



Experimentální Analýza Napětí 2001

Experimental Stress Analysis 2001

39th International Conference

June 4 - 6 , 2001 Tábor, Czech Republic

METHOD FOR THE DESIGN OF FOUNDATION OF HEAVY MACHINE TOOL

METODIKA NÁVRHU ZÁKLADU VELKÉHO OBRÁBĚCÍHO STROJE

Václava Lašová

The paper deals with the computational method for the determination of the necessary foundation depth before foundation building is started. The foundation is an important stiffening element for the heavy machine tools and its stiffness influences directly the accuracy of machining. Further, the way of foundation stiffness measurement, which is used for the verification of the method, is described.

Keywords : foundations of heavy machine tools, FEM

1.Úvod

Základy pro velké obráběcí stroje jsou do jisté míry považovány za součást pracoviště, protože jejich výztužná funkce je u velkých obráběcích strojů nepominutelná. Stavba základu pod obráběcí stroj je ovšem nákladnou záležitostí, a proto je cílem jak výrobce stroje, tak i investora, navrhnout základ dostatečně tuhý, aby plnil svoji výztužnou funkci, avšak nepředimenzovaný, aby nebyl zbytečně drahý. Z tohoto důvodu je návrhům a kontrole základů věnována značná pozornost. V příspěvku je naznačena metodika, jak před stavbou základu stanovit potřebnou hloubku základu, aby stroj na něm ustavený mohl pracovat s garantovanou přesností. Uvedená metodika je přizpůsobena zejména potřebám velkých vodorovných vyvrtávacích strojů a portálů.

2.Požadavky na základ

Lože velkých obráběcích strojů bývají nízká vůči své délce a musí být tedy vyztužena základovým blokem .Požadovanou vlastností základu pod obráběcí stroj je jeho dostatečná tuhost, tj. odolnost proti deformaci při přemísťování velkých hmot. Při přejezdu stroje z jedné krajní polohy do druhé se základ nesmí prohýbat ani naklápět přes stanovenou kritickou hodnotu.

Usazování přesných obráběcích strojů na základ se řídí celou řadou předpisů, které se snaží eliminovat nežádoucí vlivy okolí.

Vlastní základový pás ovšem musí splňovat jistá kritéria, aby přesnost stroje mohla být garantována.

Účelem předběžného výpočtu je navrhnout základ vyhovující přísným kritériím výrobců stroje, ale nepředimenzovaný a tím i hospodárný.

3. Rozbor problému

Přesnost stroje je dána jeho vysokou statickou tuhostí a dynamickou stabilitou. Výsledná kvalita funkce stroje je dána komplexem poddajností jeho jednotlivých dílů, a v tomto řetězci hraje důležitou úlohu i základ, na který bude stroj instalován.

Tuhost uložení stroje je dána třemi základními komponenty

- podložím
- základovým blokem
- kotevními prvky.

Tyto komponenty se vzájemně ovlivňují a doplňují.

3.1 Kritérium pro dimenzování základu

Prostředkem k dosažení stanoveného cíle -tj. přesné funkce stroje- je zajištění dostatečné tuhosti jeho uložení. Pro konstatování, zda dosažená tuhost je již vyhovující je ovšem třeba zavést hodnotící kritérium. Toto kritérium v případě rozměrů základu obráběcího stroje vyplynulo z celé řady empirických měření hotových základů a následných posuzování jejich vlivů na chování stroje. Úkolem je tedy navrhnout a dimenzovat základ tak, aby jeho okamžité příčné i podélné úhlové deformace vyvolané hmotami stroje, otočného stolu a obrobku, nepřesáhly hodnotu danou zkušenostmi :

$$\varphi = 0,02\text{mm} / 1000 \text{ mm} = 0,00002 \text{ rad}$$

Z uvedené definice kritéria vyplývá základní rozdíl mezi čistě stavařským pojetím návrhu základu a požadavky strojírenské firmy na vlastnost základu. Nejedná se o kontrolu únosnosti základu, tato úloha bývá ponechána na úvaze stavební firmy, ale výhradně o jeho tuhost, vyjádřenou dle zvyklostí pomocí maximální přípustné úhlové deformace způsobené pohybem hmot stroje nebo obrobku.

3.2 Typy základů obráběcích strojů

Z hlediska proměrování základových pásů lze rozlišit 3 typy základů.

- Tuhý základ na pružném podkladě se chová jako blok a jeho průhyb je z větší části tvořen náklonem tohoto bloku.
- Pružný základ na tuhém podkladě - hodnoty jeho průhybu tvoří vlastní deformace betonového pásu.
- Třetí typ je přechodový - tj. pružný základ na pružném podkladě.

