

Potenciál realizace výsledků projektu „Energeticko softwarová optimalizace vysokovýkonových hydraulických stanic“

Potential of implementation of the results of the project "Energy and software optimization of high power hydraulic stations"

Ing. Pětroš Jan¹; Ing. Ožana Michal¹; doc. Dr. Ing. Hružík Lumír²; Ing. Bureček Adam, Ph.D.²

¹ OCHI – Inženýring, spol. s r.o., Nákladní 3179/1, 702 00 Ostrava, Česká republika

² VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava-Poruba, Česká republika

Vybraný projekt byl zaměřen na vývoj a výzkum energeticky úsporných hydraulických stanic se zaměřením na vysokovýkonové celky. Kompletace projektu byla určena tvorbou 2 funkčních vzorků – FV1 – Pohonná jednotka 37kW a FV2 – Digitálně-diagnostický systém (DDS), které byly následně ověřeny, jak laboratorně, tak poloprodučně.

Kromě hlavních cílů byla provedena aktualizace bezpečnostních systémů stanice, zvýšena přístupnost k diagnostice systému, včetně návaznosti na 5G síť – dálková „online“ kontrola. Převedení manuálního ovládání regulačního čerpadla na digitální ovládání DDS, tedy nahrazení průtokové regulace za momentově-otáčkovou.

Na základě podkladů z obou zkoušení funkčních vzorků byla vyhodnocena celková úspora systému, která byla následně aproximovaná na vyšší celky stanic. Nový systém byl vyhodnocen za úsporný s návratností do cca 5 let.

Klíčová slova: digitálně-diagnostický systém; energetická úspora; momentově-otáčková regulace

The chosen project was focused on the development and research of energy-efficient hydraulic stations with a focus on high power units. The completion of the project was determined by the creation of 2 functional samples - FV1 - 37kW Hydraulic Power Unit and FV2 - Digital Diagnostic System (DDS), which were subsequently verified both in the laboratory and in semi-operation.

In addition to the main objectives, the station's safety systems were updated, accessibility to system diagnostics was increased, including connectivity to the 5G network - remote "online" control. Upgrade of manual control of the control pump to digital DDS control, i.e. replacement of flow control with torque-turn control.

The overall system savings were evaluated based on input from both laboratory tests and then semi-operation to higher station units. The new system was evaluated to be cost effective with a payback of approximately 5 years.

Key words: digital-diagnostic system; energy saving; torque-turn control

1. Úvod

Výzkumně-vývojové řešení realizovalo konsorcium v rámci projektu APLIKACE, OPPIK CZ.01.1.02/0.0/0.0/20_321/0024017 dotovaného poskytovatelem MPO.

Na řešení se podíleli průmyslové firmy OCHI Inženýring spol. s r. o. (příjemce), Ingeteam a. s. (účastník) a znalostní organizace VŠB-TUO.

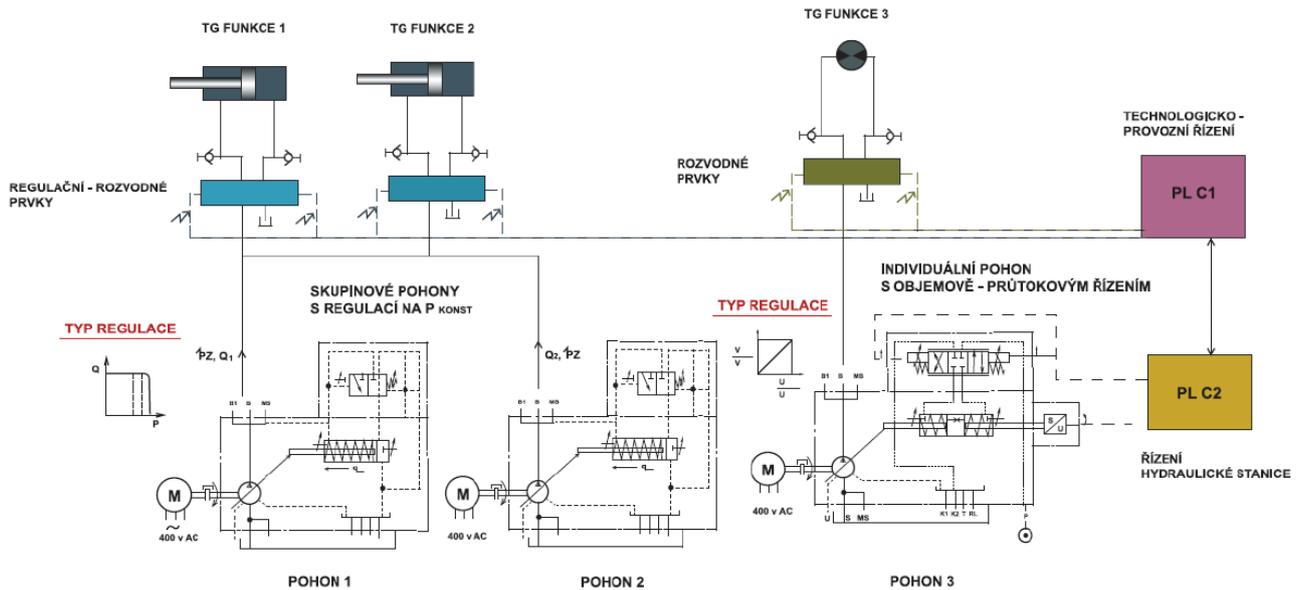
Hlavním cílem projektu bylo dosažení hlavních výsledků projektu, a to funkčních vzorků FV1-Nový pohon 37kW, FV2-Digitálně-diagnostický systém – DDS pohonu 37kW a Zpolop – Ověřený poloprodukt FV1, FV2.

Dosažené hlavní výsledky projektu měly prokazatelně dokumentovat dosažení podstatných energetických úspor, zvýšení funkční bezpečnosti pohonu, dálkové diagnostiky a parametrizaci software řízení pohonu pro hydraulické stanice velkých výkonů nad 100 kW.

