

SANACE ZÁKLADU POD OBRÁBĚCÍM CENTREM V ELBLĄG V POLSKU POHLEDEM PROJEKTANTA

Ing. Jiří Pechman
Amberg Engineering Brno a.s.

1. Parametry přesnosti strojírenské výroby

Požadavky na stabilitu a tuhost základů obráběcích strojů jsou dány potřebou zajistit vysokou přesnost obrábění. Ve stavebnictví požadavky na rozměry, odchylky a deformace končí u milimetrů, ve strojírenství se výrobky obrábí s přesností 10^{-2} mm až 10^{-3} mm. Na užité vlastnosti základových konstrukcí velkých strojírenských obráběcích center jsou z hlediska základové tuhosti a deformací v podstatě přeneseny stejné požadavky, jako na vlastní stroje.

2. Obráběcí centrum od firmy Waldrich-Coburg

Světovým výrobcem obráběcích strojů pro přesné obrábění velmi dlouhých a rozměrných výrobků je firma Waldrich-Coburg. Obráběcí centra mají upínací stoly pro obrobky fixovány na základové konstrukci a obráběcí nástroje umístěny na jednom nebo i na dvou pojízdných portálech. Portál pojíždí na velmi přesně ustavených drahách rovněž upevněných na základové konstrukci. Tuhost a deformační vlastnosti základu přímo ovlivňují provoz stroje a přesnost obrábění. Výrobce garantuje seřízení a přesnost obrábění jen za dodržení limitních deformací základu, stanovených velikostí relativního podélného a příčného náklonu i průhybu o hodnotě $\pm 0,004$ mm/m až $\pm 0,006$ mm/m.

Amberg Engineering Brno, a.s. v r. 1997 nabyli zkušenosti s projekcí a realizací základu pod obráběcím centrem v **DT Vyhýbkárna a mostárna s.r.o. Prostějov**. Na základě kladných referencí z této stavby se na nás v r. 2001 obrátil strojírenský koncern **ALSTOM Power Generation AG** s žádostí navrhnout a zrealizovat sanaci základu obráběcího centra v továrně na výrobu turbin **ALSTOM Power Sp. z o.o. v Elbląg v Polsku**. Obráběcí centrum od doby instalace v r. 1998 bylo pro závažné závady a nedostatky základu velmi často rektifikováno a nemohlo řádně pracovat.

Dvouportálové obráběcí centrum Waldrich-Coburg je opravdovým kolosem, kdy obdobných je na světě jen cca 10 kusů. Centrum má dva portály, každý o váze 142 000 kg, s příčně pohyblivými plošinami váhy 18 000 kg. Dráha pojezdu portálů má délku 34,70 m. Má tři obráběcí stoly - dva krajní jsou karusely průměru 7,000 m, střední je pevný. Na stoly lze umístit obrobky s maximální vahou 60 000 kg + 110 000 kg + 60 000 kg = 230 000 kg a rozměrech do délky 22,50 m, šířky 4,00 m a výšky 4,75 m. Celková váha stroje se zabudovaným technologickým příslušenstvím a obrobky je 912 200 kg. Centrum je určeno pro velmi přesné obrábění rozměrných skříní parních a paroplynových turbin. Obráběcí centrum je zobrazeno na přiloženém obrázku č. 1. .



Obr. 1 : Dvouportálové obráběcí centrum Wadrich-Coburg

Železobetonová základová konstrukce je šířky 12,10 m, délky 43,35 m a hloubky 7,50 m. V čelech základu jsou technologické kobky, spojené středovou průchozí štolou. Základ byl řešen pouze jako plošně založená konstrukce do základové vany s hydroizolací. Konstrukce základu trvale vykazovala závažné poklesy, deformace a snížení ohybové a smykové tuhosti. Beton základu má výrazně sníženou pevnost, jsou v něm trhliny a plochy nespojitosti. Od r. 1998 bylo na zpevnění základu vypracováno několik posudků, studií a návrhů, jak ze strany polských vysokých škol, tak i ze strany německých odborných firem. Základ byl 2 x sanován a zesilován s cílem zvýšit konstrukční tuhost, sepnout a stabilizovat vzájemnou polohu nespojitých částí. Přes předchozí provedené úpravy se nepodařilo nárůst deformací omezit a nebylo je již možno dlouhodobě kompenzovat rektifikací. Navíc častá rektifikace portálových drah znamenala závažné ztráty v produkci továrny. Vedení koncernu ALSTOM Power Generation AG stálo před rozhodnutím, zda základ ještě jednou sanovat nebo stroj demontovat a v továrně v Elbląg zrušit výrobu. Toto by mělo závažný dopad na zaměstnanost ve městě a celém regionu.