Toto rozlišení je určeno výpočtem pomocí jednoduchého vztahu [2]:

$$K = m \cdot B, \quad \text{přičemž}$$

$$m = \left(\frac{C \cdot A}{4 \cdot E_b \cdot J} \right)^{0,25}$$

kde :

C normální tuhost podloží (N/mm³)

A šířka základu (mm),

Jmoment setrvačnosti průřezu základu (mm⁴)
Ebmodul pružnosti betonu (MPa)
Bdélka základu (mm)

Hodnota K určuje typ základu, typy jsou shrnuty v tab. 1.

Tab.1

Typ základu	hodnota K
Tuhý základ na pružném podkladě	méně než 2,5
Pružný základ na tuhém podkladě	více než 4,5
Pružný základ na pružném podkladě	mezi 2,5 - 4,5

Rozdělení slouží především jako vodítko, který z komponentů je zřejmě slabým článkem výsledné soustavy.

V případě prvním je úhlová deformace tvořena z větší části náklonem základového bloku, z menší části jeho vlastní pružnou deformací. Většinou je třeba navrhnout úpravy směřující ke zkvalitnění podloží některou běžně užívanou metodou – např. podsypy základu materiálem s vyššími mechanickými vlastnostmi, eventuálně pilotáží.

V případě druhém je převládající pružná deformace základového bloku a je možno zlepšit výsledné hodnoty navržením větší tloušťky vlastního betonového základu.

Třetí případ je nejobvyklejší a vyžaduje mnohdy úpravy obou komponent systému.

3.3 Navržená výpočtová metodika

K výpočtu potřebné tloušťky základu je využit dvoukonstantový Pasternakův model podloží. Pasternakův model zpřesňuje stanovení normálové konstanty tuhosti pro vícevrstevné podloží a zohledňuje vliv interakce boků základu se zemínou užitím konstanty tuhosti podloží v tečném směru. K určení obou parametrů C1 a C2 Pasternakova modelu pro libovolné vrstevnaté podloží slouží program GEO, publikovaný v [2]. Tyto parametry jsou dále užity v řešení návrhu potřebné tloušťky základu pomocí FEM. Těleso základu je řešeno v kontaktu se zemním podložím, které je interpretováno soustavou diskretních pružin, majících v celkovém shrnutí vlastnosti podloží charakterisované parametry C1 a C2. Při diskretizaci vlivu podloží na základ je respektována poloha pružinových prvků vůči základu. Postup je iteračně opakován, dokud není dosaženo uspokojivé tuhosti základu.

3.3.1 Výpočtový model

A/ Zemní podloží

je modelováno jako pružný systém kontaktně svázaný se základem. Tento postup požaduje provedení geologického průzkumu odbornou firmou, která provede identifikaci nalezených geologických vrstev dle ČSN 73 1001, eventuálně jejich laboratorní vyšetření, směřující ke stanovení potřebných mechanických hodnot – tj. modulu celkové deformace zeminy, Poissonova čísla a hustoty. Podle principu izolace je posléze stanovena hloubka vrstev, která bude zahrnuta do výpočtu vlastností podloží. Tato hloubka aktivních vrstev je v literatuře stanovována mnoha způsoby, v této práci je užito osvědčeného způsobu stanovení hloubky aktivní zóny podle Altese [1].

Geologické vrstvy, které jsou zahrnuty v aktivní hloubce, zjištěné výše popsaným způsobem, se účastní stanovení výsledné hodnoty parametrů C1 a C2.

Parametry C1 a C2 jsou s využitím [3] stanoveny pro jednotlivé i-té vrstvy podle následujících vztahů :

$$C_1(i) = \frac{E(i) [1 - \mu(i)]}{z(i) [1 + \mu(i)] [1 - 2\mu(i)]} ,$$

$$C_2(i) = \frac{E(i) \cdot z(i)}{6[1 + \mu(i)]}$$

kde E [MPa]..... modul pružnosti vrstvy
 μ Poissonovo číslo
 z [mm]..... mocnost vrstvy

Celkové hodnoty C1 a C2 uvažovaného podloží jsou pak

$$C_1 = \frac{1}{\sum_{i=1,n} 1/C_1(i)} ,$$

$$C_2 = \frac{1}{\sum_{i=1,n} 1/C_2(i)}$$

kde n..... počet uvažovaných vrstev v deformační zóně.

