13,0	7,0	-18,0	-23,5
SV3	9,0	6,8	9,6	8,0	-12,5	-14,2

Z tabulky je zřejmé, že extrémní vnitřní síly (rozhodující pro dimenzování) vznikají v místech nad pilotou m_{xp} , m_{yp} (jsou tažena horní vlákna); tyto vnitřní síly přesahují až o cca 40 % hodnoty pod stojkami od regálů, od kterých jsou tažena dolní vlákna.

3.4 Vliv kvality vrstvy geologického profilu v aktivní zóně

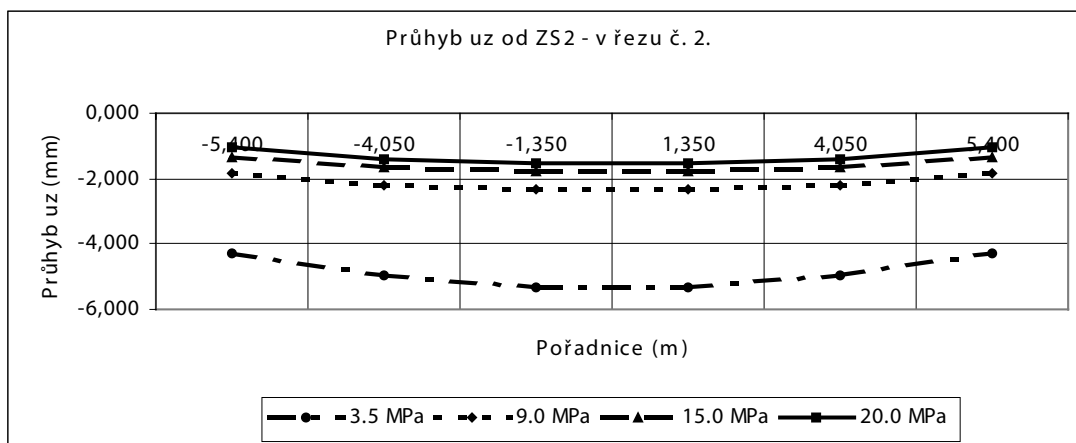
V uvažovaném geologickém profilu (odst. 3.1) se v hloubce 0,4 až 2,5 m uvažuje vrstva zeminy s modulem deformace měnícím se od 3,5 do 20,0 MPa. Na obr. 6 je zakreslen vliv kvality vnitřní vrstvy geologického profilu na sedání základové desky v charakteristickém řezu, na obr. 7 jsou průběhy dimenzačních momentů v desce v témže řezu.

Se zvyšujícím se modulem deformace střední vrstvy podloží dochází k menším deformacím. I když v tomto případě nebyly porovnávány stočení z grafů deformací u_z je patrné, že dochází i ke zmenšování diferenčního sedání (stočení). Z toho vyplývá, že změnou křivosti průhybové čáry dochází i ke změnám ve vnitřních silách.

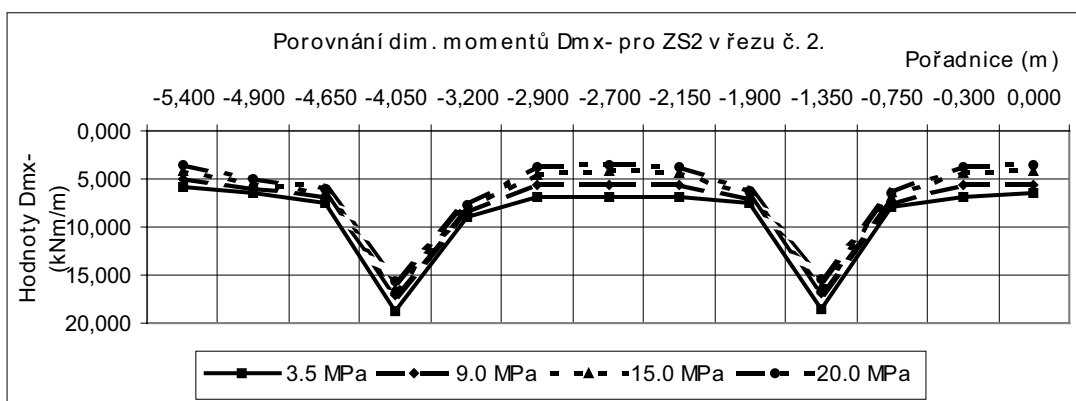
3.5 Vliv vyztužení vnitřní stlačitelné vrstvy

