

## **POZNATKY Z ŘEŠENÍ PROJEKTU VÝZKUMU A VÝVOJE** **ČBÚ Č. 50-06**

**Anotace:** Přednáška uvádí stručnou formou rozsah, průběh řešení a poznatky z řešení předmětného projektu vědy a výzkumu č. 50-06. Současně obsahuje krátké výňatky z kapitol zabývajících se historií vývoje brzdových ústrojí těžních strojů a z kapitol, jejichž náplní bylo shrnutí soudobých trendů v oblasti brzdových ústrojí u těžních strojů nových i modernizovaných. V závěru článku jsou stručně pojednány výstupy projektu.

**Abstract:** The article briefly summarizes the scope, solution, and findings of the project no 50-06. It also contains brief abstracts from those chapters that deal with the history of development of hoist braking apparatuses, as well as those that summarize the current trends in the field of braking apparatuses of hoists, both new and modernized. In closing, there is a brief description of the project findings.

### **Úvod :**

Na základě smlouvy s ČBÚ řešila firma INCO engineering, s.r.o. projekt výzkumu a vývoje P č. 50-06 „Zvýšení provozní bezpečnosti a spolehlivosti těžních strojů modernizací tlakovzdušných brzdových ústrojí“. V rámci řešení projektu byla provedena analýza stávajících bezpečnostních předpisů v oblasti brzdových ústrojí těžních strojů platných pro svislou dopravu a chůzi a jejich srovnání s předpisy polskými a německými. Dále byla realizováno podrobné shrnutí stávajícího stavu brzdových ústrojí provozovaných těžních strojů v ČR včetně přehledu těžních strojů dosud provozovaných v ČR. Dalším krokem bylo shrnutí soudobých moderních trendů v oblasti brzdového ústrojí nově vyráběných nebo modernizovaných těžních strojů a navržení variant modernizace tlakovzdušných brzdových ústrojí těžních strojů. Krátké výňatky z výše jmenovaných částí projektu jsou předmětem následujících odstavců.

### **Analýza stávajících bezpečnostních předpisů v oblasti brzdového ústrojí**

V této etapě byly představeny bezpečnostní předpisy týkající se brzdových ústrojí a to znění platné Vyhlášky ČBÚ č.415/2003 Sb. ve znění pozdějších předpisů, český překlad platného bezpečnostního předpisu polského a znění platného bezpečnostního předpisu německého rovněž v překladu do českého jazyka. Jejich vzájemné porovnání není jednoduché, neboť oproti českému předpisu jsou oba zbývající předpisy značně odlišně pojaty a koncipovány. Jejich rozsáhlost je v obou případech nesrovnatelná v porovnání s předpisem českým a rovněž lze obtížně nalézt shodu či podobnost v jejich struktuře a propracovanosti. Polský předpis je naproti tomu s německým v poměrně značné shodě, neboť z německého vzoru nepokrytě vychází a z jeho předností těží.

Platný bezpečnostní předpis německý tvoří obsáhlý celek, který je v oblasti brzdových ústrojí členěn do ucelených kapitol s následující strukturou:

*Všeobecné požadavky*

*Uspořádání brzd*

*Provedení brzdového zařízení*

*Mechanická pevnost brzdových zařízení*

*Řízení brzdových zařízení*

*Zvláštní zařízení*

*Brzdové účinky*

Platný předpis polský je rovněž členěn do tematických kapitol a jak již bylo shora uvedeno, svým rozsahem je velice podobný předpisu německému.

Český bezpečnostní předpis vychází z původního Výnosu č.12/1982 U.v. ČSR, přejal beze zbytku jeho původní schéma, přičemž odborná problematika týkající se brzdových ústrojí je řešena pouze v 19 odstavcích §22 a to bez jakéhokoliv systematického členění.

Pro porovnání lze (z důvodu jeho největší komplexnosti) vzít za základ německý bezpečnostní předpis a následně porovnávat obsah podle jednotlivých kapitol – viz PW presentace.

