PREDIKČNÍ MODELY PRO SLUŽBY VÝKONOVÉ ROVNOVÁHY

PAVEL PRAKS, RENÁTA PRAKSOVÁ, FRANTIŠEK ŠVRČEK, LUKÁŠ PROKOP

VŠB TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA | IT4INNOVATIONS NÁRODNÍ SUPERPOČÍTAČOVÉ CENTRUM

VŠB TUO | CEET | CENTRUM ENET

Aplikace umělé inteligence a kvantového počítání v energetice II. IT4Innovations, 26. 10. 2026

Přehled přístupů: Rolling Horizon, Stochastika, MPC

Klouzavý (rolling) horizont
Umožňuje průběžnou aktualizaci plánů na základě nejnovějších dat, podporující rychlou reakci na změny.

Příklad pro BESS (Battery Energy Storage System):
V čase T algoritmus rozhodne, že odpoledne bude baterie nabíjena a večer vybíjena. V čase T+1 však zjistí, že cena na denním trhu klesla dříve, než se očekávalo. Nabíjení baterie lze pak urychlit nákupem na vnitrodenním trhu nebo v aukcích, přičemž stejný objem elektřiny se musí později na VDT nebo v aukcích prodat. Urychlení nabíjení baterie má smysl realizovat, pokud je to ekonomicky výhodnější než původní plán.

Stochastická optimalizace
Pracuje s více scénáři a pravděpodobnostmi, čímž zajišťuje robustnější rozhodnutí za cenu vyšší výpočetní náročnosti.

Příklad pro BESS:
Pokud by baterie nabídla plný výkon do aFRR, existuje riziko jejího vybití při dlouhé aktivaci (např. scénář vysoké aktivace). Proto algoritmus raději nabídne pouze část výkonu (např. 80 %), aby si zachoval rezervu pro nepříznivý vývoj.

Prediktivní řízení založené na modelu (Model Predictive Control - MPC)
Kombinuje klouzavý horizont a více scénářů, umožňující stabilní a předvídatelné výsledky řízení rizik.

Srovnání přístupů: Rolling Horizon, Stochastika, MPC

Kritérium	Klouzavý horizont (deterministický / prediktivní)	Stochastická optimalizace (scénářová)
Pohled na budoucnost	Vidí jednu trajektorii (nejpravděpodobnější predikci).	Vidí „strom“ nebo „vějíř“ možných budoucností.
Matematická náročnost	Nízká až střední – vhodná pro časté přepočty (např. každých 5 minut).	Vysoká až velmi vysoká. Výpočetní náročnost rychle roste s počtem scénářů (často výrazně).
Reakce na překvapení	Reaguje až po jejich vzniku (v dalším kroku).	Je připraven dopředu: riziko je zahrnuto v modelu.
Typické využití	Operativní řízení baterie (vnitrodenní obchodování, řízení v reálném čase).	Strategické plánování a alokace kapacit (např. SVR na den dopředu).

Praktický dopad na BESS a ekonomiku provozu

Optimalizace využití kapacity

Správné řízení flexibility umožňuje efektivnější využití kapacity baterie a snižuje extrémní ztráty.

