

THE USING OF MATERIAL MANUFACTURING PROCESS OUTPUT POWER LEDVICE

Nováková M., Konrád Z.

Department of Agricultural, Food and Environmental Engineering, Faculty of Agronomy, Mendel University in Brno, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Czech Republic

E-mail: xnovak66@node.mendelu.cz, xkonrad@node.mendelu.cz

ABSTRACT

Our objective was to analysis of using of materials produced from power-station Ledvice process. There are the sort and composition of the materials and character of the secondary energetical products with using in energy and building industries.

The consideration is applied to products of combustion and fuel desulphurization that are reprocessed to secondary raw material in mixing centres. After the certification process the secondary raw material are using for recultivation and building process to improving of environment.

The conclusions and the encouragements for next trends with a view to development of the new power source with energy output 660 MW are included in the last part of this article.

Key words: energy, secondary raw material, power sources, power-station, secondary energetical products

ÚVOD

Tato práce se zabývá analýzou využití výstupních materiálů z elektrárny Ledvice. Je zde řešena problematika charakterizující druh, složení a v neposlední řadě vlastnosti vedlejších energetických produktů vznikajících v elektrárenské výrobě Ledvic (ELE) s následným využitím v energetice a stavebnictví.

Pozornost je kladena na produkty z procesu spalování a odsíření z ELE, které se přepracovávají na druhotnou surovinu v míchacích centrech a jejich následné využití je zejména v oblasti stavebnictví a rekultivaci vytěženého lomu Fučík jako certifikované výrobky. Těmito surovinami je stabilizát z nynějšího provozu, ale i granulát, který je z nového zdroje ELE. V neposlední řadě jsou zformulovány závěry a praktická doporučení pro další vývoj i v oblasti výstavby nového zdroje 660 MW.

Elektrárna Ledvice

Elektrárna Ledvice (dále jen ELE) se nachází cca 3 km severně od města Bílina. Areál elektrárny má trojúhelníkový tvar a je ohraničen na západní straně hnědouhelným velkolomem Severočeských dolů – Důl Bílina (dále jen SD-DB), ze severu vlečkovistištěm uhlí DB a na východě vlastní vlečkou a dále tratí ČD Teplice – Bílina.

ELE kromě výroby elektrické energie zajišťuje dodávky tepla pro odběratele v nejbližším okolí prostřednictvím teplárenské společnosti United Energy (Teplice, Bílina) a pro Doly Bílina. V ELE je spalováno hnědé energetické uhlí o výhřevnosti 10,5 – 13 MJ.kg⁻¹ z dolu Bílina. Uhlí je dopravováno přímo pásovými dopravníky ze sousední úpravní uhlí Ledvice. Hlavním zdrojem vody je řeka Labe, záložním zdrojem vody je Všechlapská nádrž.

Od svého vzniku vyrobila ELE 100 280 522 MWh elektrické energie (spotřeba České republiky zhruba za rok a půl). Od roku 1993 poklesly roční emise SO₂ z 35 000 tun na cca 8 000 tun, emise NO_x 7 000 tun na cca 3 500 tun, emise tuhých částic z více než 11 000 tun na cca 200 tun. Současný instalovaný výkon Elektrárny Ledvice je 3 x 110 MW.



Obr. 1 Letecký snímek nynější ELE

METODIKA A MATERIÁL

Zpracování VEP

Ze spalovacích procesů ELE vznikají VEP, které se stávají za předpokladu splnění technických a zákonných podmínek surovinou pro další zpracování a výrobu. Tyto odpady z procesu spalování a odsíření se přepracovávají na druhotnou surovinu (dále jen DS) využitelnou zejména ve stavebnictví a rekultivaci vytěženého lomu Fučík. Touto surovinou je stabilizát, který vzniká z koncového produktu odsíření, popílků a vody v míchacím zařízení (MC I a II).

Míchací centrum I

Přepracováním v míchacích centrech je zajištěna dokonalá homogenizaci vedlejších energetických produktů (dále jen VEP), které jsou potřebné pro výrobu materiálu podle zadaných receptur. Jedná se o stabilizát „G3“, což je směs sypaného optimálně vlhčeného materiálu vyrobená v MC I dle stanovené receptury z popílků z kotlů K2 a K3. Výsledkem je směs optimálně vlhčeného stabilizátu, která je využívána

- a) jako certifikovaný stavební materiál pro stavbu obvodových hrázek,

b) nebo je přidáván do domíchávací (homogenizační) nádoby GEHO k čerpatelné směsi fluidních popelovin, samostatně v MC II.

Míchací centrum MC I plní v současných provozních podmínkách poněkud odlišnou funkci v porovnání se stavem po jeho plánované modernizaci. Provozem MC I musí být ve stávajících podmínkách zajištěno zpracování veškeré produkce klasických popílků odpadajících od kotlů K2 a K3 a současně musí být zpracována celá produkce REA produktu z odsiřování. Při běžném provozu je do MC II dopravována směs klasického popílku a REA produktu v množství, které odpovídá objemu produkce. Po modernizaci MC I budouv míchacím centru zpracovány materiály v objemech podle potřeb MC II a podle potřeb dodávek stabilizátu pro hrázky. Vstupní suroviny budou do sila č. 1 a do sila WAH dopravovány v závislosti na potřebách MC I, nikoliv ve vazbě na produkované množství těchto materiálů.

K vlastnímu míchání jsou nainstalovány dvě identické linky každá o max. výkonu $80 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$ suché směsi, resp. $104 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$ stabilizátu. Provozována je většinou jedna míchací linka, druhá tvoří 100 % rezervu. Pouze v ojedinělých případech při výrobě optimálně vlhčeného stabilizátu pro výstavbu obvodových hrázek jsou nasazeny obě linky.

Součástí strojně technologického souboru MC I je již v současné době sestava zařízení pro dávkování a dopravu REA produktu ze sila, které se nachází v sousedním objektu vápenného hospodářství. REA produkt je dávkován rotačními podavači (turnikety) a dopravován pomocí šnekových a řetězových dopravníků do objektu sila č. 1.

Míchání směsi zajišťuje dvouhrdelový lopatkový míchač (míchačka Boler), kdy dochází ke kontinuálnímu promíchání vstupních surovin v podobě suchého produktu odsiřování a zvlhčeného úletového popílku s dostatečnou možností přidání záměsové vody. Po provedeném smíchání surovin je zvlhčený stabilizát pohybem lopatek dopraven k výpadu na sběrný vynášecí dopravník a odtud dopravován do

a) domíchávače GEHO (MC II),

b) do expedičních zásobníků nakládky pro odvoz nákladními auty (hrázky).

Stabilizát „G3“, který má tedy dvojí uplatnění:

- spolu se suspenzí z fluidních popelů vyráběných v MC II. je smíchán a dopravován trubní dopravou GEHO na složiště,
- jako stavební materiál je používán pro výstavbu hrázek jednotlivých kazet pro ukládání VEP z obou míchacích center na složiště, v tomto případě je doprava stabilizátu „G3“ prováděna nákladními sklápěčmi automobily.

Míchací centrum II (MC II) na výrobu stabilizátu ve formě čerpatelné nebo optimálně vlhčené směsi z fluidních popelů produkovaných FK 4 bylo postaveno a uvedeno do provozu v ČEZ, a.s. Elektrárna Ledvice v roce 1998, v roce 2006 po provedené optimalizaci zpracování VEP a výměně rozhodujících strojních zařízení (mixéry, šnekové dopravníky) je vyráběn výhradně čerpatelný stabilizát. MC II slouží k řízenému míchání ložového a filtrového popílku se záměšovou vodou, výsledkem procesu je stabilizát G2. Stabilizát je vyráběn pouze ve formě čerpatelné suspenze G2/2. Technologické zařízení má dvoulinkové uspořádání a je umístěno pod dnem akumulčního prostoru děleného válcového železobetonového popílkového sila č.2. Prostor pro rozmístění mixérů a doplňujících zařízení je dán půdorysnou plochou válcového tvaru zásobního sila č. 2 o vnitřním průměru 16 m.

Technologický celek je shodný u obou výrobních linek L1 a L2. Dvoustupňová homogenizace se skládá z horizontálního rychloběžného mixéru FP 65-C a míchací nádoby s míchadlem. Druhý stupeň homogenizace probíhá v míchací nádobě, kde pomocí lopatkového míchadla dochází k dodatečné homogenizaci a zrovnoměnění konzistence čerpatelné suspenze.

Systém dávkování a regulace záměšové vody je tvořen 2 soustavami přívodních potrubí záměšové vody k mixérům, indukčního průtokoměru záměšové vody, regulační klapky s havarijní funkcí a rozvodu k vlhčícím tryskám obou horizontálních rychloběžných mixérů FP 65-C.

Zařízení jsou umístěna na obslužné plošině odtud je dopravována koncentrovaná suspenze do domíchávače, kde je pomocí vertikálního míchadla homogenizována s optimálně vlhčeným stabilizátem G3 dopraveným z MC I.

Doprava čerpatelného stabilizátu

Z MC II je dopravována koncentrovaná suspenze do domíchávače GEHO I, kde je pomocí vertikálního míchadla dokonale zhomogenizována s optimálně vlhčeným stabilizátem G3 dopraveným z MC I a odtud čerpacím systémem GEHO I až na složiště k uložení do zemní konstrukce.

Certifikace VEP

Aby stabilizát či granulát (materiál) mohl být certifikovaným výrobkem, musí vyhovět řadě ověřovacích zkoušek, které jsou hlavní náplní technických návodů pro následné využití výrobku. Autorizovaná osoba (dále jen AO) potvrzuje, že u stavebního výrobku přezkoumala podklady příložené výrobcem (ELE), provedla počáteční zkouškou typu výrobku na vzorku a posoudila, že uvedený výrobek splňuje požadavky související se základními požadavky nařízení vlády 312/2005 Sb., ve znění pozdějších předpisů a dále je v souladu se stavebním technickým osvědčením (dále jen STO). Nedílnou součástí certifikátu je protokol o výsledcích certifikace, který obsahuje závěry

MENDELNET 2010

ověřování a výsledky zkoušek, základní popis certifikovaného výrobku podmínky v místě nezbytné pro jeho identifikaci.

Certifikace výrobku se provádí na základě výsledků zkoušek prezentovaných v protokolu o výsledku certifikace výrobku vydané AO. Posuzovaný materiál na základě výsledků vyhovění technickým podmínkám uvedeným v certifikátu výrobku a splňuje zároveň i limitní hodnoty. Jedná se o první certifikaci výrobku pro dané využití. Vymezení sledovaných vlastností a způsobu jejich posouzení technických požadavků prezentuje **STO**.

AO je odpovědná za certifikát výrobku. Provádí jeho kontrolu minimálně jedenkrát za 12 měsíců. Dohlíží na řádným fungování systému řízení výroby v místě výroby, odebírá vzorky výrobku v místě výroby, provádí jejich ověřovací zkoušky a posuzuje zda vlastnosti výrobku odpovídají STO. Pokud AO zjistí nedostatky, je oprávněna zrušit nebo změnit obsah vydaného certifikátu.

Certifikované výrobky**VEP ze stávající výroby (K2, K3, FK 4)**

- Stabilizát G3 je směs sypaného optimálně vlhčeného materiálu vyrobena v MCI podle stanovené receptury z popílků z kotlů K2 a K3. Výsledkem je směs optimálně vlhčeného stabilizátu, která je využívána a) jako certifikovaný stavební materiál pro stavbu obvodových hrázek, b) nebo je přidáván do domíchávací (homogenizační) nádoby GEHO k čerpatelné směsi fluidních popelovin, samostatně v MC II.
- Stabilizát „G2“ ve formě čerpatelné nebo optimálně vlhčeného stabilizátu z fluidních popelů produkovaných FK 4.

A) Produkty ze stávajícího zdroje ELE

- **Popílek hnědouhelný** je určen jako příměs do betonu dle EN 450-1.
- **Struska** je využívána pro násypy zemních těles pozemních komunikací, zásypy opěrných konstrukcí, zásypy a obsypy liniových staveb inženýrských sítí (vodovody, kanalizace, plynovody), zásypový materiál při rekultivaci vytěžených prostor po těžbě nerostných surovin (povrchové doly, pískové lomy), terénní úpravy nebo rekultivace antropogenní činnosti postižených pozemků, ostřivo při výrobě cihlářských pálených výrobků, pro výrobu škvárbetonu
- **REA produkt** – výroba stabilizací v silničním stavitelství, úprava zemin nebo jiného zrnitého materiálu s použitím pojiva

- **Stabilizát optimálně vlhčený a stabilizát čerpatelný (KOPOS)*** se používá pro tělesa násypů zemních pozemních komunikací (budování zpevněných hrázek pro odliv GEHO), protipovodňové hráze, protihlukové valy, hráze odkališť a skládek odpadů, podkladní a ochranné vrstvy vozovek (Certifikát č. 204/2006/040-026 882), aktivní zóna, obsypy a zásypy objektů, přechodové oblasti mostů, těsnící a uzavírací vrstvy skládek odpadů ve smyslu ČSN 80 8032, stabilizace zemin (zemní pláň, do těles násypů), zásypový materiál při rekultivaci prostor po těžbě nerostných surovin, sanace podzemních dutin (po demolici stavebních objektů, při stavbách tunelů, parovody, kanalizace, stará důlní díla), KAPS – kamenivo zpevněné popílkovou suspenzí

VEP z NZ ELE

B) Produkty po uvedení nového zdroje do provozu

- **Popílek hnědouhelný**
- **Energosádrovec**
- **Struska**
- **Stabilizát čerpatelný**
 - ze stávajícího zdroje
 - z nového zdroje
- **Stabilizát optimálně vlhčený** se bude využívat na stavbu hrázek a podkladních vrstev komunikací
- **Aditivovaný granulát** je výrobek určený do výsypek povrchových dolů pro násypy a zásypy při zahlazování důlní činnosti.

Technologické zkoušky stabilizátů

Důležitou součástí modernizace celé elektrárny je připravovaná rekonstrukce MC I pro výrobu optimálně vlhčených stabilizátů určených k budování hutněných zemních těles, zejména hrázek na odkalištích a tělesa dopravního koridoru. V souvislosti s plánovaným odstavením dvou starých klasických kotlů a s odstavením dosud provozovaného souboru odsiřování kouřových plynů polosuchou metodou bude i výroba stabilizátu v novém míchacím centru provozována v podmínkách nových materiálových vstupů.

MENDELNET 2010

Kvalitní optimálně vlhčený stabilizát bude v rekonstruovaném MC I vyráběn z klasického vysokoteplotního popílku dopravovaného z nového zdroje. Jako pojivová složka má být ve smyslu technického zadání použito práškové jemně mleté vápno. V rámci přípravy realizačního záměru byl předložen návrh variantního úsporného řešení, které předpokládá nahrazení vysoké spotřeby drahého práškového vápna ložovým popelem s vysokým obsahem volného CaO, který v elektrárně Ledvice odpadá z provozu fluidního kotle.

Na přípravě technologických podkladů pro nové řešení MC I pro výrobu stabilizátu se významně podílí firma ECO-BUILDING BRNO s.r.o. jako dodavatel strojního zařízení a firma RECYCLING SERVICE s.r.o., která provádí potřebné technologické zkoušky. V součinnosti s vývojem nové technologie byla v laboratoři této firmy provedena i převážná část laboratorních zkoušek, potřebných měření a jejich vyhodnocování, které jsou obsahem praktické části.

Předložená dílčí zpráva o průběhu a výsledcích dosud provedených technologických zkoušek výroby nového druhu popílkového stabilizátu v podmínkách ELE uvádí zejména výsledky vlastních prací provedených ve smyslu zadání v rámci mé diplomové práce. Doplnkově jsou ve zprávě uvedeny i další údaje získané od spolupracujících organizací, které výsledky dosud provedené praktické části diplomové práce uvádí do širšího kontextu v rámci celé řešené problematiky.

Problematika technologických zkoušek efektivního využití VEP z ELE pro výrobu popílkových stabilizátů je členěna do tří samostatných pracovních etap. V předložené informativní zprávě o dosažených výsledcích je stručně hodnocena problematika prvních dvou pracovních etap, které se zaměřují na technologii výroby stabilizátu výlučně podle současných a výhledových potřeb elektrárny. Do programu praktické části je zařazena i samostatná třetí etapa s cílem ověřit a prokázat možnost výroby velmi kvalitních popílkových stabilizátů i pro jiné způsoby užití, zejména pro uplatnění nových druhů stavebních polotovarů především v inženýrské výstavbě.

Program a cíl zkoušek

Rozhodující část dosud provedených laboratorních a technologických zkoušek výroby popílkových stabilizátů na bázi VEP z ELE byla zaměřena na ověření proveditelnosti inovačního námětu využití ložového popela s vysokým obsahem volného CaO jako pojivové složky nahrazující při výrobě mleté práškové vápno. Podstatou těchto zkoušek byla příprava dvou sérií zkušebních směsí, ze kterých byla vyráběna zkušební tělesa jako vzorky popílkových stabilizátů. První série zkušebních těles byla vyrobena jako srovnávací vzorky s použitím práškového vápna. Druhá série vzorků byla vyrobena při použití fluidního ložového popela jako náhradní vápenné pojivové složky.

Všechna vyrobená zkušební tělesa byla uložena po dobu 28 dnů v podmínkách normového zrání, následně byly u vyrobených vzorků stabilizátů stanoveny jejich základní vlastnosti. Pro hodnocení kvality jednotlivých vzorků je rozhodující především pevnost v tlaku prostém dosažená po 28

MENDELNET 2010

dnech normového zrání. Technické zadání pro vývoj nového druhu popílkového stabilizátu ukládá zajistit vlastnosti nového výrobku alespoň v parametrech dosud produkovaného stabilizátu.

V současné době je optimálně vlhčený stabilizát vyráběn z klasického popílku a REA produktu z polosuché odsiřovací metody mísených v hmotnostním poměru 2 : 1 až 3 : 1. v laboratorních podmínkách tyto stabilizáty dosahují po vyžrání pevnosti v tlaku prostém v rozmezí 0,8 až 1,2 MPa. V běžných provozních podmínkách vykazují stabilizáty pevnosti nižší, většinou v rozmezí 0,6 až 0,9 MPa. S ohledem na konkrétní způsob použití stabilizátu při výstavbě obvodových hrázek na odkališti je za postačující považováno dosažení pevnosti 0,5 MPa. Vlastnosti dosud vyráběného stabilizátu jsou předepsány příslušným certifikátem výrobku, jednotlivé parametry produktu dané certifikátem jsou dosud při výrobě stabilizátu plněny.

Program technologických zkoušek výroby nového druhu popílkového stabilizátu vycházel zejména z původního předpokladu zadavatele, že jako pojivo bude použito práškové vápno v hmotnostním podílu 3 % z celkového obsahu sušiny. Při zkouškách byly vyrobeny vzorky stabilizátů s obsahem vápna v rozmezí 2 až 6 % hmot. s cílem vyšetřit vliv hmotnostního přídatku na konečné pevnosti vyrobeného stabilizátu. V další části zkoušek byly vyrobeny vzorky při použití ložového popela tak, že tato složka byla po přepočtu dávkována opět na stejné rozmezí hmotnostního obsahu volného CaO 2 až 6 %.

Vedení elektrárny jako zadavatel technologických zkoušek, s cílem posílit hodnověrnost dosažených výsledků, pověřilo v podstatě stejným úkolem i firmu EG7 Hradec Králové, která pro potřeby elektrárny zajišťuje provádění kontrolních zkoušek i technologických podkladů pro certifikaci výrobků. Tato firma pro účely zkoušek odebrala vlastní vzorky vstupních surovin, na obou pracovištích byly tedy zkoušky prováděny v podmínkách různých namátkově odebraných surovinových vstupů. Výsledky zkoušek přesto vedou k velmi podobným závěrům, které potvrzují reálnou možnost a výhodnost použití ložového popela k danému účelu. V příslušné části této zprávy o výsledcích zkoušek jsou proto zařazeny i uvedené výsledky ze srovnávacích kontrolních zkoušek.

Jedním z výsledků zkoušek laboratoře EG7 Hradec Králové je doporučení ověřit v další etapě přípravných prací i variantní možnost výroby popílkového stabilizátu, kdy jako pojivová složka bude použit úletový fluidní popílek. S ohledem na podstatně nižší obsah volného CaO v tomto popílku by takové řešení předpokládalo jeho podstatně vyšší podíl ve směsi, klasický popílek by bylo třeba s úletovým fluidním popílkem mísit v hmotnostním poměru 1 : 1. V rámci provedených zkoušek byla tato možnost ověřena se závěrem, že uvedené řešení pevnosti vyrobeného stabilizátu spíše snižuje.

Údaje o surovinách

Základní surovinovou složkou pro výrobu optimálně vlhčeného stabilizátu je klasický vysokoteplotní popílek, který bude po rekonstrukci MC I a odstavení stávajících kotlů dopravován

MENDELNET 2010

z nového zdroje. S ohledem na stejnou palivovou základnu byly pro laboratorní a technologické zkoušky jako hodnověrné vzorky odebrány vzorky ze stávajících kotlů. Vzorek popílku označený jako 1. dodávka byl použit v převážné části zkoušek, vzorek označený jako 2. dodávka byl použit pouze v doplňkové části zkoušek zaměřené na ověření využití úletového fluidního popílku.

Tab. 1 Základní vlastnosti klasického popílku

Parametr	Měr. jedn.	Klasický popílek	
		1. dodávka	2. dodávka
Vlhkost	% hm.	0,09	0,11
Ztráta žháním	% hm.	1,27	2,43
Sypná hmotnost	kg.m ⁻³		
• volná		765	758
• setřesená		910	950
Sítový rozbor	% hm.		
zbytek na síť 1,000		0,4	0,2
o vel. ok (mm) 0,500		0,4	0,6
0,200		5,8	9,8
0,125		14,2	33,2
0,090		33,2	30,2
0,063		26,0	16,6
0,040		13,6	7,0
< 0,040		6,4	2,4

Dále byly při zkouškách použity suroviny zajišťující svým přídatkem požadovaný obsah volného CaO v surovinové směsi. V první části zkoušek bylo použito práškové vápno mleté od CARMEUSE CZECH REPUBLIC, závod Mokrá.

Dále byly pro účely zkoušek odebrány v elektrárně Ledvice vzorky ložového fluidního popela a úletového fluidního popílku. S ohledem na základní cíl zkoušek, kterým je ověření a prokázání možnosti výhodného použití ložového popela s vysokým obsahem CaO jako korekční vápenné složky pro výrobu stabilizátu je u ložového popela zvláště důležitý tento parametr.

V následujícím tabulkovém přehledu jsou uvedeny základní vlastnosti vzorků ložového popela a úletového fluidního popílku odebraných z provozních zásobníků elektrárny Ledvice k účelům laboratorních a technologických zkoušek. Závodní laboratoř elektrárny průběžně provádí stanovení obsahu volného CaO ve fluidních popílcích zejména s cílem kontroly odsiřovacího procesu.

Důležitý parametr obsahu volného CaO v ložovém popelu je dále uveden v samostatném tabulkovém přehledu, ve kterém jsou výsledky prováděných zkoušek v závodní laboratoři zpracovány za delší časové období. Z přehledu těchto výsledků je zřejmé, že obsah volného CaO v ložovém popelu je dlouhodobě stálý a pohybuje se v rozmezí 10 až 12 % hmotn.

Tab. 2 Základní vlastnosti fluidních popílků

Parametr	Měr. jedn.	Fluidní úletový popílek	Fluidní ložový popel
Vlhkost	% hm.	0,07	0,05
Ztráta zžháním	% hm.	5,26	3,91
Sypná hmotnost	kg.m ⁻³		
• volná		647	838
• setřesená		769	1020
Obsah volného CaO	% hm.	4,16	12,08
Sítový rozbor	% hm.		
vel. ok sít 8,000		0,0	0,0
(mm) 4,000		0,0	0,2
2,000		0,0	1,0
1,000		0,0	4,2
0,500		0,4	11,8
0,200		4,2	44,3
0,125		14,0	21,2
0,063		50,8	10,7
0,040		22,8	4,9
< 0,040		7,8	1,7

Tab. 3 Přehled obsahu volného CaO v ložovém popelu (přepočet – suma CaO v % hm.)

Měsíc – rok	r. 2007	r. 2008	r. 2009	r. 2010
Leden	4,19 – 14,24	1,79 – 14,46	6,61 – 11,55	9,03 – 16,70
Únor	12,65 – 18,07	5,79 – 15,21	6,66 – 12,29	8,93 – 17,26
Březen	12,41 – 14,66	7,36 – 14,25	6,08 – 14,55	9,02 – 17,02
Duben	0,67 – 22,08	5,01 – 10,96	5,07 – 14,96	10,85 – 16,61
Květen	6,35 – 19,78	0	7,44 – 15,40	8,74 – 14,09
Červen	9,72 – 19,35	0	3,90 – 12,34	8,48 – 15,00
Červenec	8,81 – 24,72	0	5,83 – 16,52	
Srpen	7,90 – 19,95	0	0,31 – 13,61	
Září	8,94 – 17,36	0	9,40 – 15,17	
Říjen	5,89 – 19,70	0	11,42 – 19,68	
Listopad	3,50 – 15,37	10,91	11,11 – 16,54	
Prosinec	3,59 – 15,88	9,64 – 11,25	10,31 – 16,72	
Rozsah (min. – max.)	0,67 – 24,72	1,79 – 15,21	0,31 – 19,68	8,48 – 17,26
Roční průměr (%)	12,518	9,941	11,583	12,486

Složení zkušebních směsí

Surovinové směsi pro výrobu vzorků popílkových stabilizátů byly připraveny ve dvou samostatných sériích. V prvním případě bylo jako pojivo použito práškové vápno, ve druhém případě byl použit fluidní ložový popel. V obou případech se ověřovaný obsah volného CaO ve směsi pohyboval v rozmezí 2 až 6 % hmotn. Všechny vzorky zkušebních směsí byly vyrobeny

MENDELNET 2010

v pastovité konzistenci, která zjednodušuje přípravu a výrobu vzorků a současně po vyzrání přesně modeluje vlastnosti optimálně vlhčených stabilizátů předepsaným způsobem hutněných.

Tab. 4 Složení popílkového stabilizátu na 1 m³ čerstvé směsi (jako pojivo použito práškové vápno)

Směs č.	Složky popílkového stabilizátu				ρ_{es}
	klasický popílek	práškové vápno		voda	
	(kg)	(%)	(kg)	(l)	(kg.m ⁻³)
1.	1054,0	2	21,5	408,5	1484
2.	1040,0	3	32,3	416,7	1489
3.	1028,6	4	42,9	421,5	1493
4.	1006,0	6	64,2	428,3	1499

Tab. 5 Složení popílkového stabilizátu na 1 m³ čerstvé směsi (jako pojivo použito volné CaO z ložového popela)

Směs č.	Složky popílkového stabilizátu				ρ_{es}
	klasický popílek	fluidní ložový popel		voda	
	(kg)	(% CaO)	(kg)	(l)	(kg.m ⁻³)
5.	908,0	2	186,0	431,0	1525
6.	821,6	3	273,8	437,6	1528
7.	728,0	4	358,8	445,7	1533
8.	543,8	6	543,8	452,4	1540

Z hlediska porovnání příštích provozních podmínek výroby stabilizátu se současným stavem jsou důležité zejména směsi č. 6 a 7, které představují 3 % a 4 % obsahu volného CaO ve směsi. Dávkování klasického popílku a fluidního ložového popela by u směsi č. 6 znamenalo jejich mísení v hmotnostním poměru 3 : 1, u směsi č. 7 v poměru 2 : 1. Prakticky by bylo zachováno stejné rozmezí v dávkování surovinových složek jako v současných podmínkách. Zařízení pro dávkování korekční složky a dopravní cesty by v takovém případě nemusely být upraveny.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Výsledky technologických zkoušek

Základní vlastnosti stabilizátu s přidavkem vápna

Tab. 6 Pevnost v tlaku a objemová hmotnost vyzrálého popílkového stabilizátu

Směs č.	σ_{pd} po 28 dnech	Objemová hmotnost		Vlhkost
		vlhká	suchá	
	(MPa)	(kg.m ⁻³)		(%)
1.	0,38	1588	1179	34,72
2.	0,63	1622	1199	35,19
3.	0,84	1638	1212	35,11
4.	1,26	1634	1221	33,84

Základní vlastnosti stabilizátu s přidavkem ložového popela

Tab. 7 Pevnost v tlaku a objemová hmotnost vyzrálého popílkového stabilizátu

Směs č.	σ_{pd} po 28 dnech	Objemová hmotnost		Vlhkost
		vlhká	suchá	
	(MPa)	(kg.m ⁻³)		(%)
5.	1,26	1646	1241	32,59
6.	2,65	1685	1256	34,13
7.	3,15	1679	1284	30,79
8.	4,92	1683	1295	29,96

Tab. 8 Pevnost v tlaku a objemová hmotnost vyzrálého popílkového stabilizátu – doplňkové zkoušky

Směs č.	σ_{pd} po 28 dnech	Objemová hmotnost		Vlhkost
		vlhká	suchá	
	(MPa)	(kg.m ⁻³)		(%)
5.A	0,60	1 629	1 172	39,04
6.A	1,04	1 650	1 202	37,31
7.A	1,54	1 655	1 214	36,30
8.A	1,98	1 664	1 228	35,50
9.A	1,12	1 558	1 017	53,26

V přehledu výsledků zkoušek zpracovaných ve formě tabulek č. 6 a 7 jsou uvedeny vlastnosti popílkových stabilizátů vyrobených v první etapě zkoušek. dosažené pevnosti v tlaku prostém u jednotlivých vzorků jasně prokazují, že při stejném obsahu volného CaO ve směsi je použití ložového popela jako vápenné korekční složky výhodné a zajišťuje podstatně vyšší pevnosti než při použití práškového vápna.

V tabulce č. 8 jsou stručně uvedeny výsledky druhé doplňkové etapy zkoušek, která byla v podstatě zaměřena zejména na ověření možného využití úletového fluidního popílku (směs 9.A). Při této příležitosti byly připraveny i kontrolní srovnávací směsi 5.A až 8.A, které umožnily opakované srovnání s použitím ložového popela. V porovnání s výsledky první etapy (tabulka č. 7). Zde

MENDELNET 2010

zkoušené vzorky vykázaly nižší pevnosti v tlaku prostém, dosažené hodnoty jsou však plně vyhovující. Snížení pevnosti je dáno horší kvalitou použitého klasického popílku, pravděpodobně se zde projevil i nepříznivý vliv delší doby skladování vzorku ložového popela.

V další části předložené zprávy zaměřené na dosažené výsledky laboratorních a technologických zkoušek jsou ve stručném přehledu uvedeny výsledky srovnávacích zkoušek provedených v laboratoři firmy EG7 Hradec Králové. Hodnocení těchto dílčích výsledků a jejich porovnání s výsledky vlastních zkoušek jsou provedeny svodným způsobem v závěrečné kapitole této dílčí zprávy zaměřené na celkové hodnocení výsledků zkoušek.

Tab. 9 Zkoušky zhutnitelnosti PS pro směsi popílku (P) a ložového popela (LP)

Zkouška	Vlastnost	Stabilizát S2	Stabilizát S3	Stabilizát S4	Stabilizát S6
Poměr mísení P : LP		5 : 1	3 : 1	2 : 1	1 : 1
Zhutnitelnost PS	w_{optPS} (%)	21,2	18,1	17,3	16,7
	ρ_{dmaxPS} (kg.m ⁻³)	1300	1307	1323	1346

Tab. 10 Výsledky zkoušek pevnosti v prostém tlaku stabilizátu

Sledovaná vlastnost	Doba zrání vzorků (dnů)	Stabilizát S2	Stabilizát S3	Stabilizát S4	Stabilizát S6
Pevnost v prostém tlaku (MPa)	14	2,47	2,13	1,91	0,87
	28	3,99	4,76	3,83	1,44
	28 ^{*)}	3,31	3,59	2,80	1,08

^{*)} pozn.: zkušební tělesa byla před zkouškou sycena vodou po dobu 5 hodin

Označení vzorků S2 až S6 odpovídá různým poměrům mísení klasického a ložového popela a je shodné s označováním v předchozí tabulce č. 9.

Tab. 11 Výsledky zkoušek propustnosti stabilizátu po 28 dnech zrání

Sledovaná vlastnost	Identifikace vzorku	Stabilizát S2	Stabilizát S3	Stabilizát S4	Stabilizát S6
Propustnost koef. propustnosti k (m.s⁻¹)	původní	6,3.10 ⁻⁸	1,4.10 ⁻⁷	4,0.10 ⁻⁷	1,1.10 ⁻⁶
	opakované	2,2.10 ⁻⁸	1,0.10 ⁻⁷	1,9.10 ⁻⁷	5,5.10 ⁻⁷

MENDELNET 2010

Ve výše uvedené tabulce jsou při identifikaci vzorků jako původní označeny vzorky, které byly ponechány po dobu zrání v běžných atmosférických podmínkách. Vzorky označené jako opakované byly uloženy po celou dobu zrání v normových podmínkách.

Výsledky zkoušek propustnosti vyztáhlých stabilizátů vyrobených při použití ložového popela jako korekční vápenné složky prokazují, že lepších výsledků je dosaženo při splnění podmínek normového zrání (vlhké uložení vzorků). Certifikát výrobku pro současně vyráběný stabilizát stanovuje jako limitní hodnotu propustnosti $1,0 \cdot 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$, tento požadavek je bezpečně plněn u všech vzorků.

V rámci provádění srovnávacích zkoušek výroby stabilizátů při použití ložového popela se laboratoř EG7HK věnovala i zajímavé problematice využití odpadní vody z koridorů jako záměsové vody při výrobě stabilizátů. Tato odpadní voda obsahuje zvýšený podíl některých škodlivin a nespĺňuje podmínky pro vypouštění odpadních vod do vod povrchových. Výsledky zkoušek svodně zpracovaných do následujících tabulkových přehledů však prokazují, že ložový popel je v daném případě schopen působit i jako solidifikační přísada, která v průběhu tuhnutí a zrání váže škodliviny do nerozpustné formy.

Tab. 12 Chemické složení vodných výluhů ze vzorků stabilizátu ve srovnání s požadavky TN 09.14.02

Ukazatel	Jednotka	limitní hodnota	Stabilizát S6	Stabilizát S4	Stabilizát S3	Stabilizát S2
Arsen	mg/l	0,1	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Baryum	mg/l	1,0	0,039	0,065	0,065	0,087
Berylium	mg/l	0,005	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
Chrom	mg/l	0,1	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Kadmium	mg/l	0,005	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Kobalt	mg/l	0,1	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Měď	mg/l	1,0	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Nikl	mg/l	0,1	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Olovo	mg/l	0,1	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Rtuť	mg/l	0,005	< 0,0003	< 0,0003	< 0,0003	< 0,0003
Selen	mg/l	0,05	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Stříbro	mg/l	0,1	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Vanad	mg/l	0,2	0,017	0,019	0,025	0,037
Zinek	mg/l	3,0	0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010

Tab. 13 Ověření možnosti fixace škodlivin obsažených v OV z koridorů ve stabilizátu

Ukazatel	Jednotka	OV z koridorů	Stabilizát S6	Stabilizát S4	Stabilizát S3	Stabilizát S2
pH	mg/l	12,32	11,91	12,02	11,99	11,93
Vodivost	mS/m	-	140	175	157	156
RL	mg/l	2620	460	630	550	588
RAS	mg/l	1900	296	396	462	394
Chloridy	mg/l	66,5	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
Sírany	mg/l	987	112	148	146	190
Fluoridy	mg/l	2,3	0,21	0,20	0,24	0,69
Antimon	mg/l	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020
Bór	mg/l	0,298	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050
Hliník	mg/l	0,286	1,69	0,619	0,846	0,373
Molybden	mg/l	0,841	< 0,020	0,033	0,036	0,060

Z výsledků prezentovaných v tabulce č. 12 vyplývá, že při využití odpadní vody z koridorů jako záměšové vody do stabilizátu nedojde k překročení limitních hodnot obsahu škodlivin ve vodném výluhu a to u žádné ze čtyř zkoušených receptur.

Vyluhovacími zkouškami dokladovanými výsledky v tabulce č. 13 bylo prokázáno, že ve stabilizátu se fixují i další škodliviny obsažené v odpadní vodě, výrazně se snižují obsahy rozpuštěných látek, bóru a molybdenu. Zvýšený obsah hliníku ve výluhu nesouvisí s kvalitou odpadní vody, ale je dán vysokým obsahem tohoto prvku v popílku a jeho zlepšenou vyluhovatelností v alkalickém prostředí.

Zhodnocení výsledků technologických zkoušek

Laboratorní a technologické zkoušky provedené v rámci praktické části diplomové práce byly věcně zaměřeny na ověření vhodných způsobů zpracování vedlejších energetických produktů z elektrárny Ledvice při výrobě popílkových stabilizátů. Výsledky zkoušek prokázaly výhodnost ověřovaného inovačního námětu, který spočívá v náhradě práškového vápna ložovým popelem. Tato druhotná surovina je produkována ve vlastní elektrárně, navíc dlouhodobě vykazuje vysoký obsah volného CaO, k danému účelu je proto velmi vhodná.

Z dosažených výsledků je zřejmé, že v případě použití ložového popela jako korekční vápenné složky je dosahováno u vyzrálých stabilizátů podstatně vyšších pevností než při použití práškového vápna ve stejném podílu volného CaO ve směsi. Tato výhoda ložového popela je zcela určitě dána doprovodným obsahem bezvodého síranu vápenatého jako produktu odsířovacího procesu, který příznivě působí jako další pojivová složka.

Další pracovní program praktické části diplomové práce bude s výhodným využitím dosavadních poznatků zaměřen na ověření nových receptur pro výrobu popílkových stabilizátů, které mohou rozšířit možnosti výhodného zpracování vedlejších energetických produktů z elektrárny Ledvice. Předběžným pracovním cílem je vývoj popílkových stabilizátů s pevností min. 5 MPa, nové receptury budou ověřovány na principu zpracování energosádrovce v kombinaci s klasickým a fluidním popílkem.

Výstavba nového zdroje 660MW

Výstavba nového výrobního bloku a dalších hlavních zařízení nového zdroje (dále jen NZ) je situována do severního prostoru areálu elektrárny. V podélné ose NZ probíhající cca ve směru východ - západ jsou dále umístěny objekty nové kotelny, zákotlí, odsíření a nové uhelné skládky. Pro kompaktnost řešení je chladicí věž s přirozeným tahem umístěna v blízkosti strojovny NZ.

Realizací nového bloku v Elektrárně Ledvice vstoupí ČEZ, a. s., do skupiny provozovatelů nejmodernějších bloků s nejvyšší účinností a s velmi nízkými emisemi škodlivin. V současné době existuje v této kategorii bloků pouze řešení s kotli věžového typu s nadkritickými parametry páry (parametry přehřáté páry 27,3 MPa při 600 °C, páry přehřáté 4,9 MPa při 610 °C).

Turbína bude kondenzační s možností vyvedení tepla v horké vodě i páře. Odsířovací zařízení bude pracovat na principu standardní mokré vápencové vypírky.

Dodávka vnitřního hospodářství VEP zahrnuje:

výstavbu stavebních objektů a provozních souborů, dopravníky, technologie zpracování odpadů v Míchacím centru (MC) na koncentrovanou suspenzi, tj. skladování a dopravu popílku, skladování a dopravu strusky po třídící síta

strusky pod síly strusky, dopravu nepromytého sádrovce do míchacího centra, skladování a dopravu „záměšové“ vody do míchacího centra, vykládku a skladování mletého vápna, přípravu koncentrované suspenze v míchacím centru, dopravu koncentrované suspenze k dalšímu zpracování .

NZELE 660 MW bude při maximálním výkonu produkovat strusku o množství 26,7 t sušiny za hodinu, popílek v objemu 151 t.h⁻¹ a energosádrovec z provozu odsílení kouřových plynů v objemu 34 t.hod⁻¹. Současně budou novou technologií odstraňovány odpadní vody v objemu 41 300 m³ za rok. Struska vyprodukovaná z NZ bude za drtičem hrubé frakce a vibračním odvodňovacím sítím odebírána prvním pasovým dopravníkem trasy a odváděna systémem trubkových pasových dopravníků do sil strusky. Ta budou mít vnitřní objem skladovací komory 2 × 1 000 m³, budou je tvořit železobetonové (dále jen ŽB) tubusy s vnitřním průměrem 8,6 m a tloušťkou stěn 0,5 m. Vnitřní prostor podstavy je rozdělen na jednotlivá podlaží železobetonovými stropy. V těchto prostorách bude umístěna technologie odvodnění strusky pomocí vibračních sítí včetně nádrží odsazené vody a čerpadel a elektrorozvodna. Odvodněnou strusku bude možné dopravovat pomocí aut a drážních vagonů případně i na jiná místa mimo navazující technologie zpracování litého granulátu.

Na prostor pro odvodňování a drcení strusky navazuje zařízení domíchávače GEHO II. Je součástí technologie výroby litého aditivovaného granulátu, jako produktu, který bude ukládán do prostoru vnitřní výsyvky Dolu Bílina (v souladu se stavebně-technickým osvědčením č. 010-020480, které vydal Technický a zkušební ústav stavební, s. p., 7. listopadu 2006). Do domíchávače bude rovněž směřována koncentrovaná suspenze z míchacího centra. Tvoří ji popílek, energosádrovec a vápno včetně podílu odpadních vod, které jsou beze zbytku zpracovány v nové technologii míchačů a mixérů. Suspenze bude zahrnovat, jako aditivum, podíl přidaného vápna (v objemu 4 t sušiny.hod⁻¹).

Maximální výkon tohoto zařízení bude činit 368 t.h⁻¹ koncentrované suspenze (při 32% obsahu vody). Technologie MC (dodávka firmy ECO-BUILDING BRNO s.r.o.) bude umístěna v prostoru dvou ŽB sil popílku o objemu 2 × 6 000 m³. V silech je

akumulována produkce popílku z elektrofiltrů, které jsou pneumaticky dopravovány z popílkových mezisil. Technologie MC umožňuje řízené vyprazdňování sil, míchání popílku s vápnem, energosádrovcovou suspenzí a záměsovou vodou na přípravu litého granulátu. Sila jsou vysoká 50,7 m, z čehož betonová konstrukce měří 42,5 m, ocelová zastřešující konstrukce pak 8,2 m. Vnitřní průměr sila je po celé jeho výšce konstantní, a to 20 m. Technologie sil umožní distribuci popílku pomocí vagonů či nákladní automobilové dopravy na jiná místa spotřeby. Součástí výroby koncentrované suspenze je technologie dopravy a dávkování „nepromyitého“ energosádrovce. Dávkování energosádrovce (dále jen EGS) do rychloběžných mixérů bude prováděno formou tekuté čerpatelné sádrovcové suspenze se zaústěním přímo do každého rychloběžného mixéru. Sádrovcová suspenze je připravována v rozplavovacích nádobách, instalovaných v síle č. 2. Pro každou dvojici mixérů slouží jedna rozplavovací nádoba. Doprava nepromyitého EGS ze skladu do míchacího centra bude provedena dvěma cestami, a to ve formě odvodněného EGS, přepravitelného pásovými dopravníky, a ve formě čerpatelné sádrovcové suspenze. Z rozplavovacích nádrží je sádrovcová suspenze čerpána do míchacího zařízení. Součástí technologie míchacího centra je přidání aditiva v podobě vápna, které je zabezpečováno vápenným hospodářstvím. To zajistí vykládku vápna z železničních vagonů do dvou zásobních sil o objemu $2 \times 400 \text{ m}^3$, dopravu vápna ze zásobních sil do provozního zásobníku o objemu 100 m^3 v míchacím centru a dávkování vápna do mixérů. Technologie sil popílku a vápna je doplněna vzduchotechnikou a odsáváním včetně filtrace pro splnění příslušných ekologických norem. Odpadní vody z provozu budou akumulovány v nádržích a pomocí čerpadel, umístěných v jímce, dopravovány do technologických zařízení míšícího centra a domíchávače pro výrobu litého granulátu, dále budou používány k proplachu technologie čerpadel a potrubních systémů.

Akumulační nádrže záměsové vody tvoří dvě nadzemní nádrže, obě o objemu $1\,000 \text{ m}^3$. Nádrže budou sloužit pro akumulaci odpadních a procesních vod z provozů NZ. Obě zařízení budou vybavena horizontálním pomaloběžným míchadlem. Akumulační nádrž poplachové vody je nadzemní nádrž o objemu 400 m^3 , která bude sloužit k akumulaci vody a separaci hrubších pevných částic z proplachu dopravního potrubí litého granulátu a odpadních vod z mourové skládky. Nádrž zajistí bezpečné zachycení poplachové vody z celého proplachovaného systému a usazení pevných částic z celého objemu vody. Pevné částice budou po odvodnění nádrže vyneseny šnekem do kontejneru a zlikvidovány v souladu s provozním předpisem. Odvodnění je zavedeno do směšovací jímky vod z akumulačních nádrží.

Stavba začala založením objektů sil v září 2009. Sila strusky a popílku budou stavebně dokončena v závěru 1. pololetí 2011, montáž technologie bude probíhat do února 2012. Stavba bude připravena k přijetí spalín a k zahájení provozu kotle nového zdroje 660 MW do 10. dubna 2012.



Obr. 2 snímek ELE po výstavbě NZ 660 MW

ZÁVĚR

Elektrárna Ledvice používá k ukládání technologicky upravených VEP v MC II (osazené dvoustupňovou technologií homogenizace – know-how firmy ECO-BUILDING BRNO) unikátní světovou technologií trubní dopravy holandské firmy GEHO Pums (nyní WEIR Limited), kdy čerpatelný stabilizát z elektrárny se využívá pro rekultivaci krajiny. Tato dálková tlaková doprava VEP byla uvedena spolu s MC II do provozu 1998. Je to soustava čerpací techniky, dvou podávacích čerpadel a dvou hlavních vysokotlakých pístomembránových, výtlačného potrubí. Dopravní vzdálenost z elektrárny na úložiště je zhruba 4500 m. Od roku 1998 do konce roku 2006 bylo touto technologií samonivelizace uloženo 3 500 000 m³ stabilizátu, který je certifikován jako stabilizát-pasta pro krajínovtvorbu.

Dosavadním provozem bylo prokázáno, že čerpatelný stabilizát z fluidních popelů lze vyrábět v dlouhodobě konstantních provozních podmínkách, konzistence suspenzí se v průběhu provozu nemění, základní funkční principy provozované strojní sestavy jsou správné, a že následná trubicí doprava čerpatelného stabilizátu na složiště k uložení pomocí vysokotlakých čerpadel GEHO PUMPS je technologie provozně spolehlivá se světovou novostí a může být dlouhodobě provozována s relativně nízkými provozními náklady. Dosavadní dobré technické i ekonomické výsledky vedly k rozhodnutí vedení ELE provozovat v budoucnu tento způsob likvidace fluidních popelů jako základní a jedinou variantu.

LITERATURA

ABZ, 2007. *Hydratace*, Databáze online [cit. 2010-09-07]. Dostupné na: <http://slovník-cizích-slov.abz.cz/web.php/slovo/hydratace>

BÍLÝ M., ŠTĚPÁNEK R., listopad 2009: Míchací centra a stabilizáty, s.4-11. In: BÍLÝ M., ŠTĚPÁNEK R., (ed.), *Progresivní využití popílků ve stavebnictví-technická publikace*. ECO-BUILDING s. r. o., Brno, 71s

BÍLÝ M., ŠTĚPÁNEK R., listopad 2009: Tepelná úprava popílků, s.12-56. In: BÍLÝ M., ŠTĚPÁNEK R., (ed.), *Progresivní využití popílků ve stavebnictví-technická publikace*. ECO-BUILDING s.r.o., Brno, 71s.

ČEZ, a.s., 2010: *Elektrárna Ledvice*. Databáze online [cit. 2010-02-10]. Dostupné na: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/uhelne-elektřarny/cr/ledvice.html>

ČEZ, a.s., 2010: *Struska*. Databáze online [cit. 2010-07-07]. Dostupné na: <http://www.cezep.cz/zakaznický-modul/prispevek/55871.html>

ČEZ, a.s., 2010: *Struska*. Databáze online [cit. 2010-07-07]. Dostupné na: <http://www.cez.cz/cs/pro-zakazniky/ostatni-sluzby/vedlejsi-energetické-produkty-pro-stavebniky/struska.html#p9>

ČEZ, a.s., 2010: *ČEZ Energetické produkty s.r.o. - Elektrárna Ledvice*. Databáze online [cit. 2010-07-07]. Dostupné na: <http://www.betonsrver.cz/cez-ledvice>

ČEZ, a.s., 2010: *Energosádovec*. Databáze online [cit. 2010-07-07]. Dostupné na: <http://www.cezep.cz/zakaznický-modul/prispevek/55869.html>

NĚMEČEK R., 2009: Technologie likvidace VEP nového bloku elektrárny Ledvice. *Allforpower*, 3 (3): 41-42.