### **Stručný historický úvod**

Těžní stroje zajišťující vertikální popř. šikmou dopravu těžené horniny, dopravu mužstva a potřebného materiálu rozličné povahy mají v hlubinných dolech tradici sahající až do středověku. I když u těchto nejstarších dochovaných aplikací nelze přímo hovořit o těžních strojích, jako spíše o jednoduchých mechanismech pro zdvihání a spouštění břemen vesměs na bázi rumpálu.

Zásadní zlom přinesla tak jako u většiny ostatních druhů strojů průmyslová revoluce. Pro druhou polovinu 19. století byl mimo jiné typický rozmach hlubinné těžby převážně uhlí, které nacházelo rozmanité využití v průmyslové výrobě, obecné spotřebě a později i v začínající elektrifikaci. Tento rozmach byl zejména umožněn příchodem pístového tepelného motoru s vnějším spalováním, který je populárně znám jako parní stroj. Současně však vzrůstající požadavky hlubinné těžby kladly zpětně na parní pohon a konstrukci těžních strojů obecně stále vyšší a vyšší hranice a akcelerovaly jejich prudký vývoj. Parní stroje byly stále konstrukčně zdokonalovány a byla zvyšována jejich výkonnost maximálním využitím tlaku, intenzivním vývojem rozvodových mechanismů a zejména lepším využitím tepelného oběhu na základě pokroků teoretické termomechaniky. Z prvních relativně neohrabaných a málo spolehlivých parních strojů, které se objevily na našem území v první polovině 19. století, se tak během dalších cca 30-ti let staly hromadně vyráběné, velmi spolehlivé plně reverzibilní tepelné motory s vynikajícími regulačními vlastnostmi a výborným průběhem momentu. Také jejich výkony postupně výrazně rostly z původních několika desítek koňských sil až na řády megawatů. V součinnosti s výrazným zdokonalením pohonu bylo dosaženo rovněž značných pokroků v konstrukci navíjecích soustav u strojů bubnových, unášivých soustav u strojů s třecím kotoučem, kluzných ložiskových uložení, mechanismu hloubkoměrů a prvních automatizačních a zabezpečovacích prvků vesměs na bázi vaček, křivkových kol, narážkových bubnů, pojistných tlakových ventilů, řízených šoupátek a dalších mechanických a postupně i elektrických prostředků resp. přístrojů. Pokud jde o brzdová ústrojí, dospěl jejich vývoj k čelistovým brzdám rozličných konstrukcí, které byly ovládány parními válci. Brzy převládla konstrukce, u které byl zdrojem brzdové síly jízdní brzdy tlak páry, u pojistné brzdy pak gravitační účinek brzdového závaží, které tlak páry nadzdvihoval. Tato koncepce vcelku vyhovovala po stránce bezpečnosti, ale značné problémy přinášel fakt, že silové účinky od dvou nezávislých zdrojů se sčítaly, pokud působily současně. A to

nebylo možno nikdy vyloučit, pokud došlo k vybavení pojistné brzdy za situace resp. v okamžiku, kdy již probíhalo brzdění jízdní brzdou. To mohlo snadno vést k nekontrolovanému zpoždění stroje, což zejména u strojů s třecím kotoučem způsobovalo velmi nebezpečné stavy, neboť překročením kritických zpoždění hrozil neovladatelný pohyb dopravních nádob vlivem prokluzu lan. V letech předcházejících první světové válce se začaly objevovat první těžní stroje s elektrickým pohonem, který byl obvykle tvořen stejnosměrným pomaluběžným motorem s cizím buzením. Stejnosměrný pomaluběžný motor byl napájen z rotačního měniče tvořeného Ward-Leonardovým soustrojím. Tato změna se konstrukce brzdových ústrojí dotkla pouze v tom smyslu, že ovládací válce čelistových brzd byly provozovány na stlačený vzduch. V roce 1913 přišla firma Siemens s revolučním řešením. Uvedla totiž na trh kompaktní tlakovzdušný brzdový stroj, který obsahoval v pevném rámu válec jízdní brzdy a paralelně zdvihací válec závaží pojistné brzdy, přičemž důmyslná kinematika spojovací páky s plovoucím bodem otáčení zajišťovala, že se brzdový účinek jízdní a pojistné brzdy nesčítal ani když působily současně. Při správném seřízení byl u těchto brzdových strojů brzdový účinek shodný ať byl vyvozován tlakem vzduchu, nebo závažím. Vývoj mechanismu čelistových brzd mezitím dospěl k mechanismu s výkyvnými čelistmi a mechanismu s přímoběžným pohybem čelistí. To ve spojení s výše popsaným tlakovzdušným brzdovým strojem firmy Siemens, jehož konstrukční období začaly velmi rychle vyrábět i ostatní firmy, přivedlo brzdová ústrojí těžních strojů na tak (z hlediska funkce i provozní spolehlivosti) uspokojivou úroveň, že se tato konstrukční řešení vyráběla a instalovala až do sedmdesátých let minulého století. V té době však již rychle technicky i morálně zastarávala a začala být postupně nahrazována mnohem modernějším konstrukčním řešením tj. hydraulicky řízenými diskovými brzdami.