Kompromis mezi výnosem a bezpečností

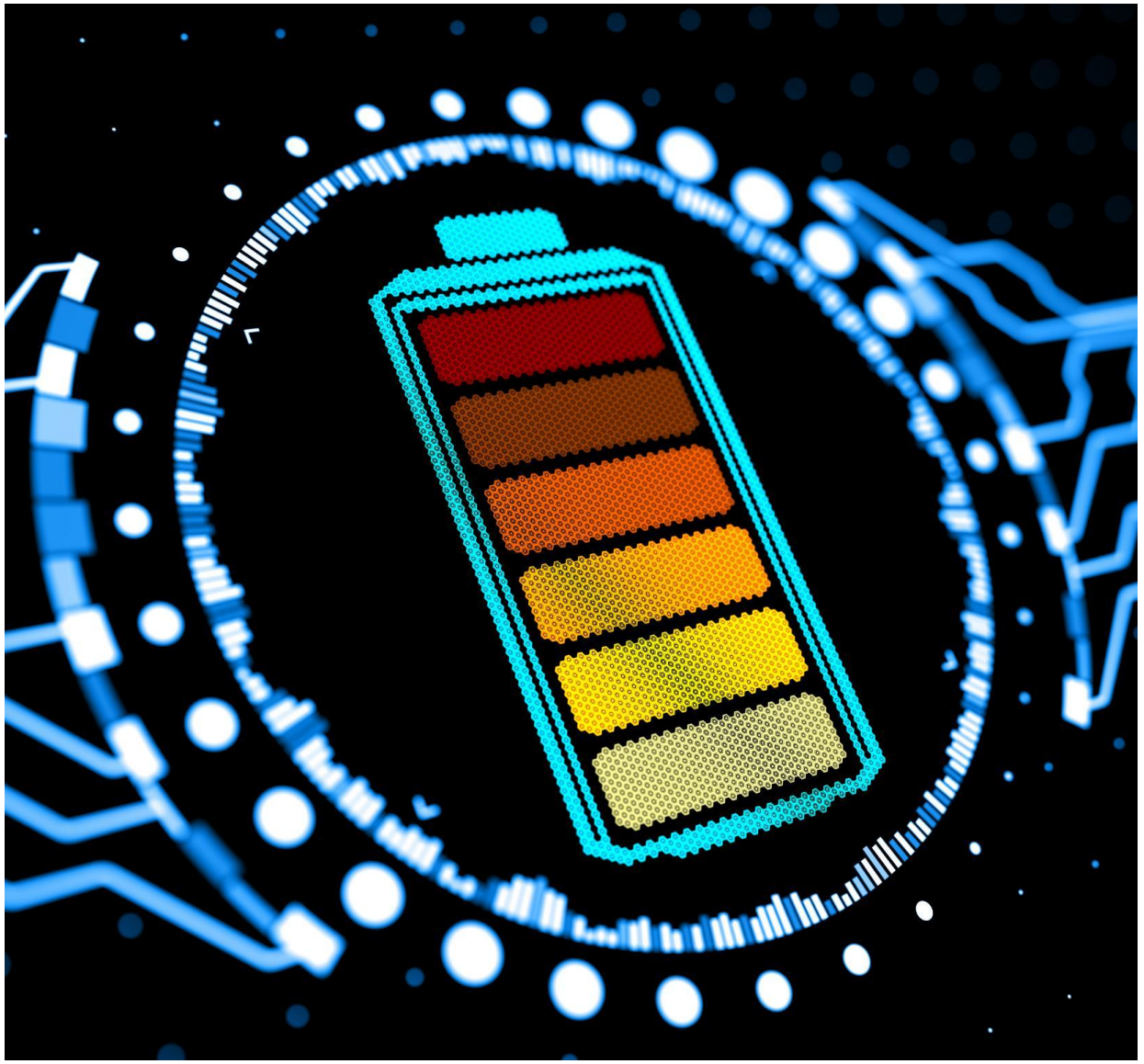
Pokročilé metody ponechávají rezervu kapacity, aby chránily hodnotu aktiva a snižovaly volatilitu výnosů.

Lepší sladění trhů

Integrace rozhodování na trzích s kapacitou a vnitrodenních trzích umožňuje efektivnější arbitráž.

Vyšší stabilita a důvěra

Pokročilé řízení flexibility zvyšuje provozní stabilitu a důvěru partnerů, regulátorů a trhu.





Cíl: Predikce ceny kapacity aFRR

Predikce ceny kapacity

Vývoj softwaru zaměřeného na predikci akceptované capacity price v aukcích aFRR zvýší přesnost rozhodování.

Modely pro POS a NEG rezervu

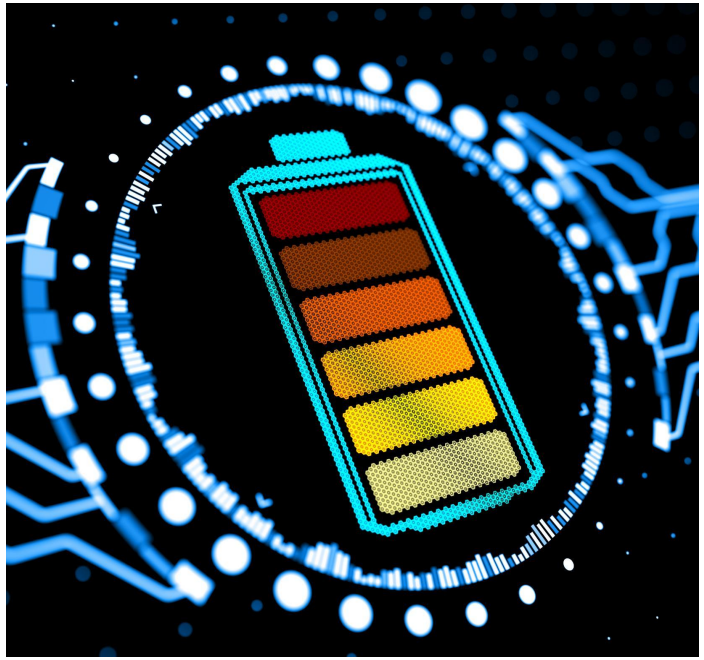
Samostatné modely predikce pro pozitivní a negativní rezervu budou odrážet rozdílnou tržní dynamiku.