3. Hodnocení příčin závad

3.1 Technický stav konstrukce základu

Na základě dostupných podkladů jsme vyhodnotili **technický stav konstrukce základu** jako žalostný. Konstrukce vykazovala výrazné snížení smykové a ohybové tuhosti. Skutečná kvalita betonu kolísala od B15 po B35, přičemž projekt předepisoval B35. Došlo k separaci v horizontálních pracovních spárách a v příčném směru je základ potrhán svislými trhlinami na bloky délky cca 1,50 m až 2,50 m. Do trhlin pronikla olejová řezná emulze. Hydroizolace

vany byla poškozena a trhlinami v základu pronikala do technologických prostor uvnitř základu pronikala podzemní voda.

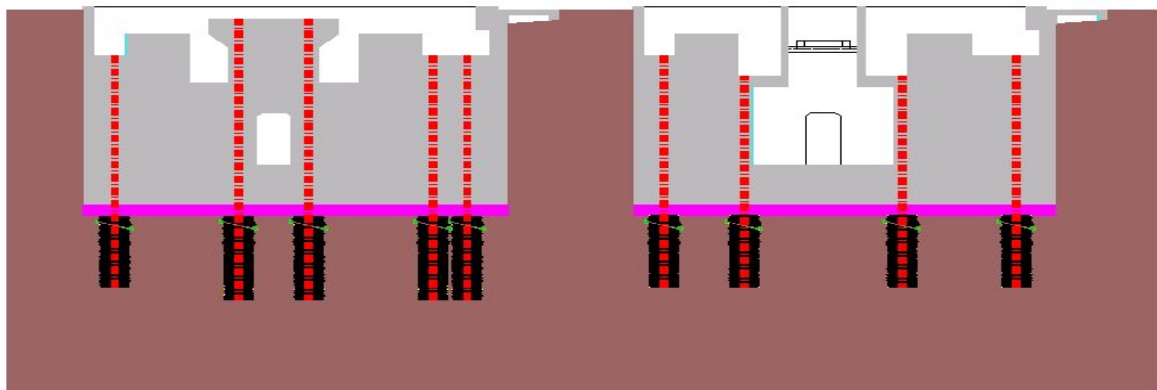
3.2 Geologický profil v lokalitě

Město Elbląg se nachází na východním okraji delty řeky Visly na pobřeží Baltského moře. V celé oblasti je geologická skladba monotónní – pokryvné souvrství rašelin a náplavových hlín mocnosti do cca 5,0 m je nepropustné a „plave“ na zvodnělém souvrství jemných říčních a mořských písků se štěrkem. Povrch terénu je cca +1,0 až +1,50 m nad mořskou hladinou. Pevný podklad pod písčitou vrstvou je tvořen tuhými morénovými hlínami s obsahem štěrku a skalních úlomků. V této oblasti i běžné obytné budovy nad 2 podlaží se zakládají na pilotách. Je s podivem, že místních poměrů znalá projekční firma řešila základovou konstrukci plošným založením. Plošné založení v daných podmínkách lokality je zcela nevhodné a nevyhovující.