B/ Základový blok

Při řešení pomocí FEM je možno popsat základ včetně jistých potřebných geometrických podrobností, jako jsou vyhloubení pro dopravníky třísek, či otvory pro umístění agregátu ap. a vyhodnocovat deformace v libovolných směrech.. Výpočtový model tělesa základu je tedy modelován jako prostorové těleso a jsou mu přiřazeny materiálové vlastnosti železobetonu.

C/ Kotevní prvky

Lože stroje je kotveno do základu základovými šrouby, nebo fixátory. Tyto kotevní prvky umožňují vyrovnání lože do potřebné přesnosti a zajišťují roznesení zatížení do plochy základu. Ve výpočtovém modelu jsou kotevní prvky uvažovány jako velmi tuhé elementy .

3.3.2 Okrajové podmínky řešení

Systém výše popsaných komponent výpočtového modelu je omezen okrajovými podmínkami řešení, které popisují jeho vazby s okolím. Výpočtový model je upevněn na hranici aktivní deformační zony. Vnější zatížení je modelované tíhovými silami, které popisují vliv pohyblivé části stroje nebo obrobku. Vliv lože stroje i stolu je uvažován jako plošný tlak.

Umístění tíhových sil je dáno polohou stroje nebo obrobku. Volí se extrémní zatěžovací stavy :

- stroj na kraji základu, obrobek na kraji základu
- stroj uprostřed základu, obrobek co nejbliže k základu stroje ap.

3.3.3 Řešení FEM

V prostředí FEM procesoru je zhotovena geometrie základu, a definována síť prostorových prvků. Je třeba zadat materiálové konstanty zeminy i železobetonu - moduly pružnosti, Poissonovy konstanty a hustoty.

Hodnoty C1 a C2 lze vnést do FEM modelu celou řadou způsobů. Zde je užito diskretizace do pružinových elementů spojených s vlastním základem kontaktní vazbou. Při diskretizaci do pružin je respektována poloha pružin vůči základu, tj. jsou rozlišeny pružiny rohové, hranové a vnitřní při diskretizaci hodnoty C1 a pružiny boční při diskretizaci hodnoty C2.

3.4 Vyhodnocení výpočtu

Výstupem z FEM výpočtu jsou průhybové čáry základu zatěžovaného v extrémních polohách pojezdu. Z těchto průhybových čar je vyhodnocen průběh úhlového naklonění, který je porovnáván s maximální dovolenou hodnotou. Pokud základový blok vyhovuje, je zjištěná hloubka založení doporučena. Pokud základ není vyhovující, je navrženo, buď vylepšení podloží, nebo zvýšení tloušťky základu, to podle dříve stanoveného typu základu. Celý postup je pak opakován, dokud se nedojde k vyhovujícím hodnotám.

3.5 Měření základu

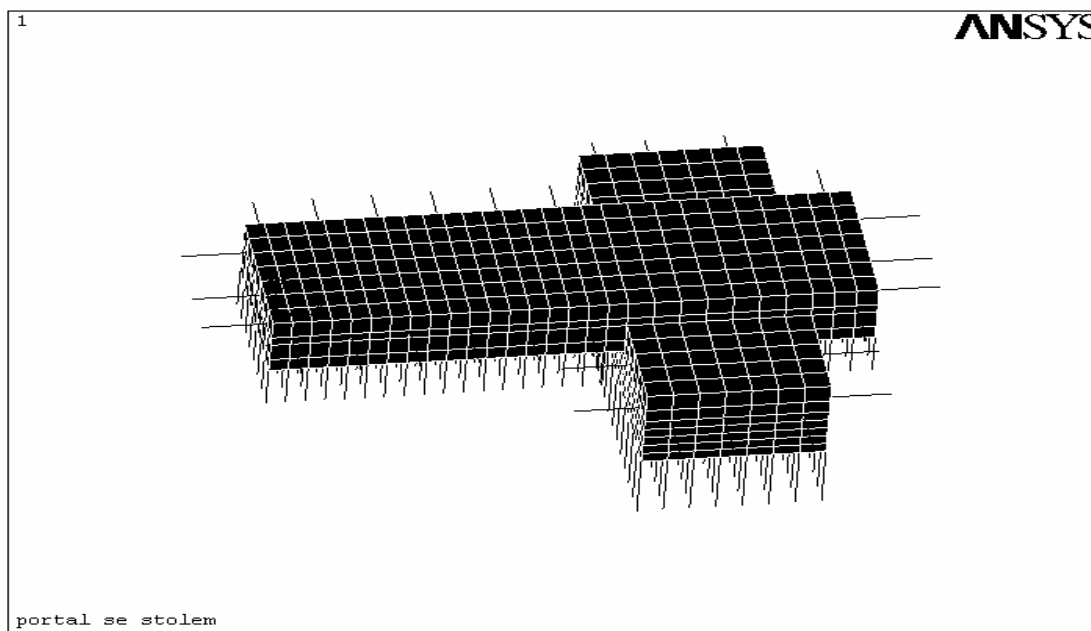
Vybudovaný základ, ještě před ustavením stroje, je proměřován. Funkci pohyblivých hmot stroje i obrobku přebírá zatěžovací závaží, minimálně o hmotnosti 0,6 hmotnosti stroje, které je jeřábem postupně ustavováno do extrémních poloh. Měření je prováděno pomocí elektronických libel s citlivostí 0,01 mm /1000 mm, které jsou ustavovány na třibodových měřicích můstcích ve vzdálenosti min. 0,6 m od zatěžovacího břemene podle předepsaného plánu.

Snahou je zachytit maximální úhlové deformace základu. Měření jsou náročná, protože úhlové deformace základu nabývají velmi malých hodnot.

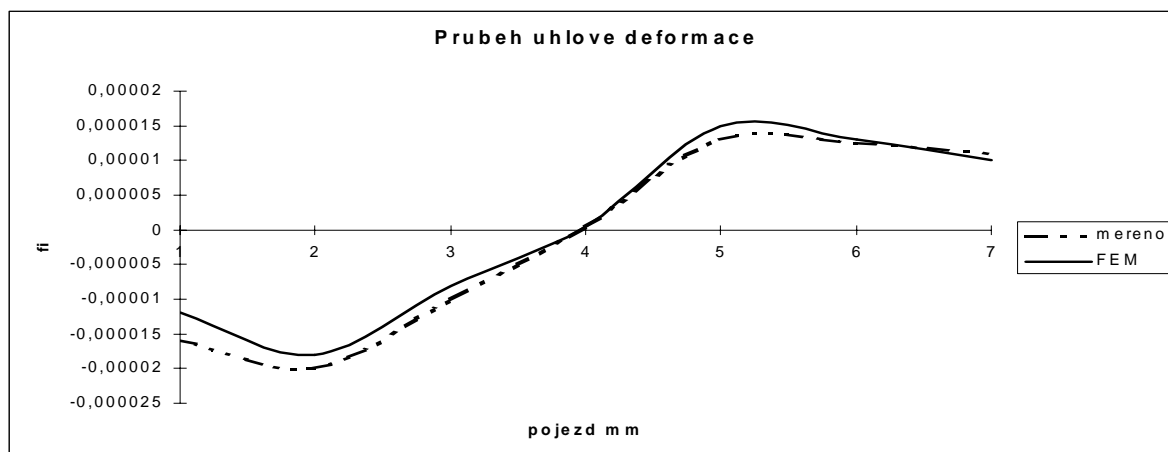
Závaží je v prvním kroku umístěno doprostřed proměřovaného základu a měřicí libely se ustavují po jeho obou stranách. V druhém kroku je závaží umístěno do krajní polohy pojezdu stroje a libely jsou ustaveny uprostřed. Tento způsob umožňuje změřit maximální úhlové deformace základu způsobené jak jeho vlastními pružnými deformacemi, tak jeho nakloněním.

Měření je rovněž možno potvrdit dříve výpočtem stanovený typ základu, což je velmi vhodné pro ověřování výpočtových předpokladů.

Příklad výpočtového modelu základu pro portálový stroj je na obr. 1, na obr. 2 je vyhodnocen průběh vypočtené a naměřené úhlové deformace tohoto základu.



obr. 1



obr. 2

4. Závěr

Uvedeným způsobem byly navrženy a následně proměřeny dvě desítky základových bloků pod těžké obráběcí stroje. Shoda naměřených a vypočtených hodnot se pohybuje okolo 90 %. Rozhodující ovšem je, že stroje pracují k plné spokojenosti zákazníků.

Práce je řešena v rámci VZ MSM 232100006.

Literatura :

1. Bakule,B., Čadek,V.,Šíma J.: "Foundations of large machine tools, Škoda revue 3,1983
2. Lašová,V.Černý,J.: Metodika výpočtu tuhosti základového pásu obráběcího stroje, ZN ŠMT Plzeň,1993
3. Kolář,V., Němec,I. : Energetické definice a algoritmy nového modelu podloží, Stavebnický časopis č. 26, Bratislava 1978