Optimalizace a snížení rizik

Integrace predikcí do **Model Predictive Control (**MPC) rámce umožní lepší plánování, optimalizaci nabídek a minimalizaci rizik nevýhodných rozhodnutí.

Profesionalizace řízení flexibility

Vyvíjený software podpoří konkurenční výhodu využitím dat, pokročilé analytiky a systematického řízení reakce na nejistotu na trhu.



Stav k 26/10/2026

Predikce ceny kapacity

Vývoj software zaměřeného na predikci capacity price v aukcích aFRR zvýší přesnost rozhodování.

Modely pro POS rezervu

Implementovány samostatné predikční modely pro pozitivní rezervu POS:

CZECH_REPUBLIC_MARGINAL_CAPACITY_PRICE_[(EUR/MW)/h], a to afrr hodnota POS.

Zdroj: regelleistung.net

Prozatím se predikuje hodnota POS za pomocí německých svátků a také hodnoty NEG v předešlém období.

Optimalizace vyvíjeného predikčního modelu

Modely se trénují pro každý den.

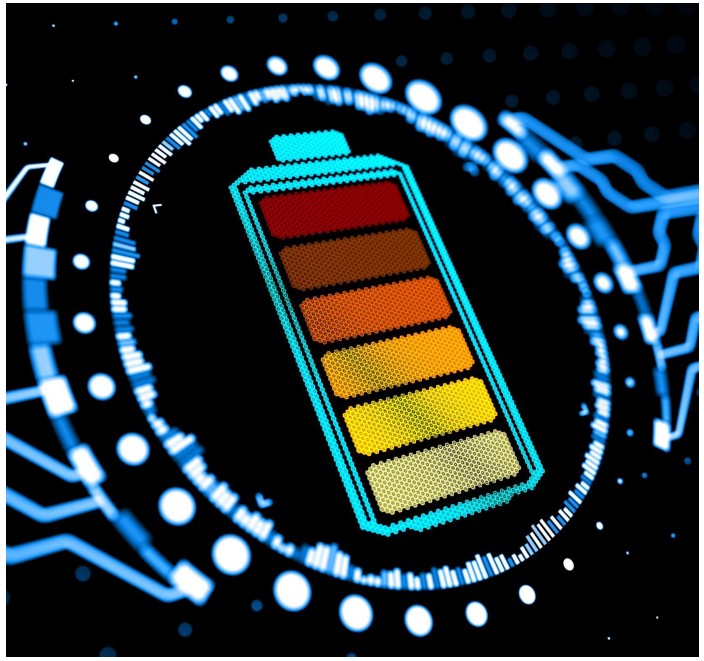
Optimalizace jejich parametrů je nutná, provádí se v delších intervalech.

V rámci nasazení modelu je nutné zjistit, v jakých (to zatím není jasné, vzhledem ke složitosti predikcí a krátkému času zkoumání).

Profesionalizace řízení flexibility

Integrace predikcí do **Model Predictive Control** (MPC) rámce umožní lepší plánování, optimalizaci nabídek a minimalizaci rizik nevýhodných rozhodnutí.

Vyvíjený software podpoří konkurenční výhodu využitím dat, pokročilé analytiky a systematického řízení nejistoty na trhu.



1-step prediction (jednokroková predikce)

Jak funguje?

- pro každý ze 6 denních 4h slotů se zvlášť natrénuje model
- jen historie daného slotu do včerejšího dne 20_24 (lagy, rolling statistiky POS/NEG a kalendář)
- predikce na den D je přímý 1-denní odhad ceny v daném slotu
- sloty téhož dne se navzájem neovlivňují
- hyperparametry (včetně délky trénovacího okna) jsou pro každý slot předem uložené
- při každém běhu se model znovu přetrénuje

1. Shrnutí

Vyvíjený skript vygeneroval 168 predikcí za 28 kalendářních dní. Celková MAPE činí 36.73 %, korelace skutečných a predikovaných hodnot je r = 0.760 (R^2 = 0.578). Model spolehlivě zachycuje denní profil ceny v nočních a ranních slotech; největší odchylky jsou u slotu 08_12 (nízké ceny) a u večerních špiček 20_24 (podhodnocení).

2. Popis algoritmu

2.1 Přehled pipeline

Pro každý predikční den probíhá následující proces:

1. Stanovení cutoff bodu (konec předchozího dne).
2. Načtení optimalizovaných hyperparametrů pro jednotlivé modely.
3. Přetrénování **šesti nezávislých regresních modelů** pro časové sloty 00-04 až 20-24.
4. Provedení 1-step **predikce**, která simuluje budoucí vývoj v rámci predikovaného dne.
5. Sloučení výsledků jednotlivých slotů do finální predikce.

Klíčová vlastnost: Modely jsou před každou predikcí aktualizovány na nejnovějších dostupných datech.