2. Dosavadní stav techniky a návrh nového systému řízení

Standardní [1] technologicko-funkční řešení dosavadního systému hydraulických stanic je znázorněno na obr. 1. Jedná se o pohony tvořené dvěma jednotkami s regulačními čerpadly na konst. tlak – pohon č. 1 a pohon č. 2 a s třetím pohonem – pohon č. 3, který napájí individuální pracovní pohon při objemově-průtokovém řízení spotřebiče. Předmětné pohony nelze kombinovat. Podstatnou nevýhodou této koncepce pohonů je skutečnost, že max. [2] pracovní tlak čerpadel je nastaven nad max. hodnotu zátěžného tlaku nejvíce zatíženého hydraulického válce a tlakový (ztrátový) spád na regulačně-rozvodových prvcích je u dalších, méně zatížených hydraulických válců zbytečně vysoký a způsobuje energeticko-tepelné ztráty. Diagnostika p-Q parametrů pohonů je místní, typu off-line.

STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGICKO - FUNKČNÍ SYSTÉMY

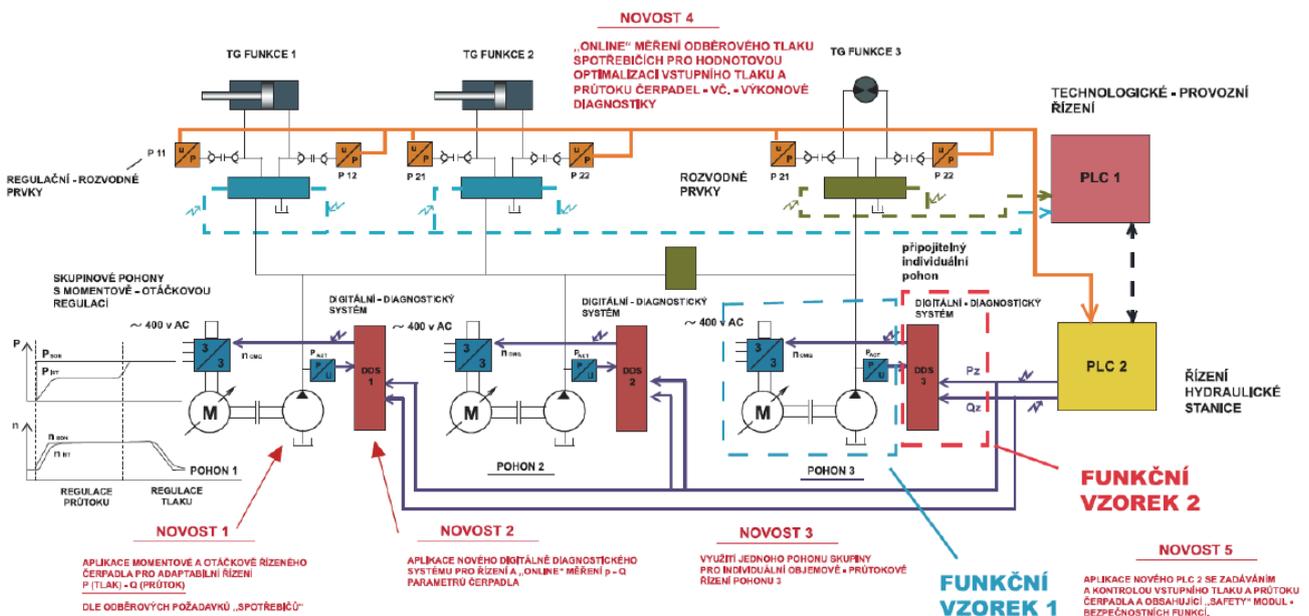


Obr. 1 Modelové řešení stávající struktury provozního systému hydraulických stanic

Fig. 1 Model solution of the existing structure of the operating system of hydraulic stations

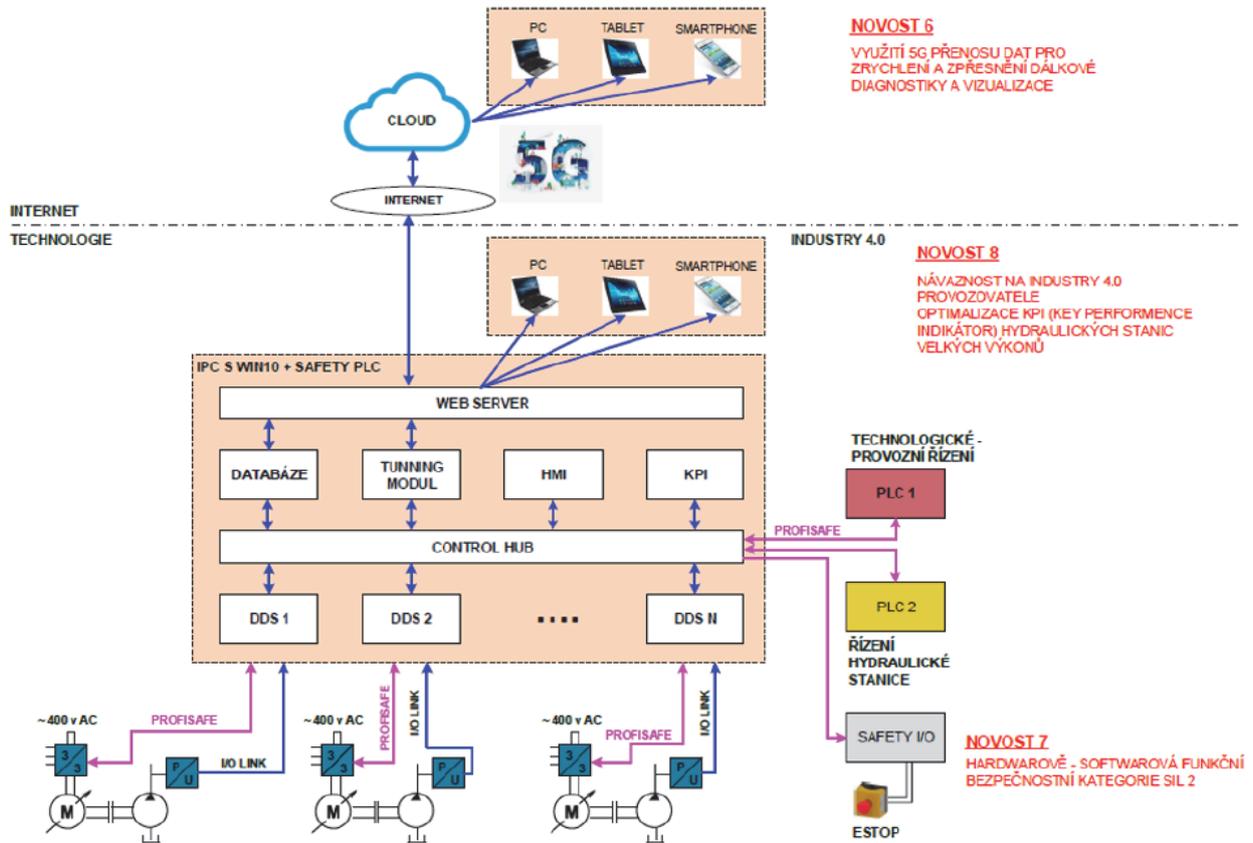
Návrh nového systému představují obr. 2 a obr. 3, kde je včetně novostně-inovačních parametrů. znázorněná struktura hardwaru a pohonů řídicího systému