### **Analýza stávajícího stavu brzdových ústrojí těžních strojů provozovaných v ČR**

V této části předmětného projektu byl vypracován výčet těžních strojů pracujících v provozovaných dolech v České republice. Celkem se jedná o 41 těžních strojů, přičemž jejich průměrný věk činí 39,2 roku. Z hlediska brzdových ústrojí lze tyto stroje rozdělit do pěti skupin.

Do první skupiny patří těžní stroje vybavené mechanismem čelistové brzdy a tlakovzdušným brzdovým strojem s původním mechanickým ovládním. Toto konstrukční řešení zcela převažuje a používali jej oba tuzemští výrobci tj. ČKD i ŠKODA.

Druhou skupinu tvoří těžní stroje s diskovými hydraulicky ovládanými brzdami systému „Hydraulická pružinová disková brzda ČKD PBH 250 (125), kterým ČKD vybavovalo některé typy těžních strojů z produkce na přelomu sedmdesátých a osmdesátých let minulého století. Jednalo se o těžní stroje 1B 2014 (malá těžní zařízení) a výkonné čtyřlanové těžní stroje s třecím kotoučem 4K 5016.

Třetí skupinu pak tvoří dva stroje z předchozí skupiny, u kterých byl koncem devadesátých let nahrazen původní (již ve své době poměrně zastaralý) systém hydraulického ovládní moderním elektrohydraulickým systémem napájení a řízení brzdových jednotek HR5K-Teco.

Čtvrtou skupinu pak představuje pět těžních strojů, u nichž byl v nedávné době implementován moderní elektropneumatický systém řízení tlakovzdušných brzdových strojů Sistonik PR6 jako náhrada za zastaralé mechanické ovládní.

Poslední – pátou – skupinu představují dva těžní stroje 4K4016 (TZ 3/1 a 3/2 – důl Karviná), které byly v nedávné době podrobeny úplné modernizaci brzdového ústrojí. Mechanismus čelistové brzdy byl nahrazen osmi modulárními diskovými brzdovými jednotkami (po 4 na dvou stojanech). Napájení a řízení zajišťuje moderní elektrohydraulický brzdový systém Frenomatic HR11K s konstantním zpožděním při pojistném brzdění.

## Shrnutí soudobých moderních trendů v oblasti brzdového ústrojí nově vyráběných těžních strojů

Pro dnešní konstrukce nově vyráběných těžních strojů je v oblasti brzdových ústrojí typické a prakticky výlučné užití diskových hydraulicky řízených brzd. Řešení spočívá v použití modulárních diskových brzdových jednotek, působících v potřebném počtu na jeden či dva brzdové disky připevněné k bubnu resp. třecímu kotouči těžního stroje (obr. č. 2). Brzdnou sílu vyvíjejí u každé brzdové jednotky stlačené pakety talířových pružin, odbrzdování resp. řízení brzdné síly je hydraulické. Toto uspořádání je velmi kompaktní. Celkový počet instalovaných brzdových jednotek vždy vychází z potřebné brzdné síly. U těžkých aplikací však není výjimkou použití 24 brzdových jednotek, které jsou uspořádány po šesti na čtyřech nosičích. Vzhledem k tomu, že na těžním stroji je vždy větší počet brzdových jednotek a že selhání více brzdových jednotek v jednom okamžiku není prakticky možné, jsou tyto brzdové jednotky užívány jako zdroj brzdné síly jak pro jízdní tak pro pojistnou brzdu. Zálohování a jištění se tedy přesouvá do oblasti elektrohydraulického napájení a řízení. Výhody diskových brzd modulární koncepce napájených a řízených mnohonásobně jištěnými elektrohydraulickými brzdovými systémy jsou oproti čelistovým brzdám ovládaným stlačeným vzduchem velmi přesvědčivé.

Jedná se zejména o:

- značnou úsporu materiálu a hmotnosti (v porovnání s nesmírně rozměrnými a hmotnými díly čelistových brzd),
- mnohem vyšší účinnost brzdění,
- výrazně lepší brzdné charakteristiky,
- výborná regulace brzdné síly jednak vlivem mnohem menších setrvačných sil a jednak díky vysokým kvalitám hydraulické regulace,
- mnohem vyšší stupeň bezpečnosti díky použití velkého počtu samostatných brzdových jednotek,
- mnohem vyšší stupeň bezpečnosti napájecích a řídicích elektrohydraulických brzdových systémů.

Napájení a řízení výše popsaných brzdových jednotek je realizováno elektrohydraulickými brzdovými systémy (obr. č. 1), které jsou v současnosti vesměs mikroprocesorově řízeny a vybaveny pokročilou hydraulikou. Obecně musí tyto novodobé brzdové systémy zajišťovat následující funkce:

- řízení brzdových jednotek v režimu jízdní brzdy při ručním řízení stroje,
- řízení brzdových jednotek v režimu automatického provozu stroje,
- řízení brzdových jednotek v režimu pojistné brzdy (obvykle dvoustupňové),
- u dvoububnových strojů separátní řízení brzdových jednotek volného a pevného bubnu při překládání těžby.

Typickými rysy moderních brzdových systémů jsou vedle vyspělých regulačních vlastností také důmyslný systém programového zabezpečení, důsledné zálohování prvků v tekutinové i elektrické části, automatizace měření a velmi vysoká úroveň provozní bezpečnosti a spolehlivosti.

Z hlediska řízení brzdových jednotek v režimu pojistné brzdy lze rozdělit výše zmíněné systémy na dvě skupiny:

- Elektrohydraulické brzdové systémy s regulací na konstantní brzdnou sílu.
- Elektrohydraulické brzdové systémy s regulací na konstantní zpoždění.

Elektrohydraulické brzdové systémy s regulací na konstantní brzdou sílu regulují v průběhu pojistného brzdění tlak na konstantní hodnotu tzv. tlak prvního stupně pojistného brzdění. To pochopitelně znamená, že brzdové jednotky vyvíjejí v čase trvání prvního stupně konstantní brzdou sílu. resp. brzdový moment. První stupeň působí až do zastavení stroje resp. dosažení minimální rychlosti a poté nastupuje tzv. druhý stupeň, který sníží tlak v brzdových jednotkách na nulovou hodnotu a způsobí tak vyvození plné brzdé síly. Použití konstantní brzdé síly při pojistném brzdění vede k tomu, že dosažené průměrné zpoždění stroje se značně liší v závislosti na tom, zda je brzděna prázdná soustava, zda je brzděn stroj při jízdě se zátěží nahoru, či naopak se zátěží dolů.

Elektrohydraulické brzdové systémy s regulací na konstantní zpoždění regulují v průběhu pojistného brzdění tlak tak, aby stroj zabrzdil se stálým (nastaveným) průměrným zpožděním bez ohledu na velikost a polaritu zátěže.

### **Variety modernizace tlakovzdušných brzdových ústrojí těžních strojů**

Na základě poznatků z řešení projektu 50-06 lze říci, že variety modernizace tlakovzdušných brzdových ústrojí jsou principiálně tři. Je to:

- Varianta I. - modernizace tlakovzdušných brzdových ústrojí jejich náhradou moderními diskovými hydraulicky řízenými brzdami (zpravidla vyžaduje výměnu třecího kotouče či bubnu za nový opatřený brzdovými disky).
- Varianta II. - modernizace tlakovzdušných brzdových ústrojí instalací systému Sistonik PR6K/B případně instalací jiného obdobného systému, pokud by byl k dispozici (modernizace zahrnuje řídicí a ovládací část – vlastní brzdové stroje procházejí obvykle pouze repasí).
- Varianta III. - modernizace tlakovzdušných brzdových ústrojí instalací zcela nově navrženého systému hydraulického ovládacího s částečnou modernizací brzdových strojů.

### **Zpracování návrhu na doplnění právních předpisů Českého báňského úřadu, řešících bezpečnost a ochranu zdraví při práci a bezpečnost provozu při svislé dopravě a chůzi**

Návrh na doplnění výše uvedených předpisů vycházel ze tří základních podnětů:

Jedním byla analýza stávajících bezpečnostních předpisů v oblasti brzdových ústrojí těžních strojů platných pro svislou dopravu a chůzi a jejich porovnání s předpisy polskými a německými, která byla předmětem I. etapy řešení projektu. Druhým podnětem byla výsledky analýzy stávajícího stavu brzdových ústrojí provozovaných těžních strojů v ČR a třetím zdrojem námětů se stalo shrnutí soudobých moderních trendů v oblasti brzdových ústrojí. Samozřejmě navrhované doplnění vycházelo rovněž z navržených variant modernizace tlakovzdušných brzdových ústrojí.

Návrh na doplnění §22 „Brzdy“ Vyhlášky ČBÚ č.415/2003 Sb. ve znění pozdějších předpisů:

- Povinnost zajistit v konstrukci brzd soustavné čištění (u vzduchu též mazání) provozního média včetně indikace zanesení čistících prostředků (filtrů).
- Povinnost kontrolovat u brzdového ústrojí, u kterého jsou zdrojem brzdé síly tlačné pružiny, míru opotřebení brzdového obložení a velikost odbrzdovací dráhy.

- Povinnost vyhodnocovat provozní stav snímačů tlaku vzduchové, nebo hydraulické brzdové soustavy tak, aby jejich případná porucha nemohla mít za následek neúčinnost pojistné brzdy.
- Omezení nejvyšší přípustné hodnoty měrného tlaku mezi brzdovým obložením a plochou brzdového disku či brzdové pásnice.
- Povinnost konstrukčně zajistit zakrytování či jinou ochranu tlakových potrubí a tlakových hadice hydraulické soustavy brzdového ústrojí tak, aby se v případě netěsnosti nedostala na brzdové plochy hydraulická kapalina.

### Výstupy projektu č. 50-06

Hlavní přínos projektu vědy a výzkumu č. 50-06 „Zvýšení provozní bezpečnosti a spolehlivosti těžních strojů modernizací tlakovzdušných brzdových ústrojí“ lze spatřovat jednak v tom, že byl sestaven návrh na novelizaci Vyhlášky ČBÚ č.415/2003 Sb. a jednak v tom, že byly systematickým způsobem zpracovány podklady pro metodický pokyn modernizací brzdových ústrojí těžních strojů zahrnující doporučený rozsah, způsoby provedení i časový plán. Dalším významným výstupem je to, že byly zpracovány technické podmínky pro nově navržený systém hydraulického ovládní tlakovzdušných brzdových strojů. Kromě toho byl v rámci řešení projektu shromážděn a presentován rozsáhlý soubor odborných technických informací, který lze při konkrétním návrhu modernizace využít. To vše dává dobré předpoklady pro zvýšení technické úrovně a provozní spolehlivosti a bezpečnosti brzdových ústrojí provozovaných těžních strojů.



Obr. 1



Obr. 2