Z důvodů omezení deformací bývá obvykle navrhováno zlepšení přetvárných vlastností podloží mikropilotami, hřeby, resp. šterkopískovými pilotami (beraněnými nebo vibrovanými zeminovými pilíři).

V prezentované studii je uvažováno vyztužení vnitřní stlačitelné vrstvy o modulu deformace $E_{def} = 3,5$ MPa roztlačovanými mikropilotami o průměru 250 mm do hloubky 2500 mm pod úroveň původního terénu v síti rovnostranných trojúhelníků. Zabudováním mikropilot do poddajného zeminového prostředí v husté síti



Obr. 6 Vliv modulu deformace na sedání podlahové desky



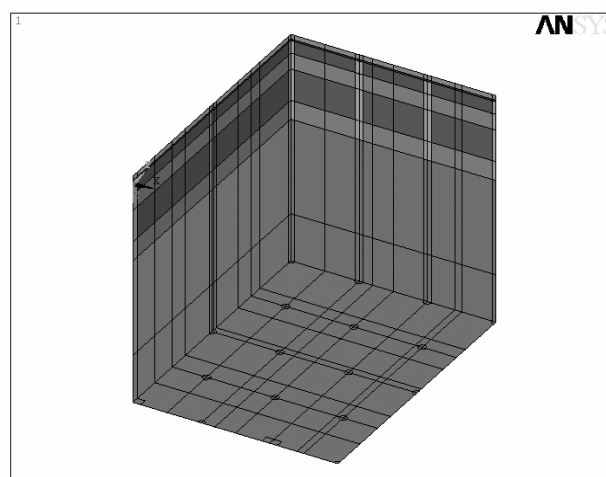
Obr. 7 Vliv modulu deformace na dimenzační ohybový moment

dochází ke stlačování původní zeminy a tím i k zlepšení jejich mechanických vlastností.

Poddajnost těchto vrstev se tím zmenšuje. Je sledován vliv hustoty mikropilot na vnitřní síly v desce a její deformaci. Model A01 představuje výsek ze zakladačové haly viz o rozměrech 6,75×9,0 m s pilotami pod sloupy ocelové haly. V dalších dvou modelech jsou uvažovány mikropiloty v síti rovnostranných trojúhelníků se stranou $a = 4,5$ m (model A02) a 2,25 m (A03). Řešení provedeno programem ANSYS 5.5, prvek SOLID 45, fyzikálně a geometricky lineární řešení. Schéma řešené oblasti je na obr. 8, na obr. 9 je zakresleno kontaktní napětí v základové spáře σ_z .