NOVÉ TECHNOLOGICKO - FUNKČNÍ SYSTÉMY



Obr. 2 Struktura plánovaného výzkumu a vývoje zařízení

Fig. 2 Structure of planned research and development facilities



Obr. 3 Novostní prvky a systémy DDS
Fig. 3 New features and DDS systems

3. Podpora teoretického řešení – matematické modelování a simulace

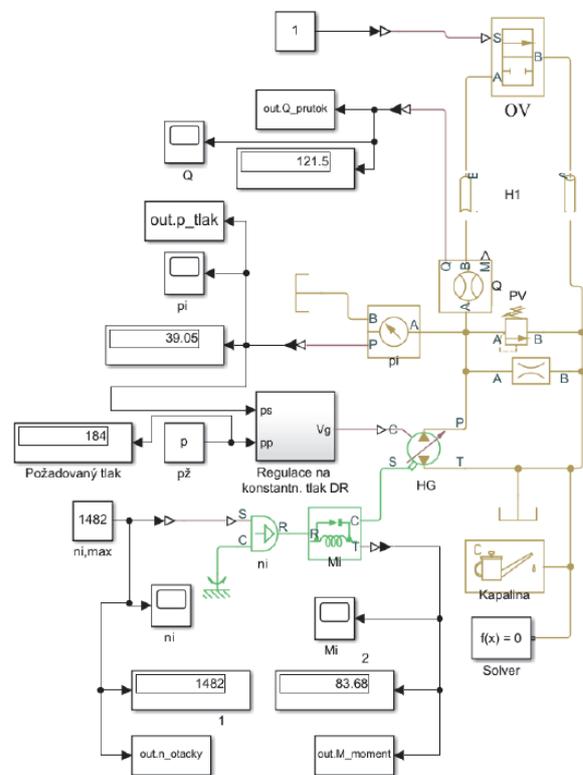
Účastník konsorcia VŠB-TUO realizoval v rámci průmyslového výzkumu projektu matematické modely tří typů pohonů [3].

R2 – pohon s regulačním čerpadlem a s asynchronním elektromotorem s konstantními otáčkami

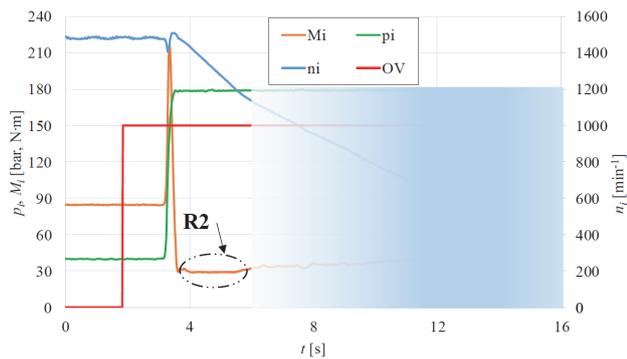
R4 – pohon s konstantním čerpadlem a frekvenčně řízeným asynchronním motorem

R3 – pohon s regulačním čerpadlem a frekvenčně řízeným asynchronním motorem

Na obr. 4 je představen matematický model pohonů R2 včetně simulace vybraných parametrů (obr. 5). Výsledky byly implementovány do nových řešení pohonů.



Obr. 4 Matematický model pro režim regulace R2
Fig. 4 Mathematical model for R2 control mode



Obr. 5 Časový průběh měřených veličin při skokovém navýšení tlaku pomocí odlehčovacího ventilu OV pro režim R2

Fig. 5 Time curve of measured quantities during pressure step-up using the relief valve OV for R2 mode

Zadávací parametry do modelů byly určeny z poloprovozního měření původního systému – R2. Účinnosti čerpadel byly doplněny dle laboratorního ověřování.