2.2 Příznaky (features)

Skupina	Příznaky	Význam
POS lagy	pos_lag_1 … pos_lag_n	Autoregrese cílové POS (n_lags 11–33 podle slotu)
NEG lagy	neg_lag_1 … neg_lag_7	Protějšková marginální cena NEG
Klouzavé statistiky	pos_roll_mean_w, pos_roll_std_w	Trend a volatilita v oknech roll_windows
Kalendář	dow, month, is_weekend	Den v týdnu, měsíc, víkend
Svátky	is_holiday_bavaria, is_holiday_saxony	Svátky v Bavorsku a Sasku (Německo)

- při predikci se pro každý den příznaky inicializují z aktuálnách trénovacích dat,
- jde o jednu predikci na slot a den,
- celkově tedy 6 modelů = 6 samostatných příznaků = 6 samostatných predikcí

3. Hodnoticí data

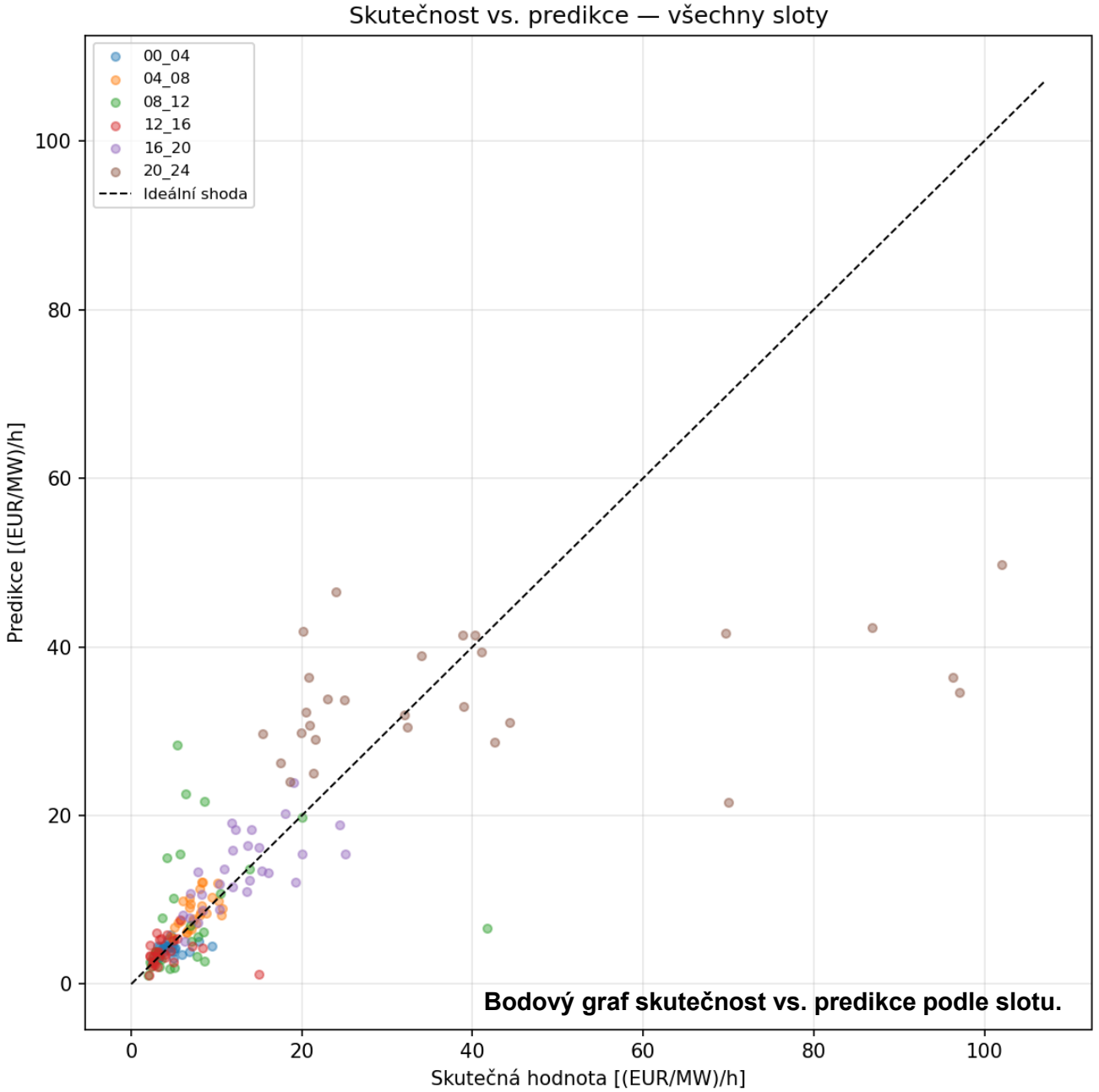
Období: 2026-06-01 až 2026-06-30 (28 dní, 6 slotů/den = 168 řádků = 168 predikcí).