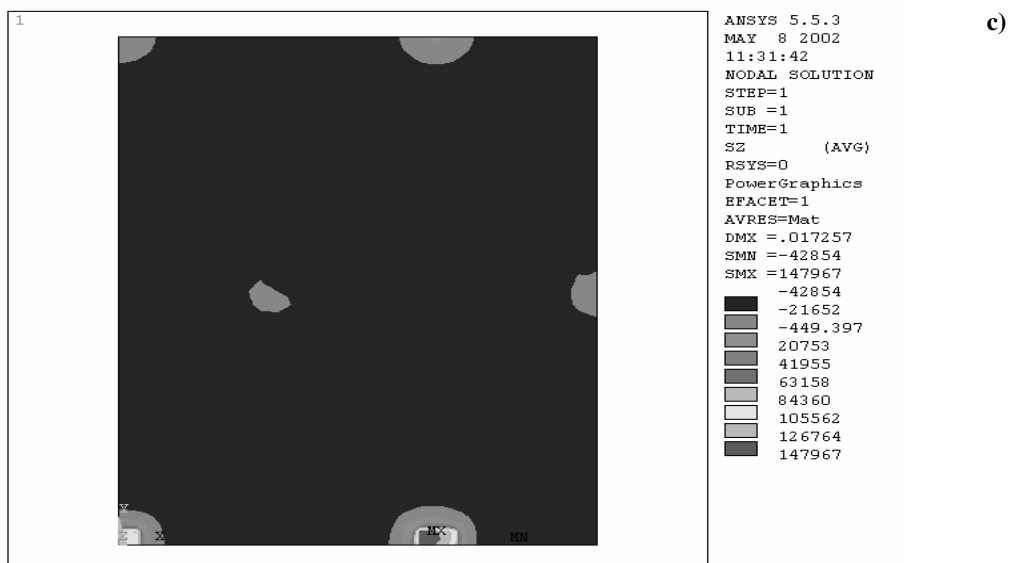
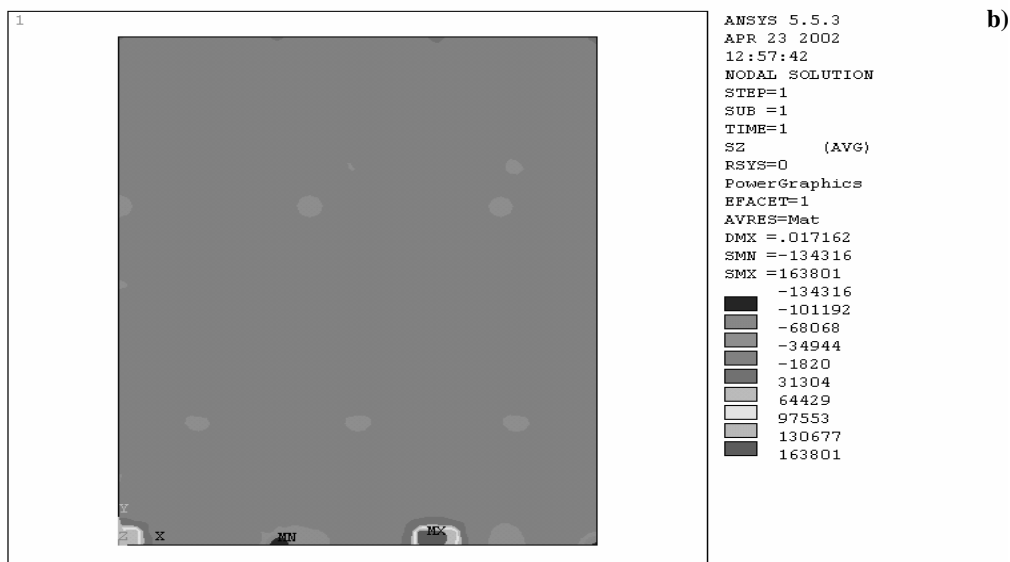
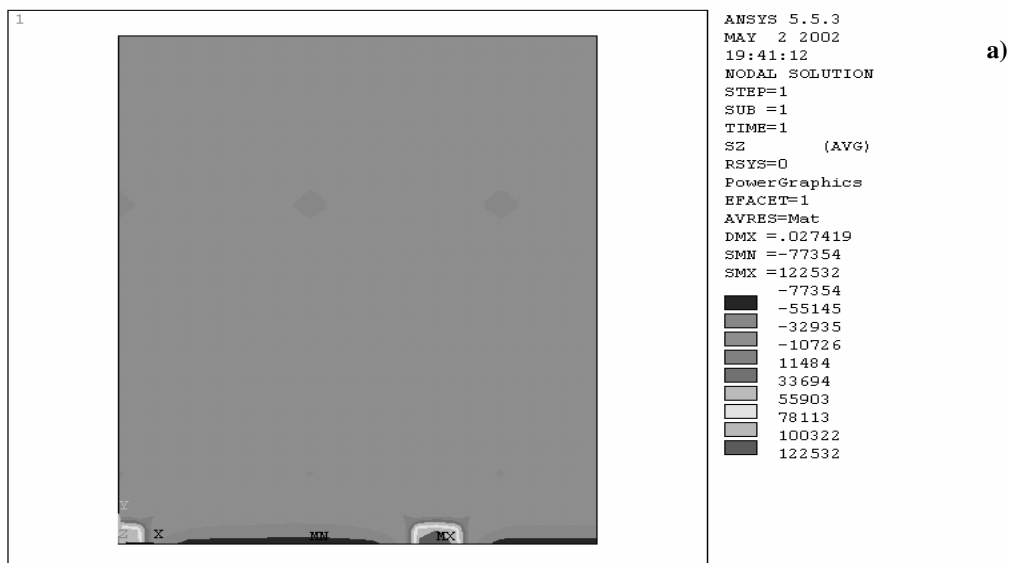
Tuhosti pilot a mikropilot stanovené z prostorového řešení programem ANSYS byly použity pro 2D modely v programu NEXIS. Při sestavování těchto modelů byla využita symetrie zatížení a geometrie haly. Vzhledem k rozsahu řešené úlohy mohla být řešena větší část haly o rozměrech 13,5×36. Piloty a mikropiloty jsou v modelu zohledněny jako pružné vazby s odpovídajícími tuhostmi (zjištěnými pro daný zatěžovací stav). Byly opět řešeny tři alternativy: model B01 představuje výsek podlahové desky bez mikropilot, model B02 (B03) má vloženy dodatečně provedené mikropiloty v síti rovnostranných trojúhelníků o straně 4,5 m (2,25 m).

Je zřejmé že vložení mikropilot dosáhneme zlepšení půdní mechanických vlastností původního podloží o cca 10 % pro

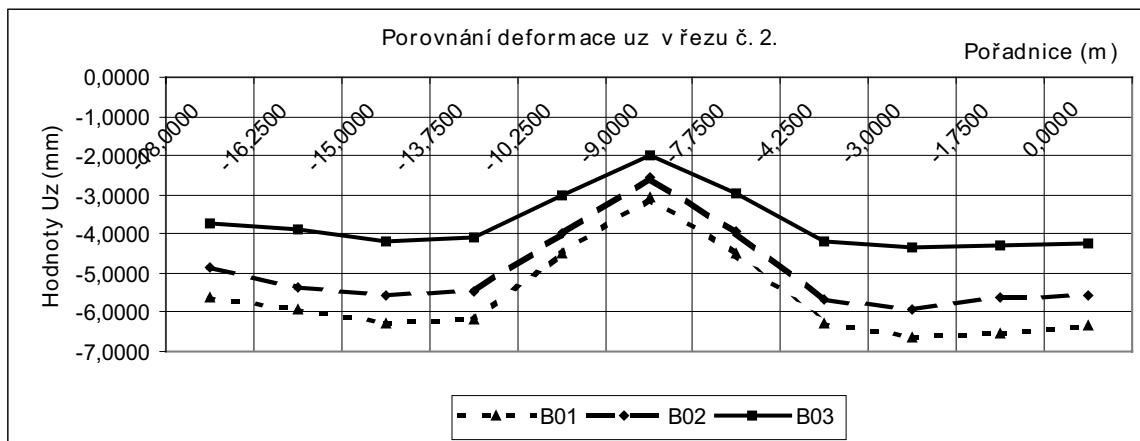


Obr. 8: Schéma řešené oblasti

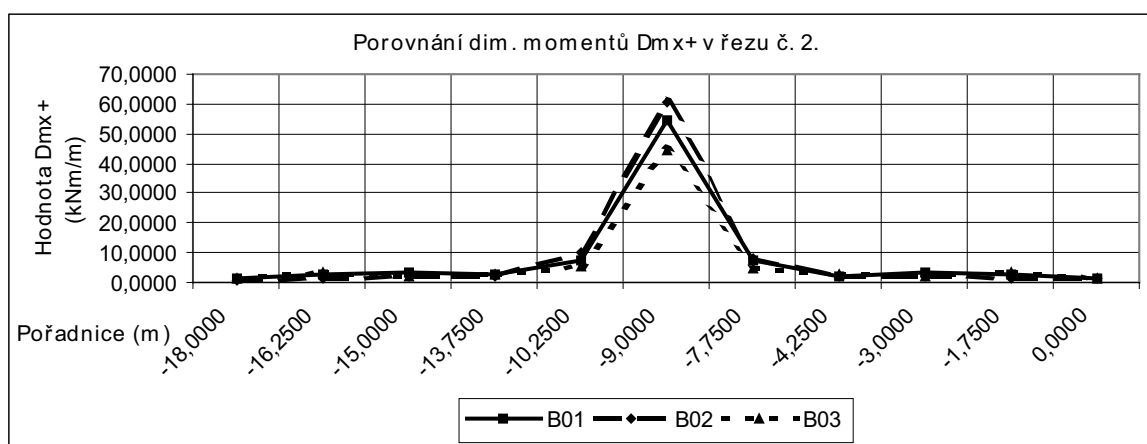
vzdálenosti 4,5 m a o cca 20 % pro vzdálenost 2,25 m v závislosti na vzdálenosti mikropilot. Dále se příznivý vliv mikropilot projeví významnějším zvýšením jeho celkové tuhosti. Jejich vlivem došlo k výraznému omezení svislých deformací, což se projevuje i na změně vnitřních sil (dochází ke snížení rozdílů mezi jejich extrémními hodnotami), obr. 11. Je patrné, že dochází nejen



Obr. 9 Kontaktní napětí σ_z : a) model A01, b) model A02, c) model A03



Obr. 10 Svislé posunutí (sedání) podlahové desky u_z



Obr. 11 Dimenzační momenty m^D_x

ke zmenšení sedání ale taky k zmenšení křivosti a tím i momentů v desce, což je patrné z obr. 10.

4. ZÁVĚR

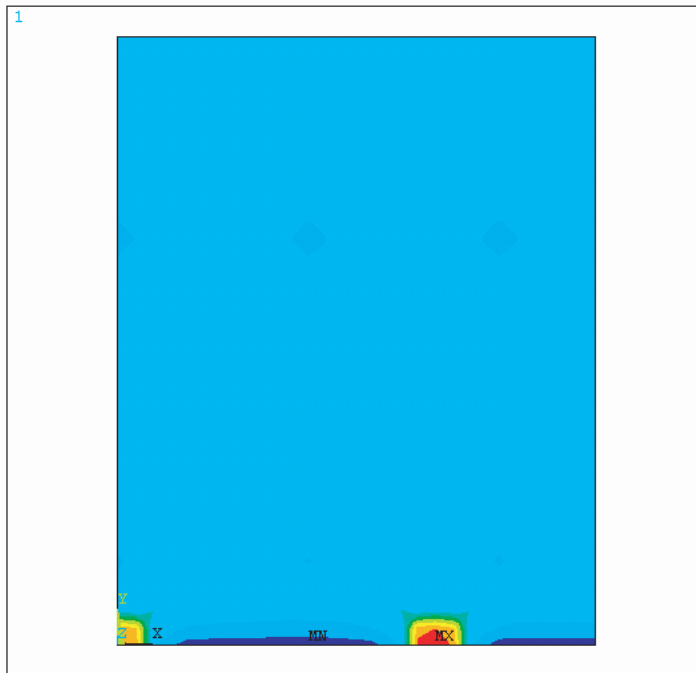
Sanace poruch podlahových desek je poměrně ekonomicky náročnou záležitostí. Přitom spolehlivost takto provedených oprav je závislá na technologické kázni pracovníků provádějících sanaci, životnost sanace obvykle nebývá bohužel v investorem požadované délce. Proto je vhodnější věnovat návrhu konstrukce podlahové desky patřičnou pozornost. Vynaložené zvýšené náklady na průzkum staveniště a na návrh vlastní konstrukce (případně i včetně dodatečného zesílení podložních vrstev např. šterkopískovými pilotami, resp. jinými úpravami) se v každém případě vyplatí, neboť konstrukcí nebude nutno nákladně sanovat.

5. PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek vznikl v rámci činnosti Centra CIDEAS (Centrum integrovaného navrhování progresivních stavebních konstrukcí), které vzniklo v rámci programu „Výzkumná centra PP2-DP01“ (1M) MŠMT ČR.

6. LITERATURA

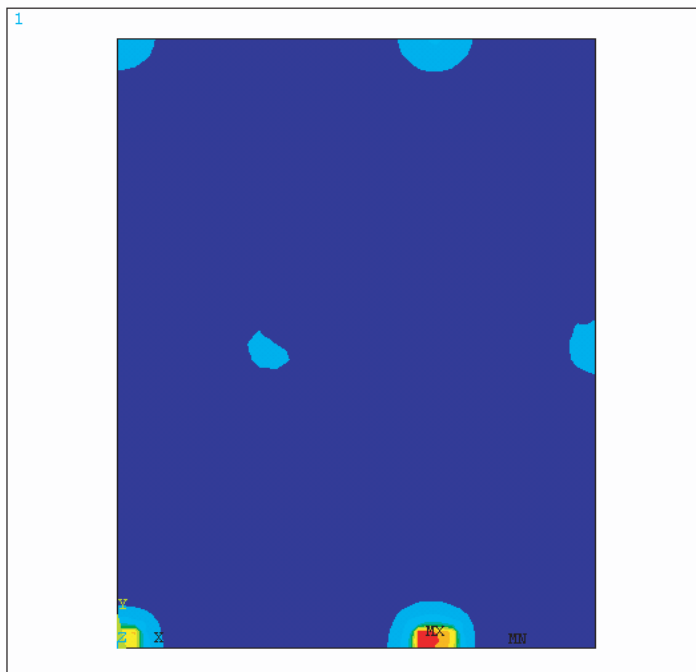
- [1] WESTERGAARD H. M.: Stress in Concrete Pavements Computed by Theoretical Analysis. *Public Roads*, V. 7, No 2, Apr. 1926.
- [2] MEYERHOF G. G.: Load carrying capacity of concrete pavements. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proceedings of the American Cosiety of Civil Engineers*. Vol. 88, June 1962, pp. 89–166.
- [3] ČSN 73 1201-86 Navrhování betonových konstrukcí.
- [4] EC2: Design of concrete structures.
- [5] ČSN 73 1208-87 Navrhování betonových konstrukcí vodárenských objektů.
- [6] Steel fibre reinforced industrial floor design in accordance with the Concrete Society TR34, *Dramix, Bekaert, 2004*.
- [7] Posouzení chování drátkobetonové desky na stavbě výrobní haly. *BESTEX, Brno, 2001*.
- [8] Concrete industrial ground floors (Supplement to Concrete Society Technical Report 34).
- [9] ACI 360 R – 1992.



ANSYS 5.5.3
MAY 2 2002
19:41:12
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SZ (AVG)
RSYS=0
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =.027419
SMN =-77354
SMX =122532

Dark Blue	-77354
Blue	-55145
Light Blue	-32935
Teal	-10726
Green	11484
Light Green	33694
Yellow-Green	55903
Yellow	78113
Orange	100322
Red	122532

a)



ANSYS 5.5.3
MAY 8 2002
11:31:42
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SZ (AVG)
RSYS=0
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =.017257
SMN =-42854
SMX =147967

Dark Blue	-42854
Blue	-21652
Light Blue	-449.397
Teal	20753
Green	41955
Light Green	63158
Yellow-Green	84360
Yellow	105562
Orange	126764
Red	147967

b)



ANSYS 5.5.3
APR 23 2002
12:57:42
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SZ (AVG)
RSYS=0
PowerGraphics
EFACET=1
AVRES=Mat
DMX =.017162
SMN =-134316
SMX =163801

Dark Blue	-134316
Blue	-101192
Light Blue	-68068
Teal	-34944
Green	-1820
Light Green	31304
Yellow-Green	64429
Yellow	97553
Orange	130677
Red	163801

c)

Obr. 9 Kontaktní napětí σ_z :
a) model A01, b) model A02, c) model A03