V lokalitě továrny má spodní voda má výraznou napjatost - naražená hladina je v hloubce cca -5,50 m, ustálená v hloubce -1,50 m až -2,00 m pod podlahou haly. Blízká vodoteč a mořské pobřeží je příčinou velké cirkulace podzemních vod. Základová spára se nachází v souvrství zvodnělých jemných písků **vysoce náchylných ke ztekucení**. Vrstva písků pod základovou spárou má nestejnou mocnost : od 2,1 m do 5,2 m. Základ byl zhotoven v otevřené jímce pažené štětovnicemi. Závažnou chybou bylo, že v části obvodu základu štětovnice nedosahovaly svými konci ho úrovně podložních morénových hlín a neuzavíraly zvodnělé písky základového podloží proti volnému proudění podzemní vody. V jímce byla po dobu stavby snížena hladina vody cca o 6,5 m a v písčitém podloží došlo k projevům sufoze. Podložní vrstva pode dnem základové vany byla zhotovena z lomového kamene a hrubého štěrku. Toto opatření výrazně zvýšilo projevy sufoze, kdy pod dnem základové vany docházelo k procesu vplavování jemných zrněk písku do volných mezer mezi kameny.

4. Návrh sanačních opatření

Investorovi bylo navrženo jako jediné možné a optimální řešení podepřít základovou konstrukci vhodným počtem pilířů zhotovených metodou tryskové injektáže (dále jen TI). Pilíře TI byly doporučeny o průměru cca 0,80 až 1,0 m, prováděné technologií M1, dlouhé tak, aby jejich kořeny byly do morénových hlín zapuštěny minimálně 5,20 m až 6,50 m. Dle průběhu horizontu morénových hlín byly pilíře TI navrženy v délkách 10,00 m, 11,00 m a 12,50 m. Půdorysné rozmístění pilířů TI pod základem bylo řešeno v závislosti na prověřených deformačních parametrech zkušebních pilířů TI a na konstrukčním uspořádání základu. Umístění pilířů pod základem bylo rovněž závažně ovlivněno i technickými a technologickými možnostmi vlastního obráběcího centra i požadavky investora na vlastní realizaci sanačních prací.



Obr. 2 : Schéma příčných řezů základem s umístěním vrtů a podpěrných pilířů TI

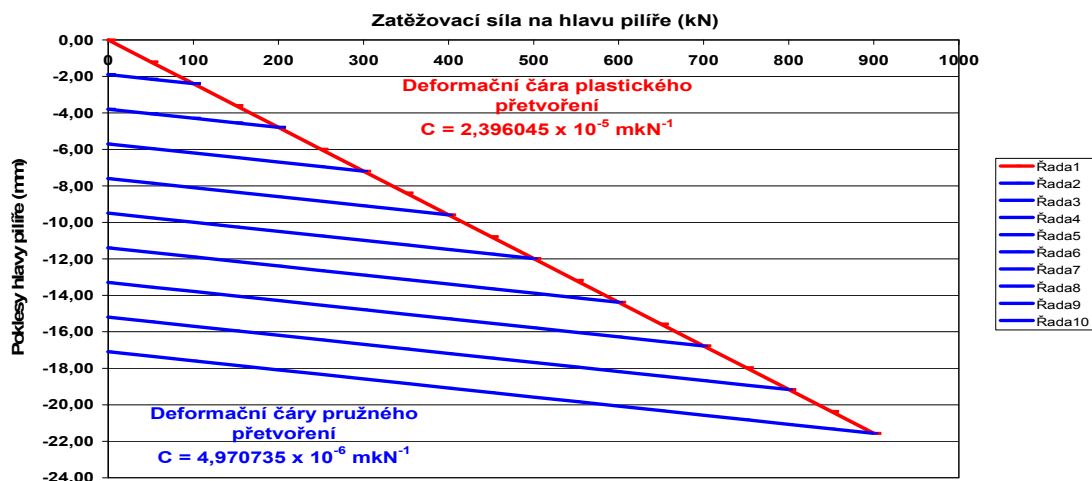
4.1 Zkoušky deformačních vlastností a únosnosti pilířů TI

Vlastnosti pilířů TI byly ověřeny zatěžovacími zkouškami na pěti zkušebních pilířích, zhotovených přímo na místě v blízkosti základu. Konstrukční uspořádání a provedení pilířů bylo řešeno zcela identicky s pilíři pod základem. Hlavy pilířů TI byly v hloubce -7,50 m pod povrchem, délky odpovídaly projektovaným délkám, materiál i technologie provedení byly shodné s projektem. Přenos zatížení na hlavy pilířů byl zajištěn speciálně zhotovenými ocelovými sloupy v pažených vrtech. Zatěžovacími kouskami byly zjišťovány deformační a pevnostní parametry pilířů TI a jejich materiálu. Důležité bylo ověření technologie provádění a časových snímků prací..