Protokol: denní přetrénování, cutoff = předchozí den 20_24.

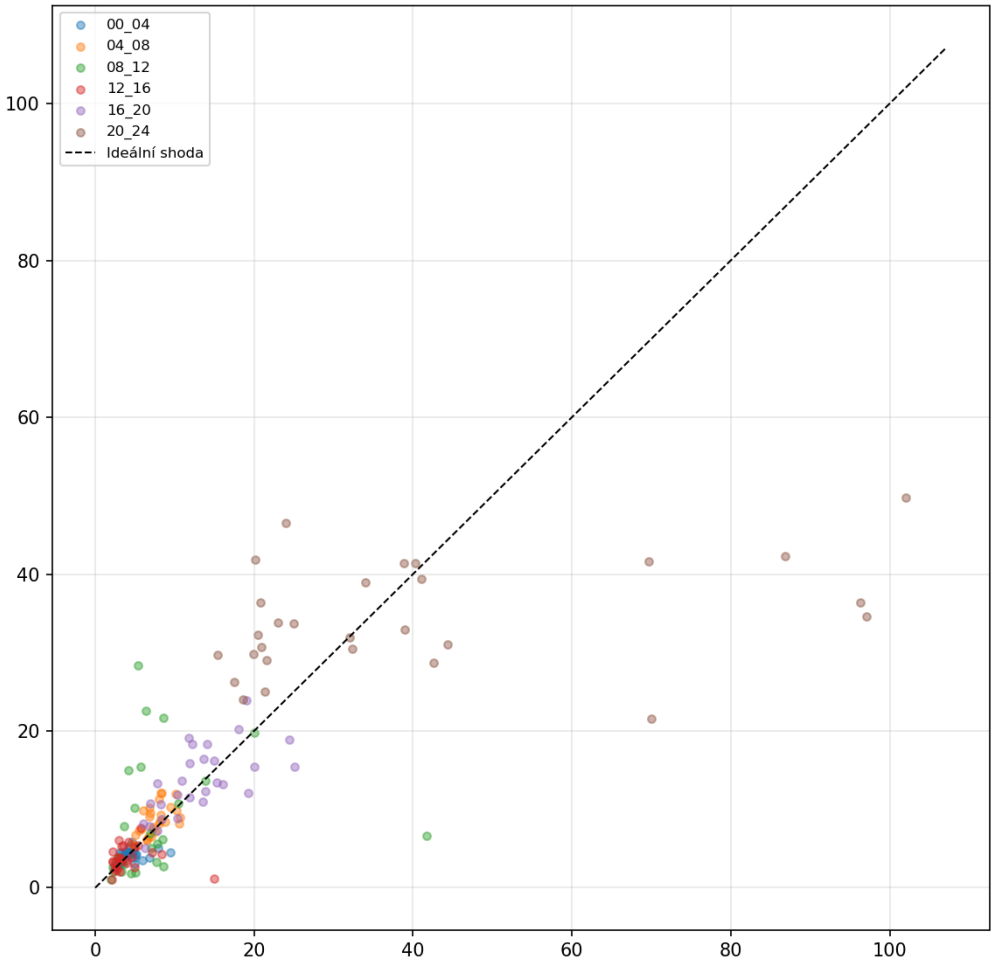
Data: aktuální

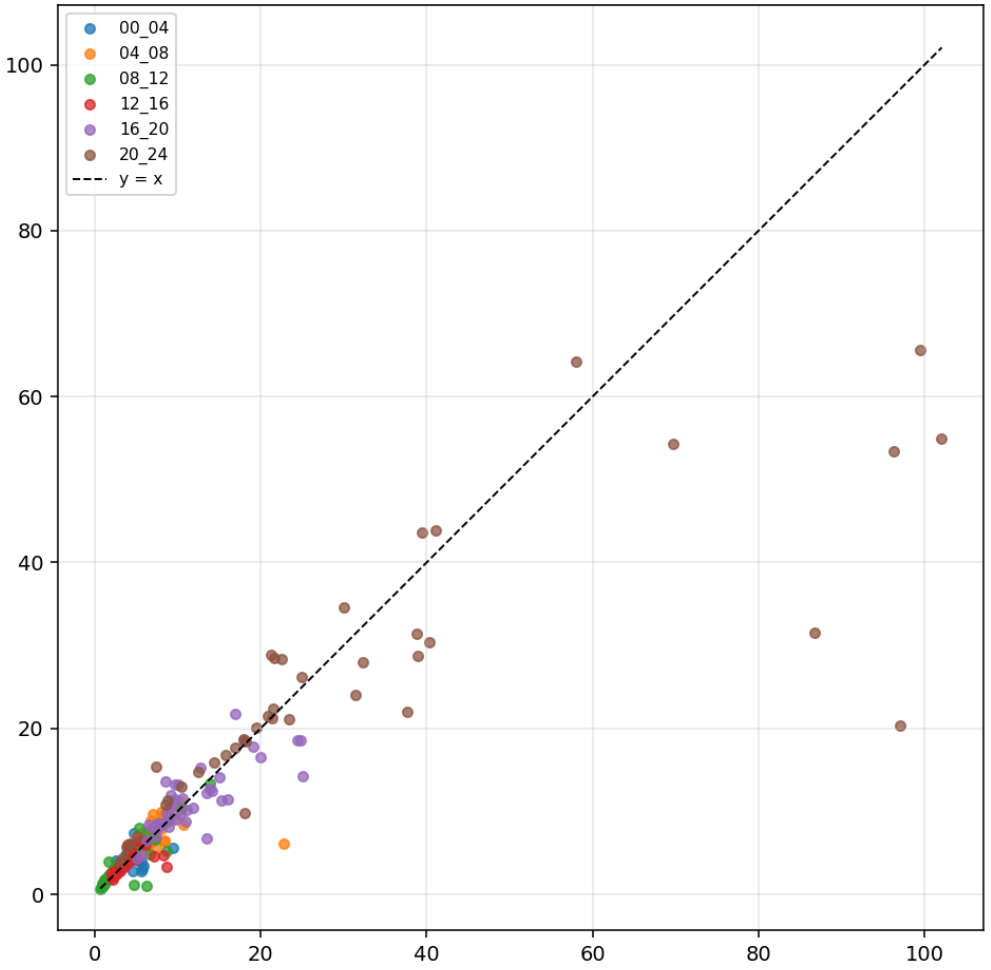
4. Celková přesnost predikce

Metrika	Hodnota
Počet predikcí	168.00
Počet dní	28.00
MAPE (%)	36.73
sMAPE (%)	32.45
RMSE (EUR/MW/h)	11.27
MAE (EUR/MW/h)	5.04
Bias (EUR/MW/h)	-0.76
Korelace	0.76
R^2	0.58



5. Porovnání klasické vs. kvantilové regrese





Bodový graf: skutečnost (osa x) vs. predikce (osa y) podle slotu. Jednotky: (EUR/MW)/h