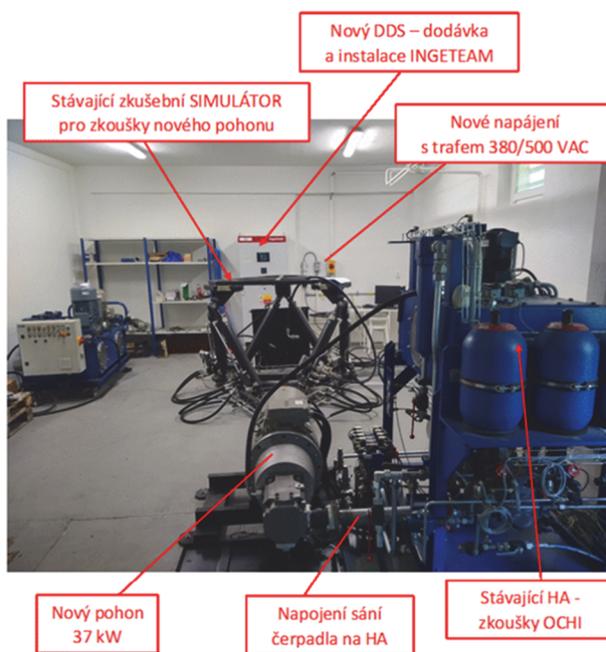
4. Návrh pohonu a jeho laboratorní ověřování

Před uvedením funkčních vzorků do poloprovozu bylo potřeba provést laboratorní ověření jejich funkčností. Laboratorní ověřování proběhlo v prostorách laboratoře příjemce – OCHI Inženýring spol. s r. o. – viz obr. 6. Byl ověřován pohon s technologickými parametry dle tab. 1.

Tab. 1 Technické parametry FV1, FV2
Tab. 1 Technical parameters FV1, FV2

| P. č. | Technické parametry | Hodnota |
|-------|--|--|
| 1 | Typ čerpadla/ geom. objem | Konstantní – axiální / 125 cm ³ ·ot ⁻¹ |
| 2 | Max. tlak/průtok | 160 bar / 168 dm ³ ·min ⁻¹ |
| 3 | Laboratorně ověřovaný tlak/průtok s ohledem na výkonové omezení elektrozvodu | 100 bar/ 75 dm ³ ·min ⁻¹ |
| 4 | Typ/výkon elektromotoru | Asynchronní / 37 kW |
| 5 | Elektrické napětí | 500 VAC (400–600) |
| 6 | Nominální otáčky | 1450 min ⁻¹ |
| 7 | Stupeň filtrace | 10 μm |
| 8 | Frekvenční měnič | ANO |
| 9 | Hydraulická kapalina | HLP46, HFD-U |
| 10 | DDS | ANO |

V průběhu laboratorních zkoušek byly ověřeny provozní vlastnosti funkčních vzorků. Ověřování bylo zaměřeno na prokázání regulačních vlastností, funkčnosti bezpečnosti systému a jeho ovládání.



Obr. 6 Nový pohon 37kW v prostoru zkušebny OCHI, vč. napojení na HA

Fig. 6 New 37kW drive in the OCHI test room, incl. connection to HA

Z důvodu příkonového omezení laboratoře bylo ověřování provedeno v rozsahu 30 % z celkového výkonu pohonu. Pro doplnění do matematických modelů byly změřeny v rozsahu omezení charakteristiky čerpadla a pro zbytek hodnot provozního rozsahu byla jejich velikost aproximována.

5. Výsledky poloprovozního ověřování

Poloprovoz byl realizován na základě Smlouvy o poloprovozním ověřování funkčních vzorků vysokovýkonných pohonů podepsanou mezi příjemcem

projektu a provozovatelem – Provozu údržby Ocelárny Liberty Ostrava a. s.

V rámci poloprovozního ověřování byly prováděny měření následujících systémů.

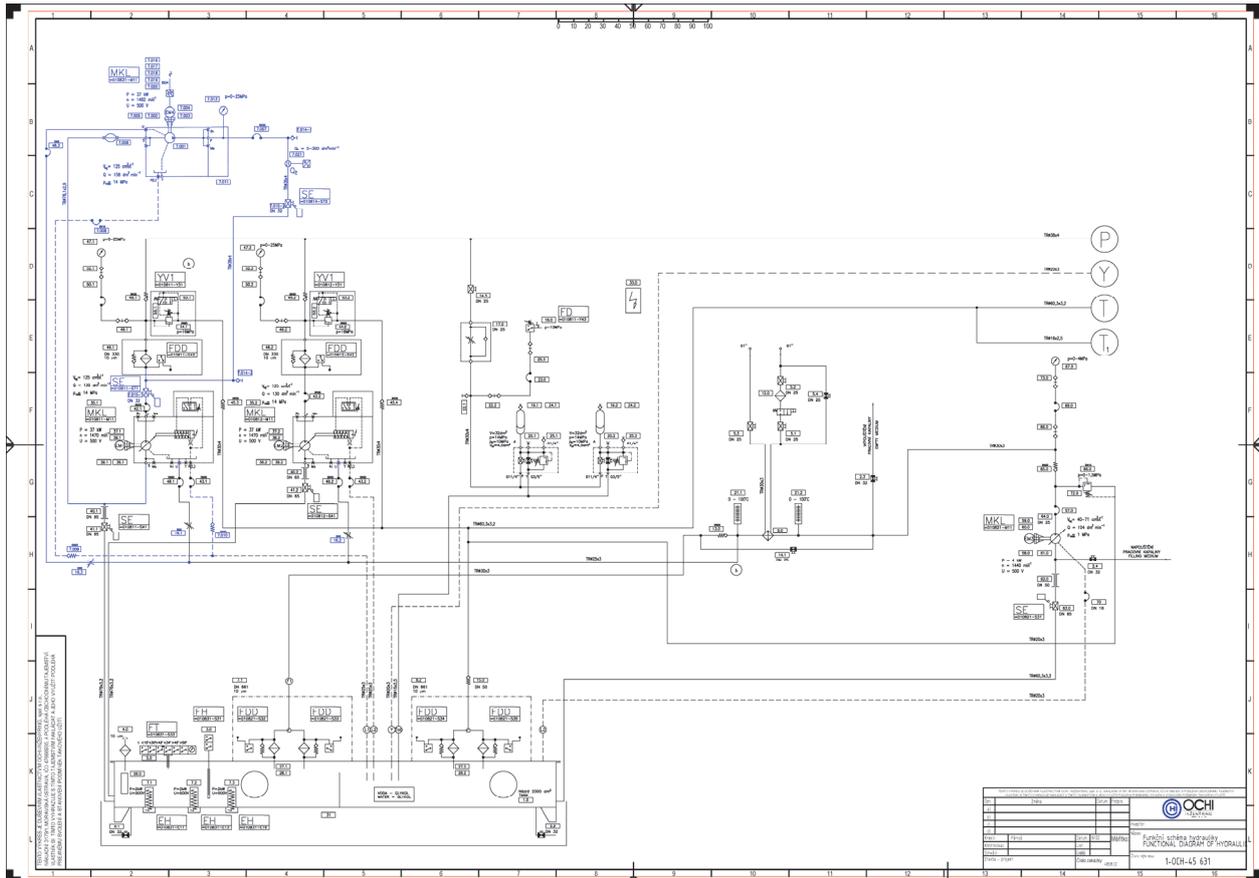
R2 – pohon s regulačním čerpadlem a asynchronním elektromotorem s konstantními otáčkami

R4 – nový pohon s konstantním čerpadlem a řízenými otáčkami

R3 – pohon s regulačním čerpadlem a frekvenčně řízeným asynchronním motorem

V první části poloprovozu byl realizován návrh měření stávajících pohonů 37 kW hydraulického agregátu pánvové pece ZPO č. 3 se 6 funkčními spotřebiči – odpovídá systému R2.

Pro další průběh poloprovozního ověřování bylo potřeba zapojit funkční vzory do obvodu. Na základě aktualizovaného provozního schématu (obr. 7) byly do obvodu připojeny postupně systémy R4 a R3. – viz obr. 8 a obr. 9.



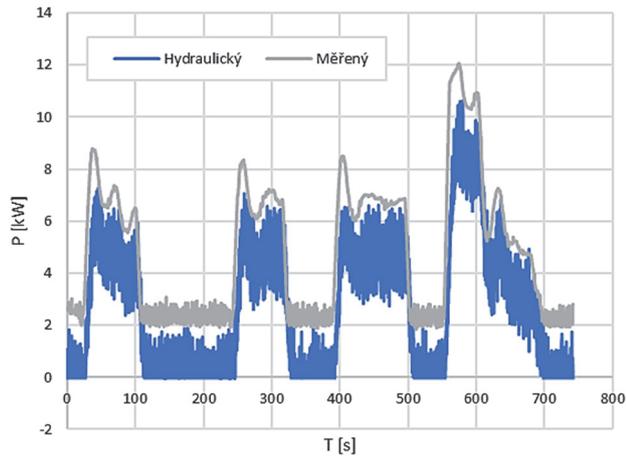
Obr. 7 Hydraulické schéma PP s novým pohonem
Fig. 7 Hydraulic diagram of PP with new drive



Obr. 8 Realizace zapojení typu R4
Fig. 8 Implementation of R4 type wiring



Obr. 9 Realizace zapojení typu R3
Fig. 9 Implementation of R3 type wiring



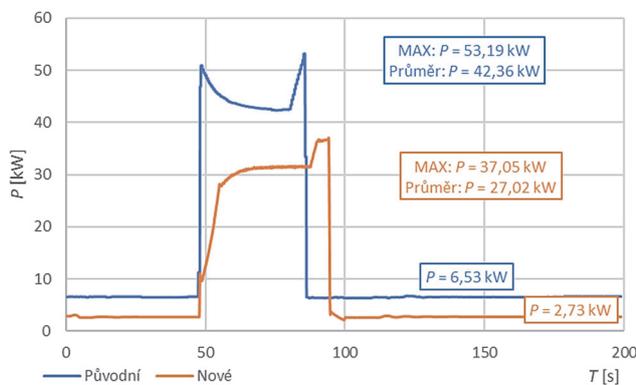
Obr. 10 Výkon pohonu simulace zátěže - 80 bar
Fig. 10 Load simulation drive performance - 80 bar

Při měření nadstavbového pohonu R4 byly naměřeny takové výsledky, které nespĺňovaly plánované očekávání úspor proti stávajícímu pohonu – viz kapitola analýza energetických úspor. Důvodem byla nižší celková účinnost a limitní hodnota otáček o velikosti 500 min^{-1} [4].

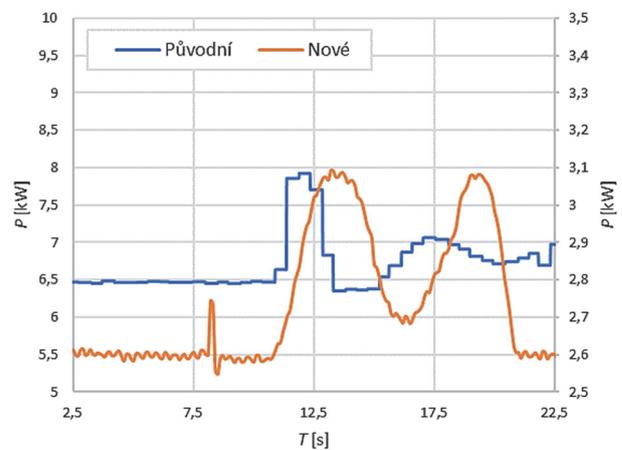
Při porovnávání omezeného provozu pohonu R4 byla změřena následující charakteristika – obr. 10.

Použitím pohonu R3 bylo dosaženo potřebných parametrů (úspory). Pro porovnání dat byly vytvořeny následující grafy. Porovnání výkonu v průběhu zdvihu elektrod je zobrazen na obr. 11.

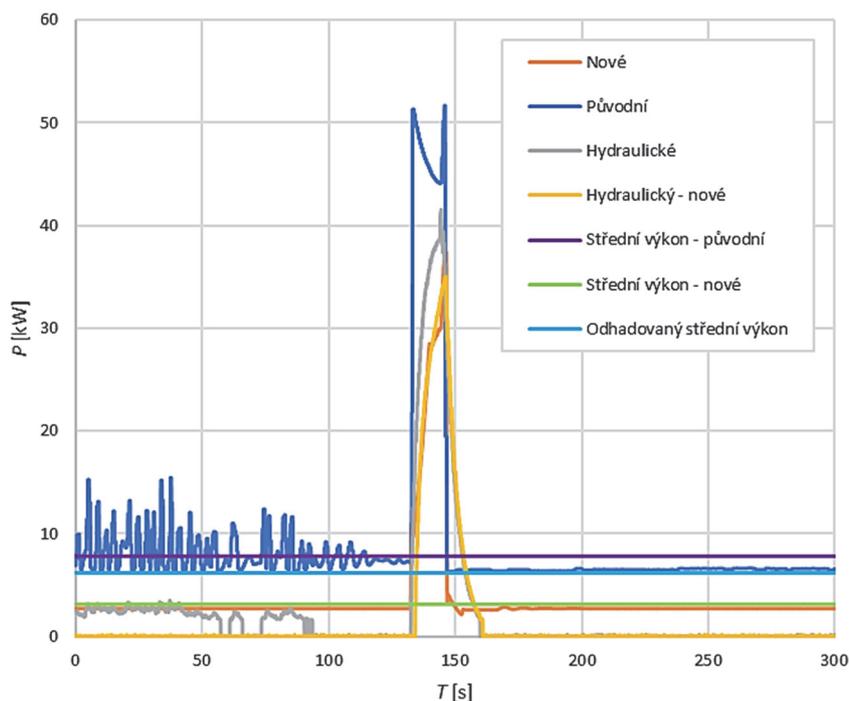
Dále se porovnávaly úseky spouštění elektrod (obr. 12) a celkové porovnání vlastností pohybu elektrod (obr. 13).



Obr. 11 Výkonové zatížení zdvihu
Fig. 11 Power stroke load



Obr. 12 Průběh výkonu při spouštění elektrod
Fig. 12 Power flow during electrode triggering



Obr. 13 Porovnání výkonových charakteristik
Fig. 13 Comparison of performance characteristics

6. Inovačně-novostní parametry

Jsou uvedeny v následující tabulce, která uvádí porovnání plánů projektu se skutečnou hodnotou (tab. 2).

Tab. 2 Inovačně-novostní parametry

Tab. 2 Innovation and innovation parameters

| Inovačně-novostní parametry | | | |
|-----------------------------|---|---|------------------------------------|
| P. č. | Plán | Skutečnost | Řád inovace dle Valentovy stupnice |
| 1 | Aplikace momentově a otáčkově řízeného čerpadla pro adaptivní řešení hydro-motorů dle odběrových potřeb | Návrh a ověření pohonu 37kW ve vazbě na hydromotory pánvové pece ZPO č. 3 Liberty Ostrava | 6 |
| 2 | Aplikace nového DDS pro řízení a „online“ měření $p-Q$ parametrů pohonu | Návrh a ověření DDS pro pohon 37kW vč. laboratorního ověřování a dálkové diagnostiky | 6 |
| 3 | Návrh jednoho pohonu skupiny pro individuální objemově-průtokové řízení pohonu 3 | Návrh servopohonu s čerpadlem $V_g = 40 \text{ cm}^3 \cdot \text{ot}^{-1}$ pro uzavřený obvod. Návrh matematického modelu pohonu vč. simulace | 5 |
| 4 | „Online“ měření odběrového tlaku hydromotoru pro hodnotovou optimalizaci | Realizace měření a logování dat DDS vč. ověření chování pohonu při poloprovozním měření | 7 |
| 5 | Aplikace nového PLC2 pro optimalizační a bezpečnostní řízení pohonu | DDS zahrnuje nové PLC2 pro zajištění optimalizačního řízení a logování dat. Ověřeno v poloprovozu | 7 |
| 6 | Využití 5G přenosu dat pro zrychlení a zpřesnění dálkové diagnostiky | Ověření dálkového přenosu pro parametrizaci a logování dat pomocí 5G mobilní platformy | 6 |
| 7 | Hardwarově-sofwarové funkční bezpečnostní kategorie SIL 2 | Byly navrženy a ověřeny bezpečnostní funkce kategorie SIL 2 dle ČSN EN 61 508 | 6 |
| 8 | Návaznost řízení pohonu na INDUSTRY 4.0 provozovatelů HS | DDS umožňuje připojení na centrální PLC technologie pro řízení technologických procesů | 6 |
| 9 | | Návrh a ověření variantního pohonu 37kW s regulačním DR čerpadlem s výrazným snížením energetických odběrů | 7 |
| 10 | | Formou frekvenčně-modální analýzy byly optimalizovány materiálové a hmotnostně-funkční parametry konstrukce pohonu | 6 |
| 11 | | Byly navrženy standardy 3, 6, 9skupinových pohonů vč. DDS pro výrazné úspory energie provozovatelů HS | 7 |

7. Analýza energetických úspor

Na daných ověřovaných pohonech bylo partnerem INGETEAM instalováno výkonové měření pohonného elektromotoru. Podstatné však v daném ověřovacím procesu bylo provedení optimalizace max. nastaveného tlaku (cca 130 bar) tlakového regulátoru tak, abychom snížili tlakové spády na regulačních ventilech ovládání elektrod při dodržení pracovních rychlostí HV. Po provedeném seřízení a realizovaném řešení bylo dosaženo pro referenční pracovní cyklus následujících energetických úspor:

- úspory energie regulace R4 proti regulaci stávající R2 – cca 8 % (zanedbatelné)
- úspory energie regulace R3 proti stávající regulaci R2 – cca 39 %

Prakticky ověřené energetické úspory vztahované ke střednímu výkonu pohonu dle referenčního pracovního cyklu nového pohonu jsou generovány především

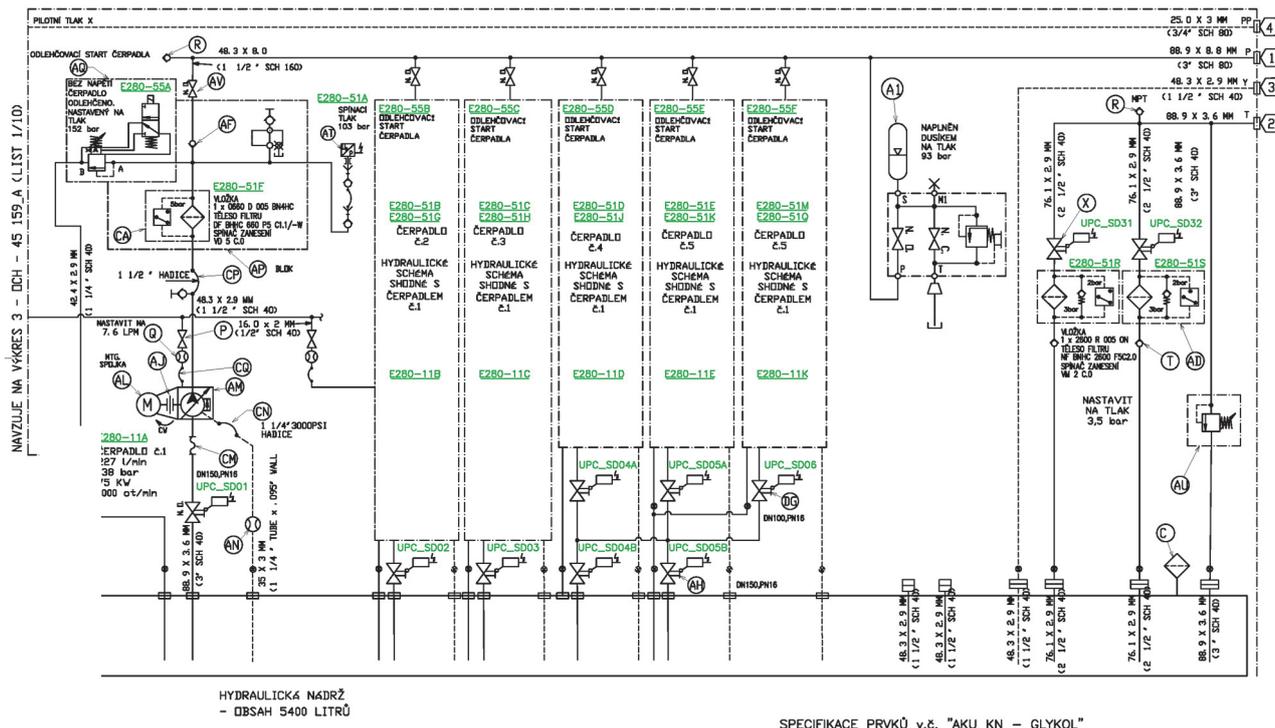
optimalizací seřizovacích parametrů a také řízenými otáčkami čerpadla ve STAND-BY režimech.

Tyto úspory vztahované k nákladům za nákup el. energie představují při sazbě 5000 Kč/MWh částku cca 125 000,- bez DPH/rok.

Návratnost investice na výměnu pohonu je 4 roky s tím, že následně už bude provozovatel šetřit finanční náklady za provoz stanice.

8. Modelová analýza energetických úspor provozního zařízení – pohonná navíječka válcovací trati PJ-1500 – Liberty Ostrava

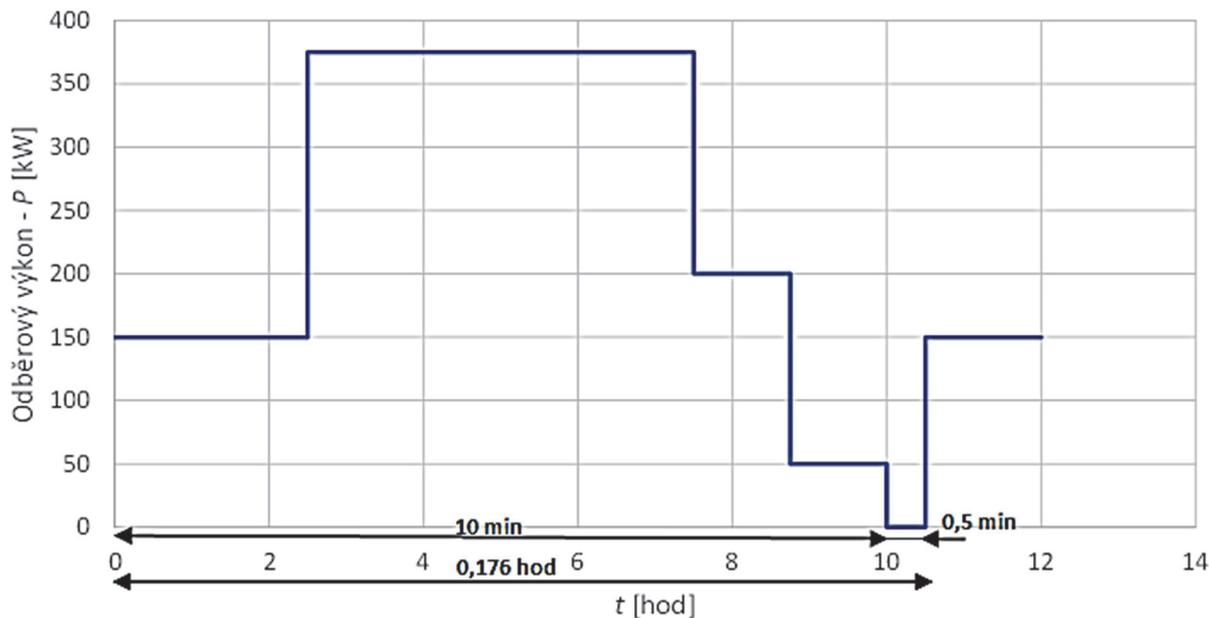
Pro zobrazení úspory u vysokovýkonových celků byla vybrána stanice NAVÍJEČKY válcovací trati PJ 1500 (struktura hydraulických stanic je představena na obr. 14). Na této stanici byl proveden přepočít energetické úspornosti s použitím závěrů z vyhodnocení dle analýzy energetické úspory.



Obr. 14 Funkční schéma hydrauliky koncové navíječky
Fig. 14 Functional diagram of the end winder hydraulics

Maximální instalovaný příkon HS (použito 5 pohonů a 1 rezervní) – $5 \times 75\text{kW} = 375\text{kW}$. Referenční pracovní

cyklus, který se opakuje nepřetržitě 24 hod/denně (max. zatěžování) je uveden na dalším obr. 15 Obr. 15.



Obr. 15 Průběh referenčního pracovního cyklu
Fig. 15 Reference duty cycle progression

Na základě daného středního pracovního výkonu určíme roční spotřebu elektrické energie stávajících pohonů.

$$E_{NR} = 238.57 \times 24 \times 330 \approx 1890 \text{ MWh/rok}$$

Úspory určujeme ve 2 variantách:

a) Minimální úspory dle analýzy VŠB-TUO bez následných optimalizací – úspora 4 %

$$UE_{n1} = 1890 \text{ MWh} \times 0,04 \times 5000 \text{ Kč/MWh} = 378 \text{ 000 Kč/rok}$$

- b) Optimální úspora při optimalizaci vstupního tlaku + optimální řízení otáček frekvenčně řízených E-motorů

Úspora – min 25 %

$$UE_{n2} = 1890 \text{ MWh} \times 0,25 \times 5000 \text{ Kč/MWh} \\ = 2\,362\,500 \text{ Kč/rok}$$

9. Závěr

Při plnění výzkumně vývojového projektu bylo dosaženo všech vytyčených kritérií. Teoretické návrhy byly ověřeny v laboratorním prostředí. Z laboratorních výsledků byl poté upřesněn teoretický návrh, tím byl upřesněn poloprovozní model, na kterém byly měřeny a reálné hodnoty teoretických úspor pohonu.

Na základě dat z poloprovozního měření byla provedena analýza, která rozšiřuje rozsah poloprovozního vzorku na vyšší vysokovýkonové spektrum. Dle této analýzy je zřejmé, že lze dosáhnout efektivních úspor v hodnotě ~15 %, kdy návratnost modernizační investice pohonu bude pod 5 let.

OCHI-Inženýring, spol. s r. o. na základě vypracovaného projektu nabízí inovované systémy vysokovýkonových hydraulických stanic.

Poděkování

Tato práce byla vytvořena za podpory projektu APLIKACE, OPPIK CZ.1.1.02/0.0/0.0/20_231/0024017 dotovaného poskytovatelem Ministerstva průmyslu a obchodu.

Dále bychom chtěli poděkovat za spolupráci zúčastněným partnerům – firma Ingeteam a. s. a výzkumná organizace VŠB-TUO.

Literatura

- [1] EXNER H., FREITAG R., DR.-ING. GEIS H., LANG R., OPPOLZER J., SCHWAB P., SUMPFF E., OSTENDORFF U. and REIK M. *Hydraulik. Grubdlagen und Komponenten Bosch Rexroth AG*, Erbach (3. vydání). 2005. 309 s.
- [2] PAVLOK, B. *Hydraulické prvky a systémy*. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Ostrava (3. vydání). 2013. ISBN 978-80-248-2983-8.
- [3] HRUŽÍK, L., DRÁBKOVÁ, S., DVOŘÁK, L., DÝRR, F., LEDVOŇ, M., POLÁŠEK, T. and KOLÁŘ, D. *VŠB-TU, Výzkumná zpráva k řešení podetapy E03.3* [archív OCHI Inženýring spol. s r.o./VŠB-TUO]. 2023.
- [4] Bosch Rexroth, Firemní dokumentace [online]. [cit. 2022-11-14]. Dostupné z: <https://www.boschrexroth.com/cs/cz/media-details/a16e3367-c7d3-4246-a82a-02e50e510b2d>

Acciaierie Venete koupí francouzské zařízení Ascometalu

Italský výrobce dlouhých produktů Acciaierie Venete souhlasil s odkupem tří zařízení ve Francii od výrobce speciální oceli Ascometal, který je součástí Swiss Steel. Italští oceláři zahájili jednání o koupi závodů Hagondange v departementu Moselle, Custines v Meurthe-et-Moselle, Le Marais v oblasti Loiry a výzkumného centra Ascometal Creas. Francouzský projekt umožní Acciaierie Venete upevnit svou pozici a zvýšit svou výrobní kapacitu mimo Itálii. Tento krok zajistí lokalitám stabilní budoucnost s podporou akcionáře se zdravou rozvahou a silnými průmyslovými zkušenostmi. Skupina s ambiciózním investičním plánem pro získání zařízení umožní několik synergii, zejména v oblasti nákupů. Firma v nadcházejících měsících předloží svůj plán růstu odborům a dalším zainteresovaným stranám. Dokončení fúze se očekává na jaře 2024. Zbývající dva závody Ascometal, Les Dunes v Dunkerque a Fos-sur-Mer, nejsou do fúze zahrnuty.

Zdroj: Kallanish steel

Acerinox se připojuje k projektu vývoje technologie AI ve Španělsku

Acerinox, výrobce nerezové oceli, se připojil ke španělskému konsorciu pro datovou ekonomiku a umělou inteligenci IndesIA. Jeho účast ukazuje zájem společnosti o vedení digitalizace v průmyslových procesech a podporu využívání dat a umělé inteligence ke zlepšení a přechodu na nové obchodní modely. Potvrzuje také svůj závazek k technologii AI ke zlepšení optimalizace procesů, energetické účinnosti, prediktivní údržby a vytváření nových produktů. Tato aliance pomůže zlepšit konkurenceschopnost prostřednictvím automatizace a optimalizace průmyslových procesů a zároveň Acerinox nabídne škálovatelnost, pokud jde o využití dat a AI.

Mezi členy IndesIA patří mimo jiné Gestamp, Navantia, Técnicas Reunidas, Repsol, Telefónica, Microsoft, Airbus, Ferrovial a Inditex.

Zdroj: Kallanish steel