Obr. 3 : Zatěžovací zkouška zkušebního pilíře TI

U pilířů se prokázaly příznivé deformační vlastnosti a vysoká únosnost. Při zatížení 90 tun bylo sednutí v hlavě cca 16 mm až 32 mm, se zpevňujícím průběhem vývoje deformací..



Obr. 4 : Optimalizované deformační charakteristiky na hlavě pilíře TI

Provádění zkušebních pilířů TI a zatěžovacích zkoušek probíhalo ve vstřícné spolupráci mezi zúčastněnými firmami : **Amberg Engineering Brno a.s.** - řešitelem úkolu a nositelem zakázky, **Soletanche ČR s.r.o.** - zhotovitelem pilířů TI, **Soletanche Polska Sp. z.o.o.** - zajišťovatelem servisních prací a **GEOtest Brno a.s.** - zkušebníkem.

4.2 Projekt sanace základu

Zkouškami zjištěné parametry pilířů byly užity jako vstupy pro matematický model, jehož výsledkem byl definitivní návrh soustavy pilířů TI. Projekční řešení sanace obsahovalo podchycení základu 85 ks pilířů TI o jmenovitém průměru 1,00 m a délkách od 10,0 m do 12,5 m. Realizační práce byly z důvodu přesouvání portálů stroje rozčleněny do 3 etap. Podmínkou investora bylo, aby sanační práce probíhaly bez přerušení výroby na okolních strojích a zařízeních umístěných ve výrobní hale. Vrtání otvorů do betonu muselo být zajištěno bezotřesovým způsobem. Projektant musel smluvně garantovat nezhoršení špatného technického stavu základu otvory vrtů, vyřešit zamezení průniku podzemní a technologické vody do vnitřních prostor základu, vyřešit zajištění téměř absolutní čistoty během vrtání a provádění injekčních prací. Je nutno zdůraznit, že ve výrobní hale továrny je důsledně zajišťován úklid a dodržována čistota, které lze dát přívlastek „nemocniční“. Důsledné zajištění čistoty a ochrana nedemontovaných částí stroje před znečištěním po celou dobu prací bylo jednou z požadovaných priorit ze strany vedení továrny. Jakákoliv ponechaná zrnka písku a prachu v hale by mohla závažně poškodit přesné kontaktní plochy loží obráběcích strojů, břitů obráběcích nástrojů i obrobené plochy výrobků.

4.3 Realizace

Na základě předložených výsledků zkoušek a vypracovaného projektu sanace se představitelé koncernu **ALSTOM Power Generation AG** rozhodli sanaci základu uskutečnit. Realizace sanace proběhla v dubnu až květnu 2002. Generálním zhotovitelem a zajišťovatelem servisu byla za polskou stranu **Soletanche Polska Sp. z o.o.**, za českou stranu hlavním dodavatelem, garantem projektu a prací byl **Amberg Engineering Brno a.s.**, zhotovitelem pilířů TI byla **Soletanche ČR s.r.o.** a jejím subzhotovitelem pro vrtání potřebných otvorů do betonu základu bylo **Zakládání staveb a.s.**. Maximální délka všech stavebních prací v továrně - přípravných, realizačních a úklidových prací nesměla překročit limitních 39 dní.