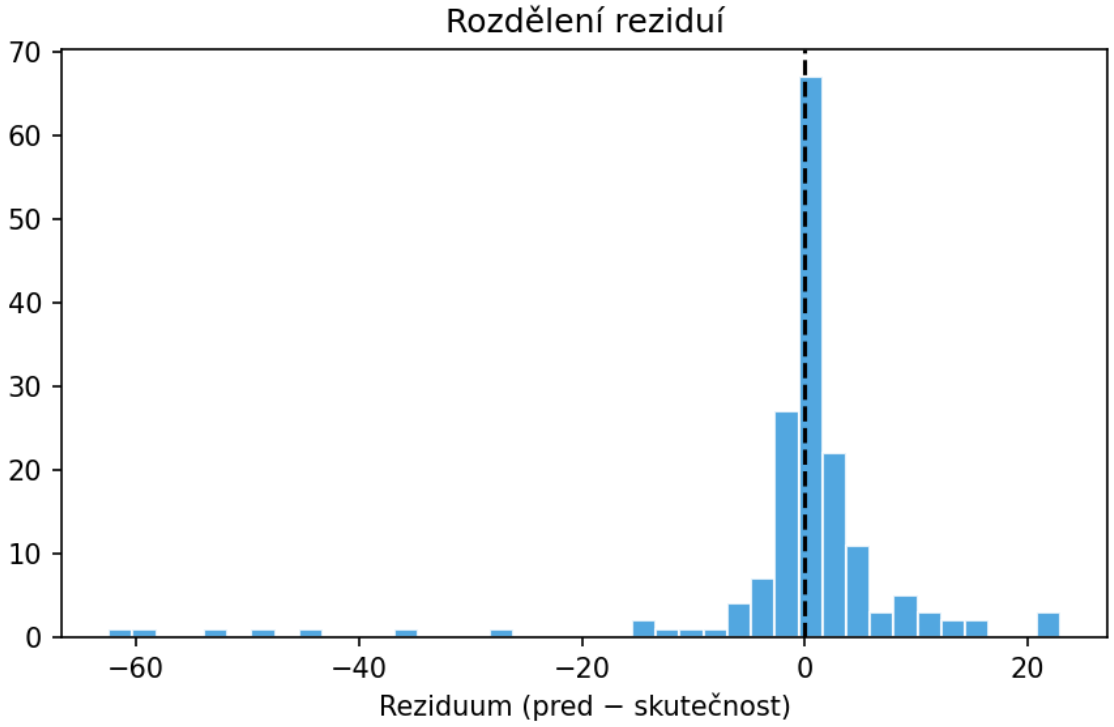
6. Závěry

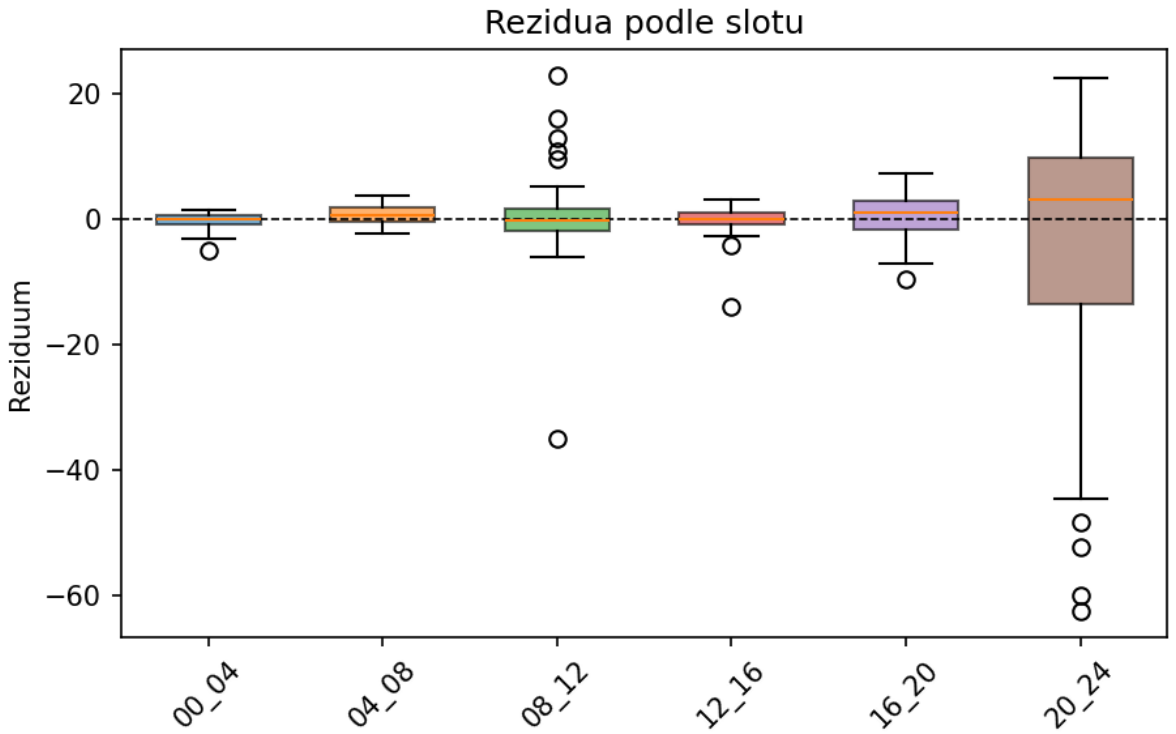
• Vyvíjený skript vygeneroval 168 predikcí za 28 kalendářních dní.