Sanační práce ve zjednodušení zahrnovaly odkrytí betonové konstrukce základu, vytyčení polohy vrtů, zakrytí všech ploch základu a nedemontovaného technologického vybavení centra proti znečištění, zhotovení pracovních plošin a lešení, vrtací práce, injekční práce TI, vložení armokošů do vrtů, provedení dodatečné těsnící injektáže vrtů, úklid. Pro zajištění čistoty byly při vrtání a TI nasazeny na ústí vrtů vaničky, do kterých se jímá výplach a přebytečná injekční směs, s následným odčerpáváním do kalových jímek mimo halu. Vrty do betonu o průměrech od 132 mm do 143 mm byly vrtány jádrovými korunkami s vodním výplachem viz obrázky č. 5 a 6.



Obr. 5 : Vrtací práce v železovém betonu základu – provádí ZAKLÁDÁNÍ STAVEB, a.s.



Obr. 6 : Vrtací práce v železovém betonu základu – provádí ZAKLÁDÁNÍ STAVEB, a.s.



Obr. 7 : Realizace pilíře TI – provádí SOLETANCHE ČR

Vrt pod základem a tryskání pokračovalo vrtačkou MINIFOR Soletanche (viz obrázek č. 7.) s třístupňovým dlátem průměru 132 mm s výplachem cementovým mlékem o tlaku 10MPa, popřípadě s předřezem. Pilíře TI byly prováděny technologií M1, vzestupně, tryskacím monitorem se dvěma protilehlými tryskami $d = 2,40$ mm, injekčním tlakem 42 MPa při kroku zdvihu 3,5 cm s přerušením 9-10 sec a rotací 1,5 otáčky na krok. Spotřeba injekční směsi byla cca 800 l / m délky pilíře. Zhotovení každého pilíře TI bylo průběžně monitorováno zařízením PILOT SF 020 a nivelací. Ihned po zhotovení každého pilíře byl do vrtu osazen armokoš ze čtyř prutů $\varnothing R20$ mm, dosahující do hloubky 7,00 m pod úroveň základové spáry – viz obrázek č. 8.



Obr. 8 : Zesílení pilíře TI a vrtu v betonu základu vloženým armokošem

Vyztužení pilířů armokoši se významně osvědčilo. Hlavním cílem bylo zajistit dokonalý přenos tlakových i tahových sil mezi základem a pilířem TI. Druhotným účinkem bylo, že dříve zhotovené pilíře přikotvily základ k podloží a nedovolily nekontrolovatelné přizvednutí základu. Základová konstrukce v podstatě zůstala ve stejné poloze jako před sanací. Po zatuhnutí injekční směsi v pilíři byla v celé délce vrtu v betonu základu provedena dodatečná těsnicí injektáž cementovou suspenzí s příměsí bentonitu. V průběhu tryskání všech pilířů byly sledovány výškové změny polohy základu. Zde se významným způsobem osvědčilo vyztužení pilířů TI armaturou, kdy dříve zhotovené pilíře přikotvily základ k podloží a nedovolily nekontrolovatelné přizvednutí základu. Základová konstrukce v podstatě zůstala ve stejné poloze jako před sanací.

5. Závěr

Sanační práce znamenaly :

- zhotovení celkem 85 ks pilířů TI o celkové délce 939,5 m,
- v železovém betonu základu vyvrtání 544,2 m otvorů průměru min. 132 mm,
- pro zhotovení injekčních směsí spotřebu 760 tun cementu,
- zhotovení a vpravení 910,018 m³ injekční směsi do základového podloží,
- zpětné odsátí a odtěžení cca 230 m³ výronu přebytečné směsi z vrtů,
- spotřeba 12 tun betonářské oceli.

Podle kontrolního přeměření polohy portálových drah, které bylo provedeno po třech měsících provozu stroje, lze hodnotit sanaci za úspěšnou. Na jedné portálové dráze byl naměřen průhyb 0,100 mm vztažený k délce dráhy 34,700 m. Měření polohy dráhy je na obrázku č. 9. . Ani při předpokládaném dotvarování pilířů TI nedošlo k vývoji deformací, který by naznačoval možnost překročení garantovaných velikostí deformací.



Obr. 9 : Digitální vodováha NIVELTRONIK - zařízení pro měření nerovností portálových drah s přesností 0,001 mm.