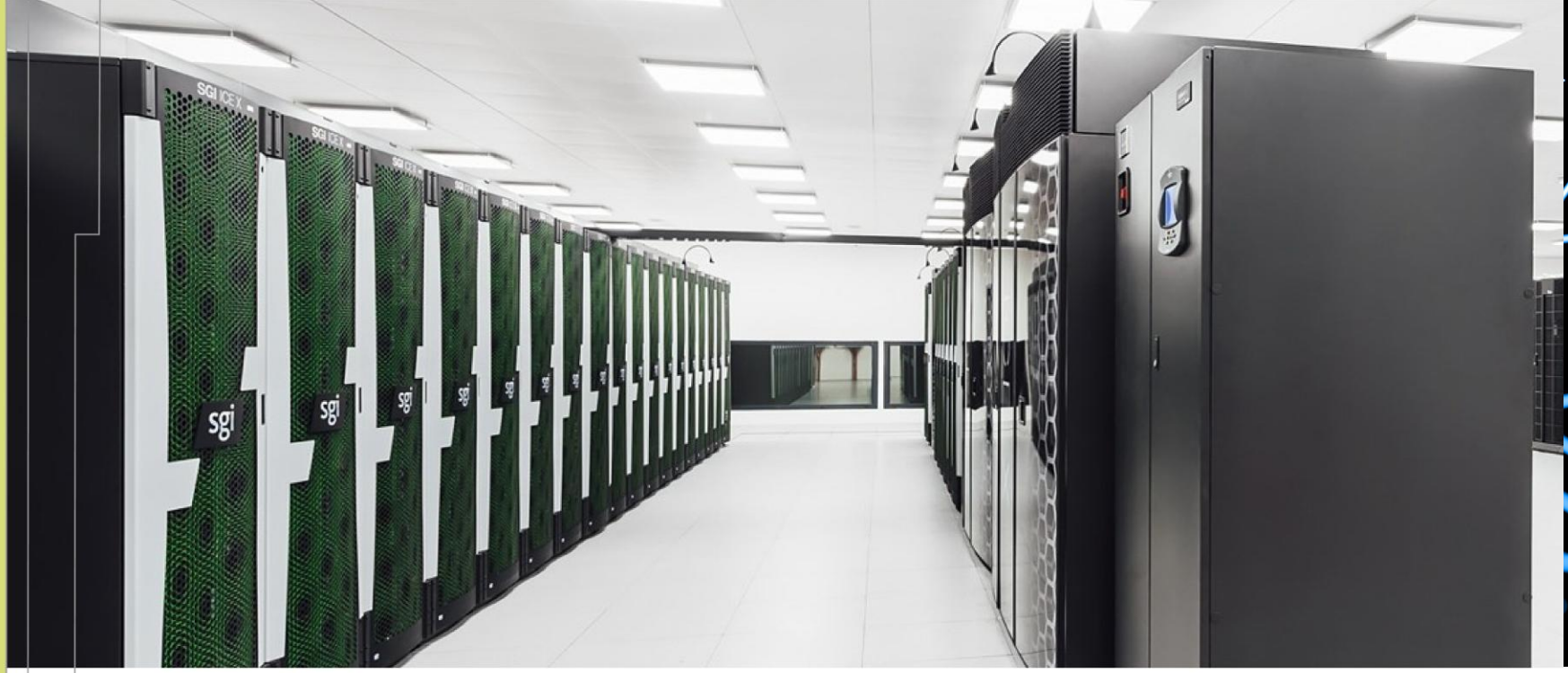
• Load-model pipeline je provozně použitelný: denní přetrénování adaptuje model na nová data při zachování stabilních HPO parametrů.

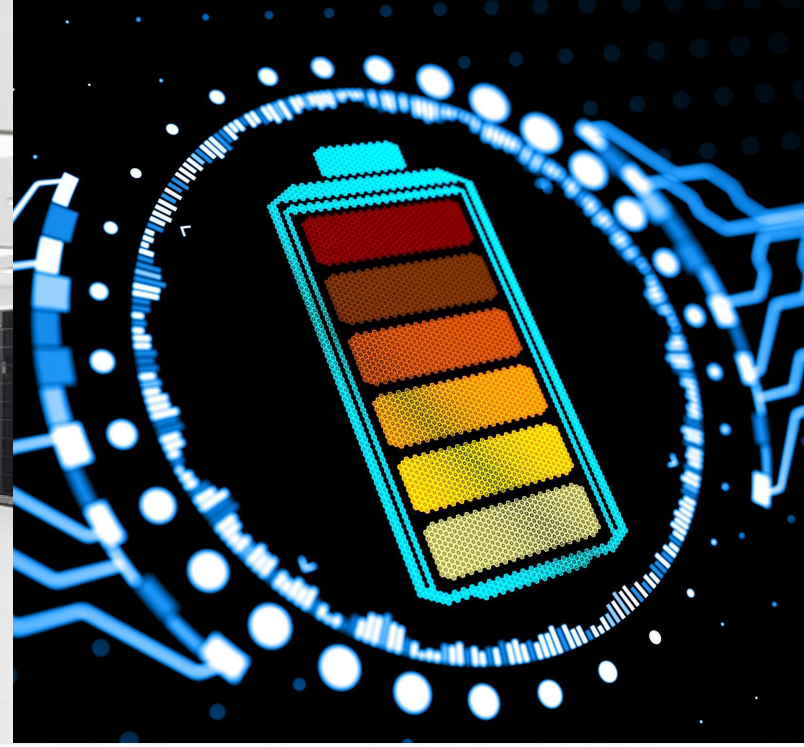
• Noční a ranní sloty (00_04, 04_08) dosahují MAPE ~12 %; slot 08_12 zůstává nejslabší kvůli velmi nízkým cenám.

• Graf s 90% PI ukazuje, že interval je užitečný v ranních hodinách, ale podhodnocuje nejistotu večerních špiček.









Děkujeme za pozornost!

Pavel.Praks@vsb.cz
Renata.Praksova@vsb.cz
Frantisek.Svrcek@vsb.cz
Lukas.Prokop@vsb.cz

Zvýšení odolnosti energetických sítí v kontextu dekarbonizace, decentralizace a udržitelného socioekonomického rozvoje

CZ.02.01.01/00/23_021/0008759

Operační program Jan Amos Komenský

Spolufinancováno Evropskou unií

Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy