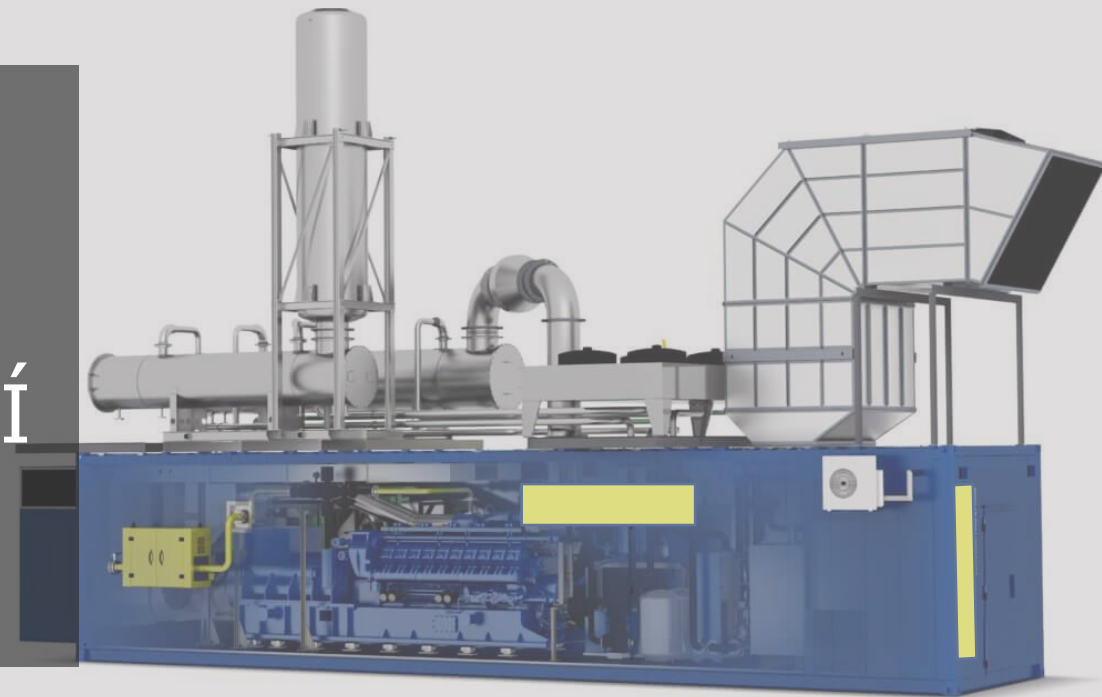


Část I.

Sborník referátů
z odborné konference

TAČR TK01030082
LOKÁLNÍ ZDROJE ELEKTŘINY A
TEPLA V KOMUNÁLNÍM PROSTŘEDÍ
S MOŽNOSTÍ OSTROVNÍHO
PROVOZU



konané v Praze ve dnech
11. a 12. 11. 2024

ISBN 978-80-01-07367-4

O projektu

Řešení projektu TK01030082 probíhá v letech 2018-2025. Řešitelský výzkumný tým tvoří odborné skupiny tří veřejných univerzit: České vysoké učení v Praze, Vysoká škola ekonomická v Praze, Západočeská univerzita v Liberci a výzkumný tým Krajské nemocnice Tomáše Bati ve Zlíně.

Externími aplikačními garanty projektu jsou Středočeské inovační centrum a Zlínský kraj.

Cílem je navrhnout komplexní řešení malého zdroje včetně projektové dokumentace, v které budou rozpracovány technické principy umožňující realizaci zdroje, navržena technologická schémata zapojení malého zdroje v rámci distribučních stanic tepla a technologická schémata zapojení rozvodů elektrické sítě, a to jak v součinnosti s vyššími rozvody elektrické energie, tak i pro ostrovní provoz. Součástí návrhu bude i vliv a vzájemná zastupitelnost tzv. prosumers na fungování distribuční sítě a případné náhrady centrálního zdroje těmito dílčími jednotkami. K návrhu lokálního zdroje byl vytvořen simulační model, jehož vstupní parametry jsou navázány na konkrétní energetické vstupy a potřeby řešených území. Celé řešení je průběžně posuzováno z hlediska ekonomické přijatelnosti a uskutečnitelnosti.

Projekt ve spolupráci s krajem umožňuje aplikaci poznatků na poli ostrovních provozů jako nástroje krizové infrastruktury v elektroenergetice. V jednotlivých fázích jsou řešena aktuální témata akumulace elektrické energie, která mění přístup ke klasické elektroenergetice a přináší velké množství výzev z hlediska efektivity, dynamiky a vlivu na spotřebitele elektřiny (demand-side), zvláště s očekávaným robustním nástupem elektro mobility.

Na poli teplárenství i elektroenergetiky byly v rámci projektu v posledních letech sestaveny funkční numerické modely postihující specifika malých zdrojů pro výrobu (akumulaci) tepelné energie a to jak v zapojení takových malých zdrojů do nadřazených soustav, tak i v čistě ostrovním provozu. Projekt postihuje i dlouhodobé výhledy v oborech v rámci teplárenství a energetiky (technologie pro akumulaci tepla, technické materiály pro tepelné sítě, oběhové látky teplárenských soustav). Získané poznatky vedou k rozšíření možností malých energetických zdrojů, včetně návrhu a posuzování jejich efektivity.

Úvodní slovo vedoucího projektu



Naše země v posledních 3 letech prošla, i z pohledu energetiky, velmi náročným obdobím, které potvrdilo, že základní teze našeho projektu, tedy samostatnost lokálních teplárenských a elektrických soustav, zejména v případech problémů nadřazených distribučních celků, byly zcela správné. Proběhlé a dosud neukončené výběrové řízení na dva menší jaderného reaktory pro Dukovany na těchto myšlenkách nic nemění a naopak, lze očekávat, že takto koncipovaná „Velká energetika“ bude potřebovat lokální zdroje, zapojené do vyšších soustav, i s jejich spotřebními, výrobními, či akumulačními schopnostmi, ještě více, než doposud.

Také aktuální trendy ve výrobě biomasy, určité vystřízlivění ze systémů založených především na tepelných čerpadlech koncepce vzduch/voda a velký rozsah nově instalovaných solárních zdrojů v celé střední Evropě naznačuje, že zatímco v době zahájení našeho projektu jsme byli v energetice spíše osamělými běžci, tak nyní jsme v čele celého pelotonu, směřujícího k efektivní a spolehlivé energetice...

Výzkumné a inženýrské práce provedené v posledních letech v rámci našich výstupů a výsledků jsou základem pro budoucí inženýrskou činnost, založenou především na zdrojích a podmínkách v okolí zásobovaného areálu, ve kterých spojení s veřejnými sítěmi je oboustrannou výhodou, nikoliv však nutnou podmínkou jejich funkce. Takto vzniklé soustavy pak minimalizují dopravní náklady a významnou měrou se podílí na zvýšení bezpečnosti dodávek, spolu s příznivými dopady na místní zaměstnanost.

Obsah

Část I.

1/ Komplexní řešení malého energetického zdroje a jeho integrace do distribučních sítí.

P. Sláma + V. Mužík + O. Pártl + P. Jančík

2/ Představení webového interface MAEZR a ukázka modelu výroby a distribuce tepla a elektřiny v uživatelském prostředí pro návrh energetického systému

P. Jančík, V. Mužík,

3/ Prediktivní systémy při řízení výroby tepla v lokální distribuční soustavě s možností ostrovního provozu

V. Papež, P. Jančík, P. Sláma

Část II.

4/ Zkušenosti s měřením a hodnocením fyzikálních veličin v zásobování areálu KNTB elektřinou a teplem.

L. Kročil

5/ Rozvoj komunitní energetiky v kontextu jednotlivých TŘ z pohledu aplikace bateriových úložišť

V. Mužík

5a/ Interakce lokálních zdrojů elektrické energie s nadřazenou distribuční sítí na příkladu TŘ2.

V. Mužík

6/ Využití akumulčních systémů tepelné energie pro Lokální distribuční soustavy

P. Sláma, P. Prokop

Komplexní řešení malého energetického zdroje a jeho integrace do distribučních sítí

Definice malého zdroje z pohledu TŘ (teplo)

Z Pohledu zásobované oblasti jsou po dohodě realizačního týmu s KNTB, SiC a Zlínského kraje byly zvoleny následující oblasti:

1. **Areál velké** (především krajské) **nemocnice** v některém ze zájmových krajů STČ, PLK a ZLK. Předobrazem jsou zde KNTB a FN Lochoťín.
2. **Středisková obec** o počtu do 5 000 obyvatel v některém ze zájmových krajů. Předobrazem byly např. Kněžice, Horní Počáply aj.
3. **Suburbium** předpokládající hustě osídlené předměstí **většího města** v zájmových krajích s vysokou mírou bytových domů a s nimi souvisejících objektů služeb. Předobrazem v této části byly Strakonice, sídliště Mír, sídliště Dukla, České Budějovice, sídliště Vltava, Český Krumlov, část Domoradice
4. **Průmyslový závod** s významnými energetickými toky v některém ze zájmových krajů. Předobrazem zde je výrobním programem velmi rozdílné podniky Zbirovia a DFH Haus.

Definice malého zdroje z pohledu TŘ (teplo)

Z Pohledu realizovaných výkonů došlo až v průběhu prvního roku práce na projektu k ujednocení na následujících hodnotách:

1. celková **spotřeba tepla** v uvažované oblasti v řádu jednotlivých MWt
2. předpokládané **výkony jednotlivých tepelných zdrojů** byly dohodnuty v rozsahu od 100 kWt do 5 MWt.

V průběhu řešení projektu bylo zjištěno, že toto škálování není dostatečné, protože většina TŘ se uchýlila ke koncepci několik základních, velmi výkonných zdrojů schopných pokrýt podstatnou část spotřeby zásobované oblasti, doplněných dalšími dodatečnými tepelnými zdroji, obvykle nižších výkonů.

I z tohoto pravidla je v projektu jedna výjimka a to záložní plynový kotel o výkonu 4,2 MWt využívaný v některých variantách technického řešení energetiky pro velké nemocnice.

Ve věci počtu a velikosti budov projekt řeší dodávky pro rodinné domy ve střediskové obci, ale také dodávku tepla pro spojené pavilony chirurgie a interny o zastavěném objemu desítek tisíc cbm. V projektu nebyly tyto velikosti a objemy nijak upravovány a výpočty vychází v naprosté většině z velikosti a hustoty umístění skutečných budov v zájmových oblastech.

Definice malého zdroje z pohledu TŘ (teplo)

V záležitosti spolupráce vybraných technických řešení s nadřazenými soustavami bylo v samostatném dokumentu posuzováno, které energetické soustavy jsou této spolupráce schopny, za jakých okolností a s jakými možnými efekty, jak pro lokální soustavu, tak i pro nadřazenou distribuční síť. tzn. že napojení na veřejnou distribuční soustavu elektřiny či tepla je vždy řešení pro každou variantu každého TŘ zvlášť a v předmětných zprávách jsou posuzovány jejich důsledky.

Co se týká možných dodávek z LDS do nadřazené veřejné distribuční soustavy, tak pro každé TŘ i pro každou variantu je tato možnost především s ohledem na výrobní možnosti a technické parametry uvažované v lokálních sítích vždy posouzena s jasným výsledkem – tento typ lokální soustavy je možno použít pro zásobování vyššího distribučního systému / není možno použít....případně jsou uvedena technická omezení, za jakých to možné je a za jakých nikoli.

Základními technickými parametry dle kterých byla možnost této spolupráce posuzována byly především potřebné a nabízené výkony mezi LDS a nadřazenou distribuční soustavou, provozní teploty, tlaky, rychlosti proudění a vlastnosti používaných teplonosných látek s ohledem na jejich vzájemnou kompatibilitu a odstranění možných rizik.

Definice malého zdroje z pohledu TŘ (elektro)

- Z elektrotechnického hlediska představují TŘ velmi **obvyklé elektroenergetické subjekty se specifickým provozem**
- Zvyšuje se penetrace malých zdrojů v oblastech, **z pohledu provozu soustavy se skupiny stávají prosumers**
- **TŘ1 – Nemocniční areál o velikosti velké nemocnice (20 – 30 výskytů v ČR)**
 - Očekávaný elektrický příkon v rozpětí několika jednotek MWe (KNTB 0,8-1,6 MWe)
 - Rozsáhlý nepřetržitý provoz, vysoký společenský dopad, nejvyšší stupeň zajištění dodávky (SZD 1)
 - Velmi podobný energetický design, velký potenciál pro energetický management
- **TŘ2 – Středisková obec do počtu 5000 obyvatel**
 - V ČR splňuje toto kritérium téměř 5000 obcí, pod 1000 obyvatel ~4700 obcí, pod 200 obyvatel ~1400 obcí
 - Vyznačuje se častou kombinací zemědělské činnosti, rezidentní spotřeby a ustáleným DDZ, spotřeba <10 MWe
 - Velký potenciál komunitní energetiky, energeticky téměř totožný design
- **TŘ3 – Městská suburbie (aktuálně žije v sídlištích 3 miliony obyvatel ČR)**
 - V ČR je koncept sídlišť velmi podobný jak z tepelného, tak elektrického hlediska
 - Velmi aktuální z hlediska SVJ, podobný potenciál v panelových domech napříč ČR, maximální příkony <100 kWe
- **TŘ4 – Průmyslový podnik (výskyt ve stovkách)**
 - Z hlediska TŘ je nejvíce specifický typem výroby a je nutné přistupovat ad-hoc
 - Může mít různé typy SZD dle citlivosti výroby (slévárna vs. Poloautomatická výroba) se spotřebou kolem 1 MWe

Dostupné primární zdroje

- V rámci projektu zpracován potenciál využití primárních energetických zdrojů na úrovni okresů nebo ORP v zájmových krajích
- Důraz na lokálnost primárních energetických zdrojů - ekologie i ekonomika
- Analyzované zdroje
 - Biomasa
 - Odpady
 - Geotermální energie a odpadní teplo
 - Solární energie
 - Větrná energie
 - Vodní energie

Biomasa

- Rozdělení podle využití v různých technologiích
 - Sláma a seno (přímé spalování)
 - Zbytky po těžbě dřeva (přímé spalování)
 - Hnůj, kejda, siláž (bioplynové stanice)
- Využití informace z ČSÚ, ÚHÚL, ReStEP
- Důraz kladen na potřeby zemědělství (hnojení, krmení) a ochranu půdy
- Potenciál nejvíce ovlivňuje lokální ráz krajiny (zemědělská výroba rostlinná/živočišná, lesnictví)
- Biomasa může hrát na lokální úrovni významnou roli, ovšem nejedná se o univerzální řešení



Odpady

Využití odpadů pro lokální zdroj bylo posuzováno především:

1. **Dostupnost** pro jednotlivá TR (objemy či hmotnosti v obvyklé svozové vzdálenosti).
2. **Výhřevnost** jednotlivých typů odpadů (s ohledem na strukturu energetické kapacity odpadu v jednotkové hmotnosti během roku, která je proměnná).

Posouzení bylo konfrontováno s praxí = proběhlo jednání na **spalovně Chotíkov** s jejím ředitelem ing. Drápelou a byly vyjasněny technické podmínky spalování na této moderní spalovně.

Zásadní se ukázala informace o potřebě **minimálně 30 000 t odpadu ročně** pro efektivní provoz jakékoli spalovny odpadů.

Tato informace byla potvrzena s menšími odchylkami i na švýcarských kantonálních spalovnách, kde je zcela nejmenší množství spalovaného odpadu v jednom z alpských kantonů 18 000 t odpadu s naprostou neefektivností takové spalovny.

U ostatních spaloven byl údaj 30 000 t ročně potvrzen jako minimální množství.

Odpady

V žádné ze zájmových oblastí našeho projektu nebyla ani vzdáleně naplněna tato podmínka úspěšné realizace spalovny.

Velkou komplikací při řešení tohoto úkolu byly zcela rozporné údaje o množství odpadů v jednotlivých oblastech ČR mezi Českým statistickým úřadem a Ministerstvem životního prostředí.

Oba úřady byly na tento rozpor námi upozorněny s tím, že nadále trvají na svých zásadně rozdílných hodnotách.

Tento zdroj tepla byl v projektu uvažován pouze pro areál velké nemocnice s tím, že po jednání v KNTB byla získána informace, že nemocnice je ochotna z pohledu energetického a ekonomického uvažovat pouze o spalovně nebezpečného odpadu pro kapacitu vlastní a spolupracujících nemocnic s tím, že myšlenkou spalování komunálního odpadu, byť pouze pro vlastní potřeby se zatím nezabývají.

Geotermální energie a odpadní teplo

- Geotermální energie
 - V hloubce 500 m pod povrchem teploty mezi 20 °C a 30 °C
 - Prameny mající vyšší teploty jsou vzácné a málo vydatné
 - V podmínkách ZLK, PLK a STC tyto dosud známe zdroje nejsou energeticky významné
- Odpadní teplo
 - Navázáno na energeticky náročné průmyslové procesy (elektroenergetika, metalurgie, výroba stavebních materiálů) nebo chlazení (zimní stadion)
 - Využitelnost podle teplotní hladiny a výkonu



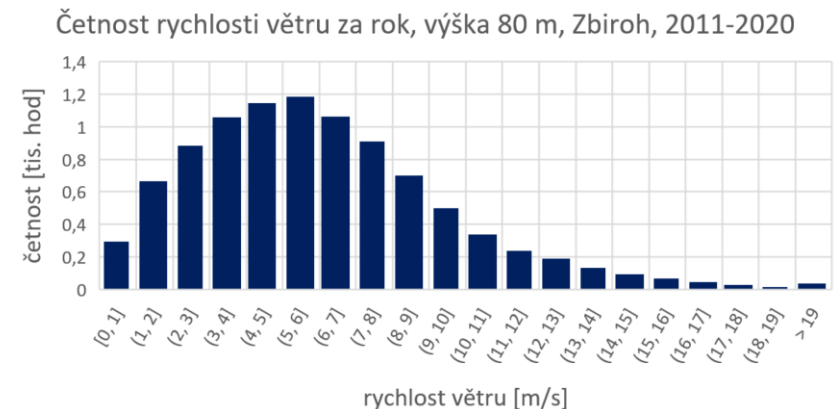
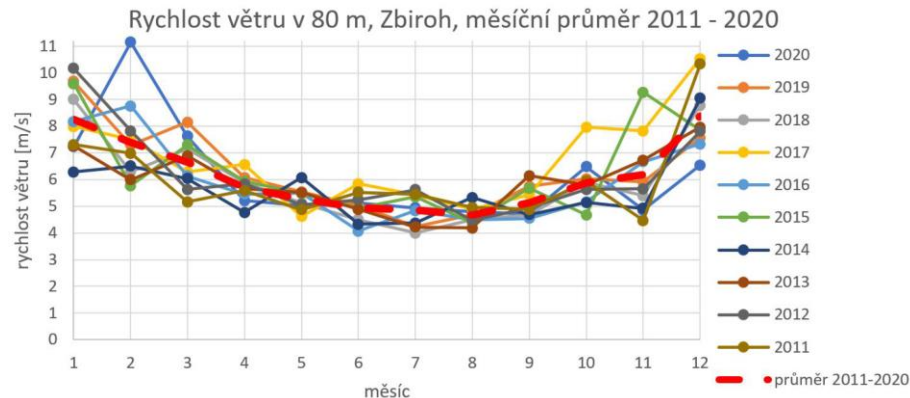
Solární energie

- Výroba závislá na slunečním záření a orientaci FV panelů
- Umístění
 - Střechy
 - Brownfieldy
 - Vodní plochy
 - Agrifotovoltaika
 - Svislé panely



Větrná energie

- K dispozici data o rychlosti větru ve výšce 80 m nad zemí (Meteoblue)
- Průměrné rychlosti větru se liší v závislosti na ročních obdobích
- Pro efektivní využití instalovaného výkonu je vhodné využívat i nízkých rychlostí
- Potenciál turbín se svislou osou rotace (VAWT)

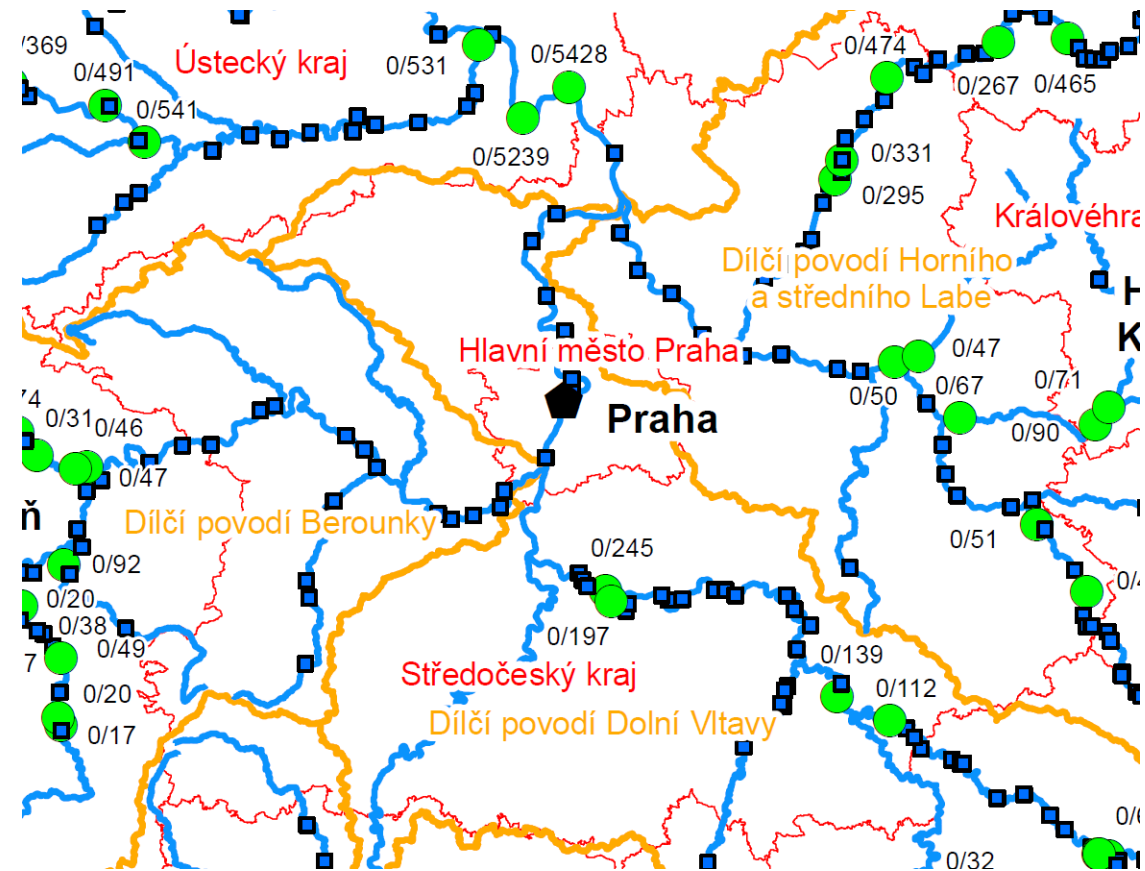


Vodní energie

- Využití vodní energie jako doplňkový zdroj v oblastech TŘ
- Došlo k využití zmapovaného hydropotenciálu v ČR
- **Cíle:**
 - Zmapovat výkonový potenciál pro jednotlivé kraje
 - Určit závislost vyráběného výkonu na průměrných denních tocích
 - Vytvořit detailní simulace výroby elektřiny na zvolených místech
 - Běžná
 - Extrémní varianta
- **Vstupy** - skutečné měřené průtoky za 10 let (ČHMI)
- Výstupy:
 - Pro ČR je potenciál pro OZE marginální (33-55 MW), hraje ale **významnou roli v OZE a ve vodní energetice**
 - **Negativní vliv** na rozvoj **je vysoká cena za 1 MW** instalovaného výkonu

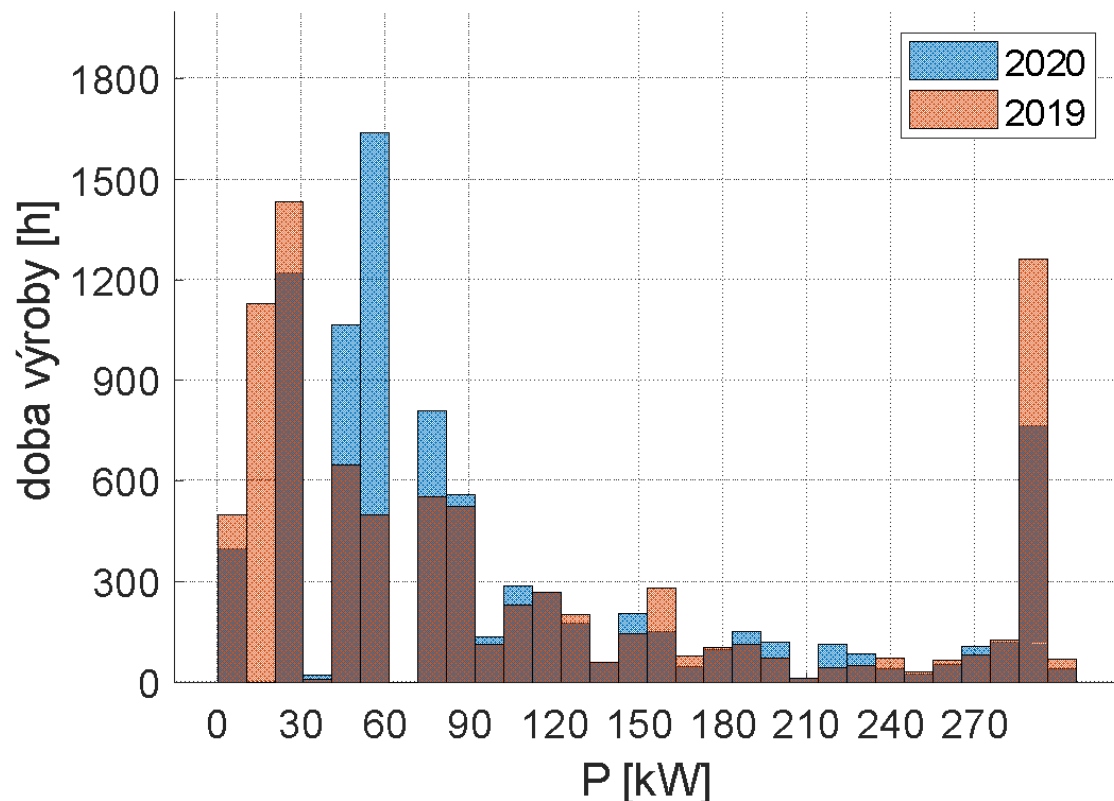
Vodní energie – identifikace zajímavých míst

- Dílčí povodí
 - horní a střední Labe, dolní Vltava
- Uvažované toky
 - Sázava, Jizera, Mrlina, Labe, Cidlina, Doubrava
- Celkem **12 identifikovaných míst** s energetickým potenciálem
- Celkový potenciál **2,05 MWe** instalovaného výkonu
 - Do 35 kW 0 míst
 - 35 – 100 kW 5 míst
 - 90-100kW 0 míst
 - Nad 100 kW 7 míst

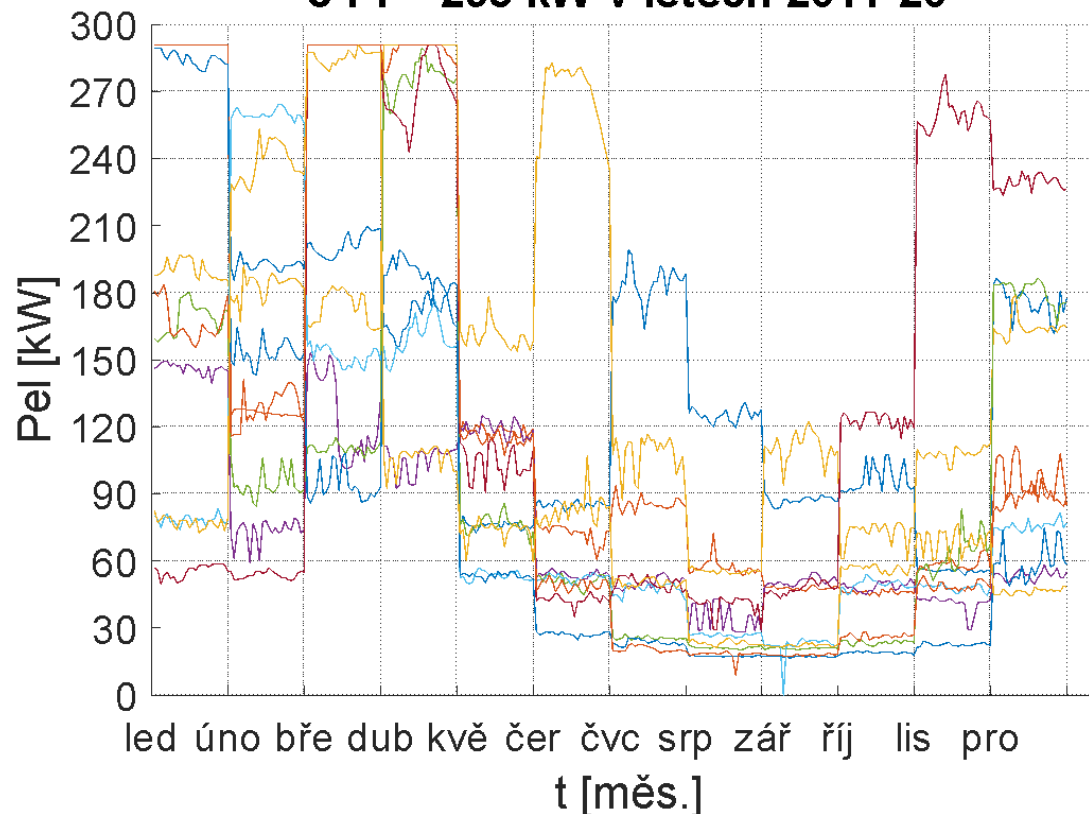


Vodní energie - simulace

**Histogram výkonů pro turbínu 98000
o $P_i = 295$ kW v letech 2019/20**



**TDD měsíční pro turbínu 98000
o $P_i = 295$ kW v letech 2011-20**



Energetická potřeby řešené lokality (elektro)

- **Analýza roční energetické potřeby řešeného území (analýza výkonových hladin)**
 - Stále opomíjený přístup – potřeba dat, složitost
 - Identifikace sezónních výkyvů, maximálních a minimálních výkonových hladin
 - Základ pro rozhodování
- **Optimalizace diagramu zatížení a návrh mixu energetických zdrojů**
 - Nároky na energetický management podmíněný rozsáhlým měřením aktuální spotřeby objektů (realizováno v KNTB)
 - V ČR je situace komplikovaná především ekonomickou dostupností variant energetických zdrojů
- **Akumulace elektrické energie jako místní regulační prvek**
 - Zajímavé i z hlediska změny legislativy a poskytování služeb
 - Maximální využití OZE
- **Budoucí rozvoj energetické potřeby**
 - Elektromobilita
 - Elektrifikace procesů
 - Chladicí procesy

U všech uvažovaných variant v TŘ došlo ke zhodnocení z hlediska těchto variant

Energetická potřeba řešené lokality (teplo)

- Potřebná teplotní hladina dodávek
 - Vnější podmínky (počasí, režim provozu)
 - Typy spotřebičů (otopné soustavy, technologie)
- Potřebné množství tepla
 - Vnější podmínky (počasí, režim provozu)
 - Množství spotřebičů (odběrných míst)
 - Způsob využití a sociální faktory ovlivňující spotřebu
- Teplo je třeba zajistit v každém okamžiku
- Toto nezohledňují měsíční či roční bilance, je třeba pracovat s podrobnějšími daty

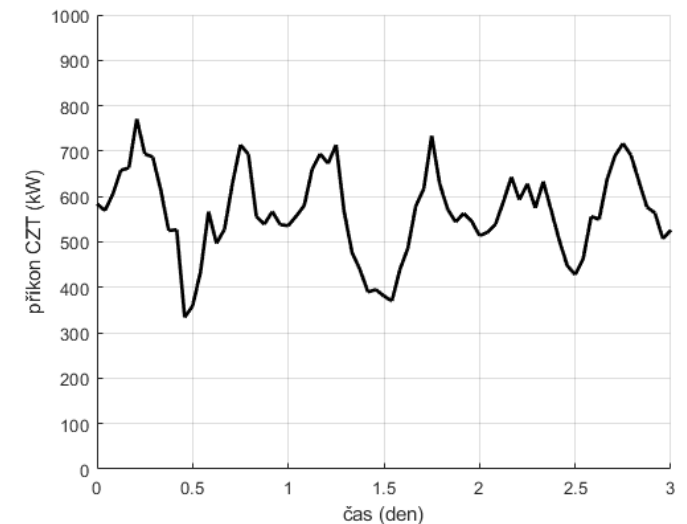
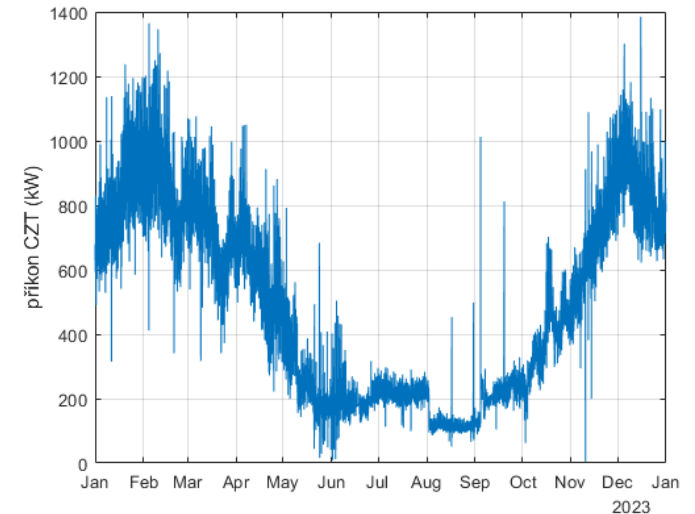
Teplotní hladiny

- Teplo musí být dodáváno na požadované teplotní hladině
- Snaha o snižování teplotních hladin kvůli omezení ztrát
- Limity dosažitelných teplot
 - Otopné soustavy, výměňkové stanice, vzduchotechnické jednotky
 - Hygienické limity (legionella)
 - Technologické požadavky (ohřev, sušení, ...)
- Zdroje tepla jsou citlivé na požadovanou teplotu (tepelná čerpadla, kondenzační kotle nebo chladicí stroje)



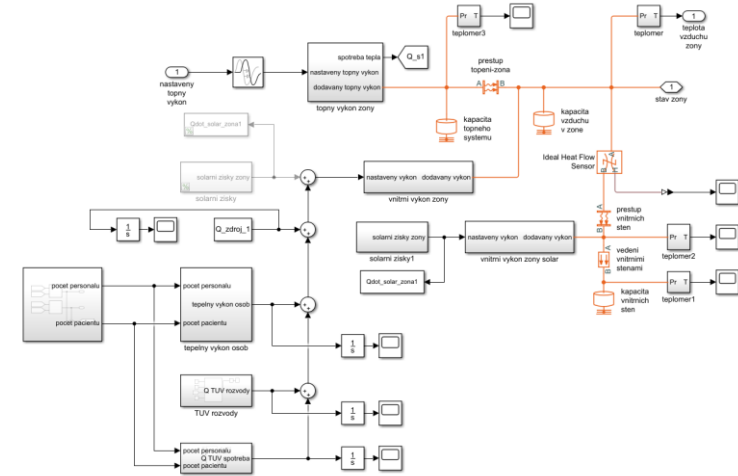
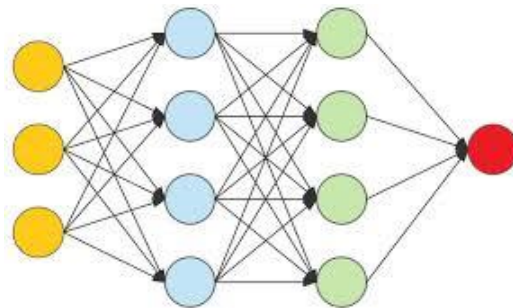
Množství tepla

- Teplo musí být dodáváno v požadovaném množství
- Množství tepla ovlivňuje:
 - Charakter spotřebičů (využití objektů, technologie)
 - Počet a velikost spotřebičů (odběrných míst)
 - Počasí
 - Roční období
 - Denní doba
 - Sociální faktory související s užíváním budov
- V čase se požadavky velmi liší
- Je třeba brát v potaz i rozvoj zásobovaného území



Experimentální data, modely, predikce (teplo)

- **Měření**
 - **Přímé** - spotřeba tepla
 - **Nepřímé** - spotřeba paliva
- **Modelování**
 - **Fyzikální numerické modely**
 - Tepelné chování objektů na základě jejich konstrukce a profilu užívání
 - **Nefyzikální numerické modely**
 - Předpověď na základě měřených dat z minulosti



Experimentální data, modely, predikce (elektro)

- Pro detailní simulaci stavu systému jsou data klíčová
- Každý systém je povahou provozu unikátní (v rámci kategorie TŘ však podobný – např. provoz krajské nemocnice)

V projektu:

- Důraz na reálně měřená data, souběžně a v dostatečně detailním měřítku
- Někdy střet vizí energetického managementu vs. potřeby pro fyzikálně věrohodnou simulaci

Data:

- Externí technologie – Weidmüller Energy metery – analýza $U(V)$, $I(A)$, $P(W)$, $Q(VAr)$, $S(VA)$, $f(Hz)$, THD...
- Přenosy měření z dedikovaných zařízení (např. KGJ Kněžice) – Bluematic – $t(^{\circ}C)$, $Q(J)$, $P_{el}(We)$, $T_{tep}(Wt)$

Modely a predikce:

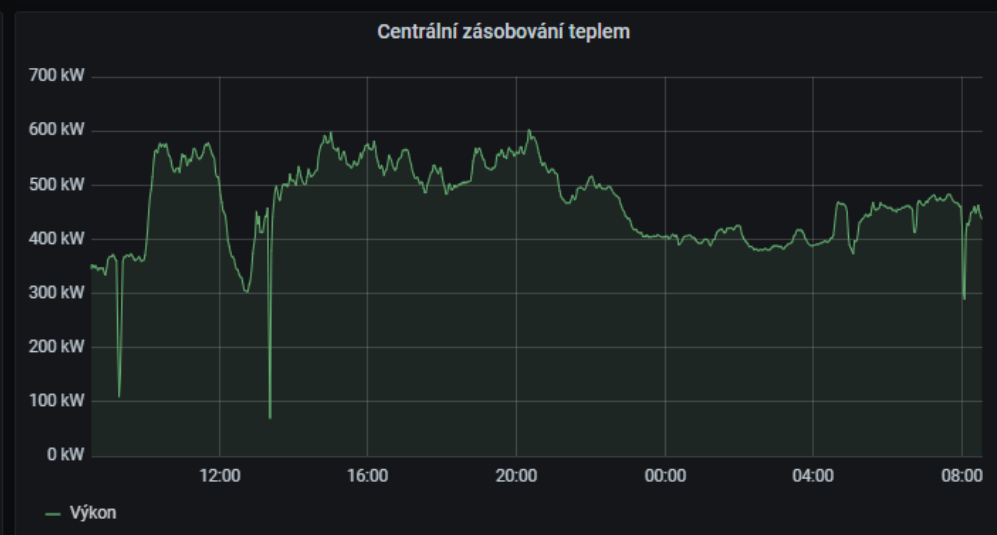
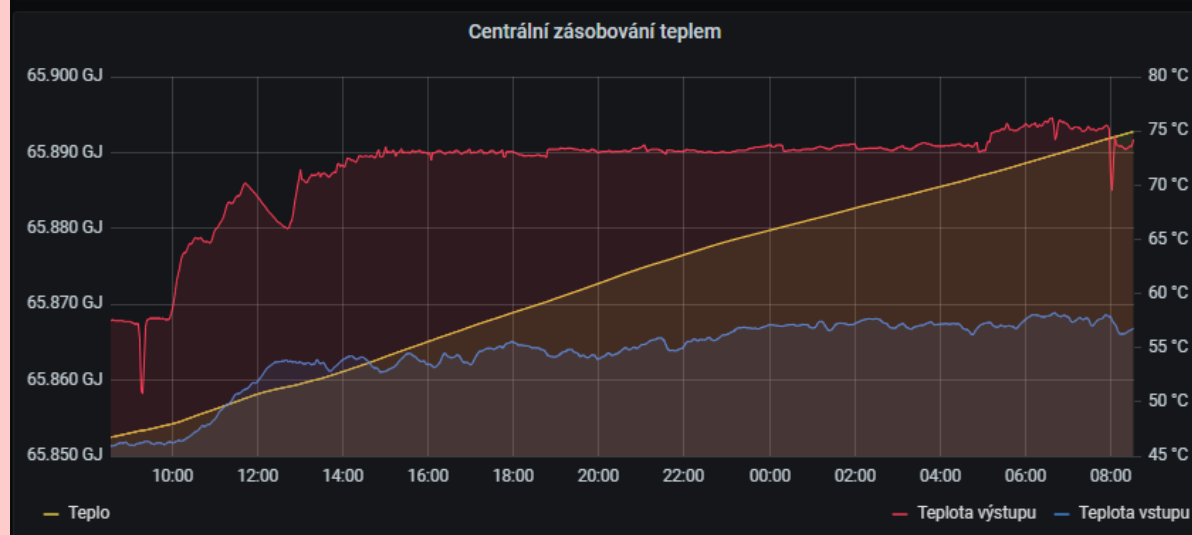
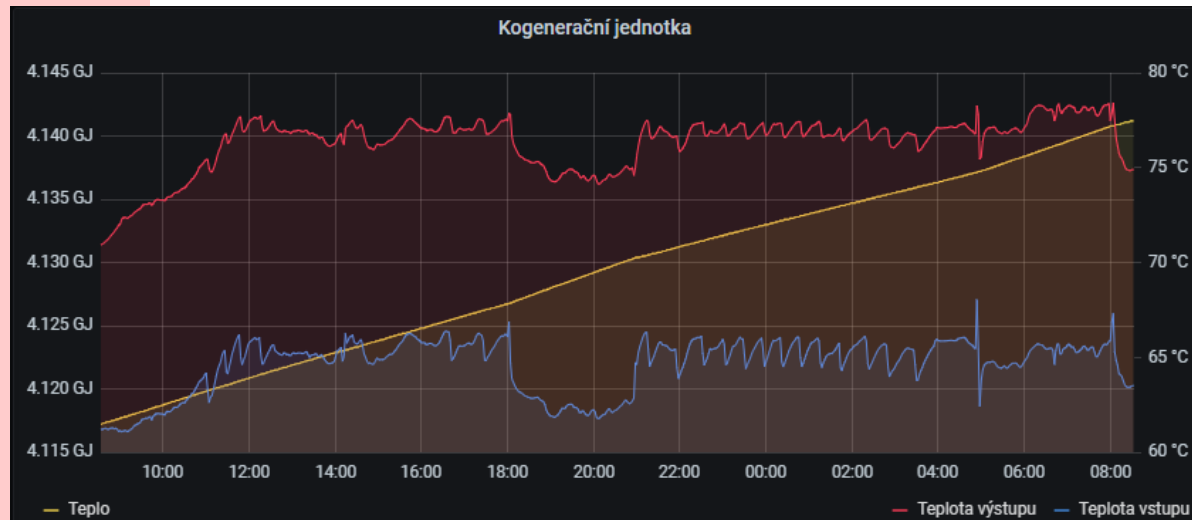
- **Bilanční modely** – umožňují **základní práci pro všechny uživatele** (např. analýza DDZ a plánování zdrojů)
- **Dynamické modely** – sledují **specifické veličiny**, většinou pro pokročilé uživatele (např. změna frekvence při změně zatížení/výroby či výroba elektrické energie v průběhu roku v MVE)
- **Predikční modely** – využití **neuronových sítí**, velmi pokročilé ovládání (např. rekonstrukce nebo doplnění chybějících dat, evoluce trendů atd.)

Ukázka instalace a měřených dat

- Měření mnohdy probíhá bez interakce s třetí stranou
- Centrální úložiště dat v serveru na ZČU – vizualizace v uživatelsky přívětivém prostředí Grafna
 - Data uložena v SQL databázi, výčet probíhá přes různé protokoly (MQTT, SSH download, ...)
 - Možnost generování vlastní reportů a volba měřítka



Ukázka instalace a měřených dat

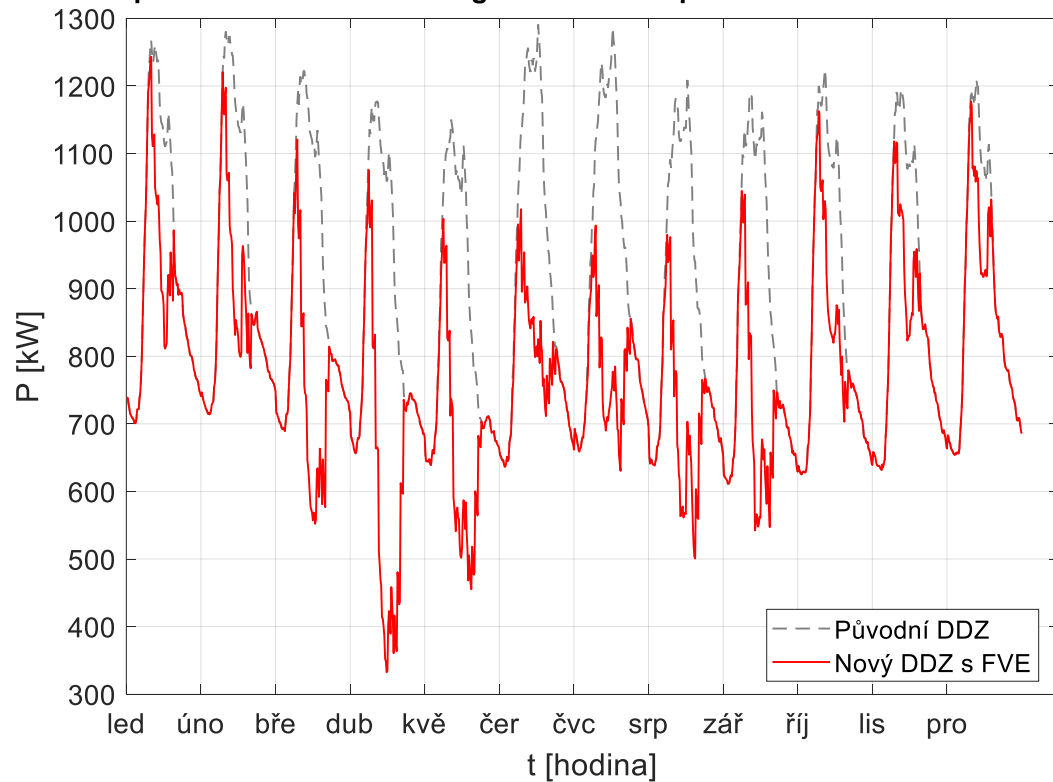


Ukázka instalace a měřených dat

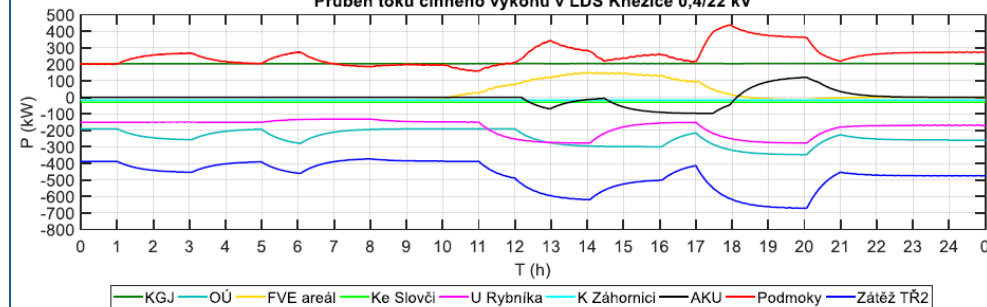


Ukázka implementace dat do modelů

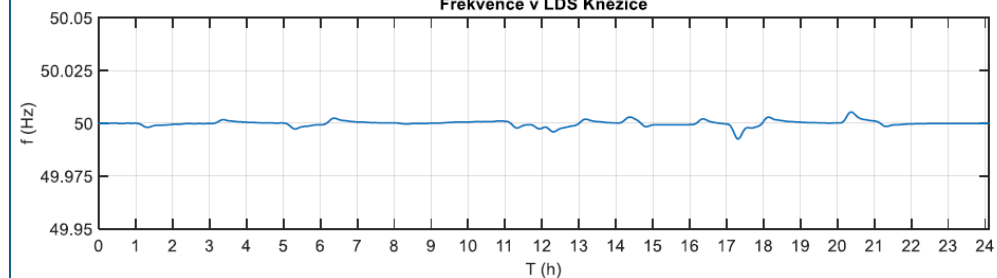
Změna průměrného denního diagramu zatížení při instalaci FVE o velikosti 1 MWp



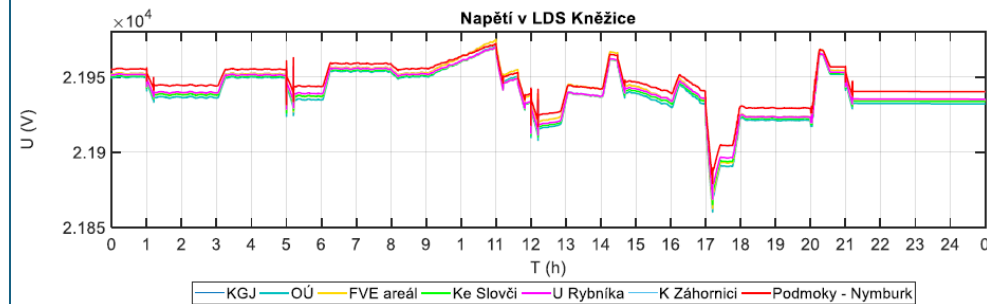
Průběh toku činného výkonu v LDS Kněžice 0,4/22 kV



Frekvence v LDS Kněžice



Napětí v LDS Kněžice



Hodnotící kritéria naplnění potřeb (elektro)

- Po detailní analýze DZ dochází k návrhu variant pokrývání malým zdrojem (v první fázi brainstorming)
 - V rámci MAEZR jsme na začátku uvažovali o **všech možných variantách** (např. PČ, místní VTE, MVE)
 - K eliminaci dochází až při **tech. a ekon. zhodnocení** (např. nevhodná regulovatelnost nebo vysoká cena)



Vstupní uvažované varianty (TŘ4) - elektro	
MVE <1 MW	FVE ~1 MW
VTE <1 MW	Stlačný vzduch (akumulace)
PČ (~400 kWe)	Baterie (akumulace)
KGJ (~250 kWe)	

Varianty uspořádání zdrojů elektrické energie před ekonomickým zhodnocením				
Název varianty	Elektrický výkon [kW]	Zapojení do vyřejné elektrické sítě	Poznámka	Poznámka 2
FVE-1 (ZČU)	až ~1000 kWpe		Nový návrh instalace s využitím masivních venkovních ploch (8000m²). Instalace možná kabelem do areálu nebo samostatnou přípojkou	Ralizujeme v rámci ČVUT V3
PČ-1 (ZČU)	460 kWe		Uvažován PČ Doosan PureCell 400 v Ano konfiguraci Power 460 kW	Elektro v rámci ČVUT V4
V3 (ČVUT)			Plynové kotle + TČ + kompresor + mezidenní akumulátor - Místo geotermální energie uvažováno využití odpadního tepla, odhadem 400 kW Ne během pracovní doby.	
V4 (ČVUT)			PČ(zemní plyn) + plynový kotel + Ne biomasový kotel + mezidenní akumulátor	26

Kritéria hodnocení dodávek tepla

- Je třeba vyhodnotit navrhovaná řešení, zda vyhovují zadanému účelu
- Neexistuje jedno objektivní kritérium, vždy je třeba vážit pozitiva a negativa navrženého řešení
- **Technická kritéria**
 - Míra splnění dodávek tepla
 - Využití zdrojů (počet startů, periody běhu)
 - Účinnost přeměny energie
- **Provozní kritéria**
 - Schopnost spolupráce s nadřazenými distribučními celky (teplovody, horkovody, tepelné napaječe)
 - Možnost realizace prosumer režimu
- **Ekonomická kritéria**
 - Náklady na jednotku vyrobené energie
 - Celkové náklady provozu soustavy
- **Ekologická kritéria**
 - Využití obnovitelných zdrojů energie
 - Množství emisí
- **Sociální kritéria**
 - Vliv na zaměstnanost
 - Dopravní zatížení
- **Projekt se zabývá především technickým, provozním a ekonomickým hodnocením**

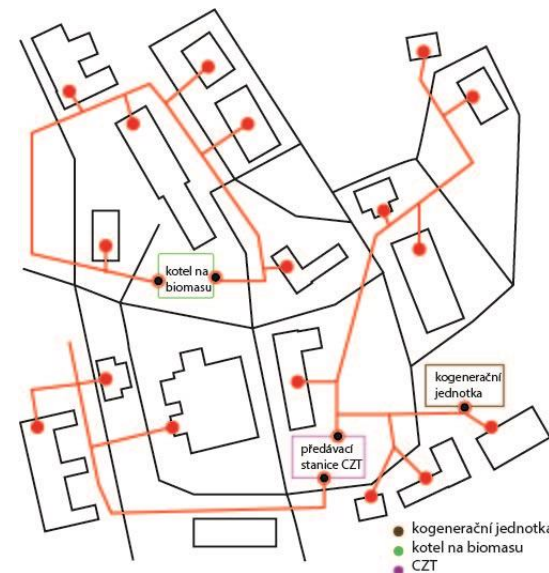
Koeficient využití jednotlivých zdrojů v čase - teplo

V souvislosti s návrhem tepelných, příp. kombinovaných zdrojů pro Lokální distribuční soustavu je nutno mít na zřeteli koeficient využití jednotlivých zdrojů v čase.

Koeficient využití jednotlivých tepelných a elektrických zdrojů v Lokální distribuční soustavě (LDS) je zcela **klíčovým ukazatelem** efektivity a účinnosti těchto zdrojů. Tento koeficient vyjadřuje poměr mezi skutečně využitou energií a maximální možnou energií, kterou by zdroj mohl teoreticky dodat za dané období.

Tepelné zdroje v projektu řešených výrobních soustavách zahrnují KGJ, palivové články, tepelná čerpadla, větrné turbíny, biomasové kotle, plynové kotle, fotovoltaické panely a vodní turbíny. Jejich koeficient využití závisí na mnoha faktorech:

- 1/ prioritizace práce Obnovitelných zdrojů v soustavě,
- 2/ rychlost a stabilita větru s ohledem na práci větrných turbín a také s ohledem na rozptylové podmínky,
- 3/ sezonní dostupnost biomasy jako paliva,
- 4/ okamžitá dostupnost a cena emisních povolenek



Koeficient využití jednotlivých zdrojů v čase - teplo

5/ aktuální teplota vzduchu v okolí zdrojů, případně vývoj teploty země v prostoru do 5m pod povrchem, pro efektivní funkci některých tepelných čerpadel vzduch – voda, voda – voda, za účelem dosažení vyšších COP faktorů (>3,5),

6/ aktuální intenzita slunečního záření a úhel dopadu slunečních paprsků na zemský povrch,

6/ aktuální dostupnost a cena spalných plynů,

7/ aktuální cena, dostupnost a kvalita dodávek energií z veřejných distribučních sítí,

8/ aktuální stav průtoku vody na tocích a míra naplnění vodních přehrad.

Stále významnější vliv na tento koeficient zaznamenává **kvalita systému Měření a regulace a změny provozních postupů**. Při stejných typech zdrojů může zvýšit kombinace těchto přístupů procento využití až o 10-20%.

Koeficient využití je důležitý pro plánování a optimalizaci provozu LDS. Vyšší koeficient využití znamená efektivnější využití zdrojů, což vede k nižším nákladům na výrobu energie a menšímu dopadu na životní prostředí. Provozovatelé LDS se snaží optimalizovat koeficient využití prostřednictvím modernizace technologií, zlepšení provozních postupů a integrace obnovitelných zdrojů

Délka provozní sekvence zdroje

V souvislosti s pořadím nasazení a současností využití tepelných a elektrických zdrojů v Lokální distribuční soustavě, zejména v přechodných ročních obdobích, je nutno řešit **délku provozní sekvence uvažovaných zdrojů.**

Délka výrobní sekvence pro jednotlivé elektrické a tepelné zdroje v Lokálních distribučních soustavách (LDS) hraje klíčovou roli v dodávkách energie na regionální úrovni. Efektivní řízení těchto soustav zahrnuje optimalizaci délky výrobní sekvence pro různé zdroje energie, což je zásadní pro zajištění spolehlivosti a efektivity dodávek.

Délka provozní sekvence zdroje

- 1. Vodní elektrárny** mohou mít velmi stabilní a dlouhou výrobní sekvenci, zejména pokud jsou umístěny na **řekách s konstantním průtokem**. Přehradní elektrárny mohou regulovat tok vody a tím i produkci energie,
- 2. Kotle na biomasu** mohou produkovat teplo nepřetržitě, pokud mají dostatečné zásoby paliva. Jejich výrobní sekvence je tedy velmi flexibilní v rozsahu od 2-3 hodin, až po několik týdnů nepřetržité výroby tepla v poměrně **širokém regulačním rozsahu výkonu**, samozřejmě pokud je zajištěna kontinuální dodávka paliva (dopravníky) a průběžné odstraňování popela, např. pohyblivými rošty s výsypkou. Po ukončení výrobní fáze lze pak vždy předpokládat min. 4 – 8h výrobní přestávku určenou k čištění kotle, dopravních cest paliva/paliv a spalínovodů.
- 3. Kogenerační jednotky**, které produkují jak teplo, tak elektřinu, mají výrobní sekvenci, která může být velmi efektivní a ve své maximální délce může dosahovat **mnoho stovek hodin nepřetržité výroby** na různých výkonových úrovních. Tyto jednotky mohou pracovat nepřetržitě, pokud jsou správně řízeny. Jejich optimalizace směřuje k **vyšší míře integrace s elektrickou sítí** a efektivní řízení tepelné a elektrické produkce, což jsou klíčové faktory pro maximalizaci délky výrobní sekvence,
- 4. Fotovoltaické panely** mají výrobní sekvenci, která je silně závislá na denním cyklu a sezónních změnách. Typicky produkují energii během denního světla, což znamená, že jejich výrobní sekvence je přerušovaná a závislá na slunečním svitu. Pro jejich optimalizaci, a tím i získání maximální možné délky výrobní sekvence, je důležité využívat **akumulační systémy** pro ukládání energie (el. baterie, tepelné akumulátory, apod..) které mohou být použity během noci nebo oblačných dnů,
- 5. Větrné turbíny** mají proměnlivou výrobní sekvenci, která závisí na větrných podmínkách. Větrné farmy mohou produkovat energii nepřetržitě, pokud jsou větrné podmínky příznivé. Efektivní umístění turbín a **predikce větrných**

Délka provozní sekvence zdroje

6. **Tepelná čerpadla** mohou pracovat **nepřetržitě**, ale jejich efektivita závisí na venkovních teplotách. V chladnějších podmínkách může být jejich výkon (především sníženou efektivitou) omezen, či zcela zastaven. Použití hybridních systémů, které kombinují tepelná čerpadla s jinými zdroji tepla, může pomoci udržet stabilní výrobní sekvenci,
7. **Palivové články** jsou určeny ideálně k trvalému provozu s možností výrazné regulace výkonu na tepelné i elektrické straně s tím, že po delší době (zcela běžně 5 – 10tis provozních hodin) přichází servisní fáze, mající za úkol regeneraci konstrukčních prvků palivového článku.

Délka provozní sekvence palivových článků je výrazně ovlivňována těmito faktory:

- a/ Typ palivového článku: Například proton-výměnné membránové palivové články (PEMFC) mají různé provozní sekvence ve srovnání s fosforečnanovými palivovými články (PAFC) nebo taveninovými karbonátovými palivovými články (MCFC). **Maximální doba bezservisního provozu je nyní 4.000 hodin.**
- b/ **Čistota a kvalita vodíku nebo jiného paliva** mohou výrazně ovlivnit délku provozní sekvence.
- c/ Pravidelná údržba a optimální provozní podmínky (teplota, tlak) jsou klíčové pro maximalizaci provozní sekvence.

Délka provozní sekvence zdroje

V případě LDS je však stejně podstatnou informací délka provozní sekvence zdroje z pohledu **nejkratší efektivní délky jeho výkonového nasazení** do tepelného, či elektrického systému zásobovaného areálu.

Jednotlivé zdroje se v tomto smyslu liší především délkou nájezdové a odstavovací periody, a také mírou opotřebení zdroje připadající na jeden start, vč. připojení k tepelné/chladicí síti, příp. přifázování k el. síti.

Nejproblémovější jsou z tohoto pohledu **palivové články**, kde min. efektivní délka nasazení v jedné sekvenci, kde pro články, zejména ty s proton-výměnnou membránou (PEMFC), je doporučeno, aby **minimální doba nepřetržitého provozu byla alespoň několik hodin**. Krátké cykly, například méně než hodinu, mohou způsobit zvýšené opotřebení a snížení účinnosti.

Jednoznačně žádoucí je pro tento typ zdroje **trvalé souvislé nasazení** s délkou provozních sekvencí v mnoha stovkách, či jednotlivých tisících provozních hodin.



Zdroj Bloom Energy

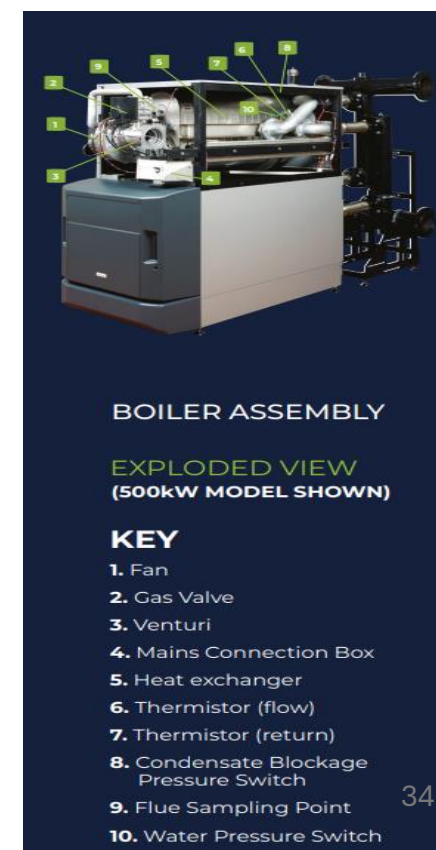
Délka provozní sekvence zdroje

Ani v případě **KGJ** nelze počítat v minimální délkou nasazení v řádu jednotlivých minut, či desítek minut. V tomto případě, na základě informací od výrobce TEDOM, počítáme s délkou **min. doby nasazení KGJ do provozu 3-4h**. Důvodem jsou zde „**studené starty**“, které, po mnoha technologických vylepšeních – např. předehřevů olejů a paliv pořád tvoří významnou část opotřebení KGJ v době její životnosti. Vychází z toho i některé **servisní plány**, KGJ, které, kromě celkové doby nasazení KGJ, berou v úvahu i celkový počet jejích startů mezi dvěma servisními intervaly.

Výrazně lepší je tato situace u **plynových kotlů** o výkonech kolem 500kW, kdy běžný kondenzační plynový kotel (na Obrázku EVOMOD 500) **bez následků snáší i 15minutové provozní sekvence** s vysokou mírou modulace vydávaného tepelného výkonu. Z tohoto plyne, že jejich nasazení jako špičkových kotlů v tepelné soustavě je možné, avšak neřeší v tomto směru přímou výrobu elektrického proudu.



Zdroj TEDOM



Délka provozní sekvence zdroje

Podobná situace je u **tepelných čerpadel**, kdy **min. doba provozní sekvence je 15 minut** s tím, že v této lhůtě je obsaženo plné najetí na provozní parametry, krátké setrvání a řízené odstavení TČ. Tato lhůta je považována za nejkratší možnou, protože u většiny moderních TČ je pak už doba pouze **10 minut souvislého provozu TČ a méně, již považována za poruchový stav** s požadavky na jeho systematické řešení, např. s ohledem na izolační a akumulární schopnosti zásobovaných objektů.

U tepelných čerpadel je tato skutečnost stále známější, a je jedním z důvodů, proč jsou TČ instalována v bateriích po 2 a více ks, kdy po určitou část roku je v provozu téměř trvalém jedno z čerpadel, a ostatní TČ se podle potřebného výkonu a najetých hodin a počtu startů od posledního servisu přidávají tak, aby jejich opotřebení v čase bylo stejné.



Zdroj Viessmann

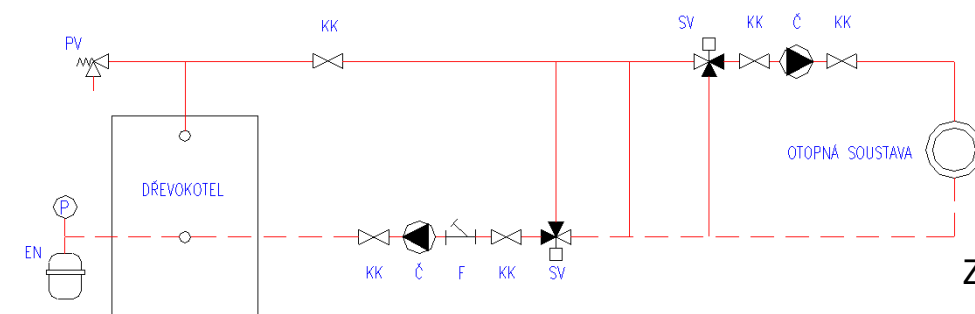
Délka provozní sekvence zdroje

V případě **kotlů pro spalování biomasy** o výkonech ve stovkách kW je nutno vzít v úvahu při najetí **dobu zápalu a najetí** na běžný provozní režim, která je obvykle v desítkách minut a často vyžaduje použití externího paliva. Samotný zápal takového kotle trvá 10 – 20 minut, najetí na plné provozní podmínky pak 30 – 60 minut. Z uvedeného plyne, že z pohledu řízení tepelné soustavy připojováním dalších zdrojů ze studeného stavu se jedná o spíše nevhodný tepelný zdroj.

I v případě **odstavení kotle a jeho vyhasnutí** obecně platí následující:

- 1. Odstavení:** Proces odstavení kotle zahrnuje postupné snižování výkonu a vypnutí přívodu paliva. Tento proces může trvat přibližně **30 až 60 minut**, aby se zajistilo bezpečné a kontrolované zastavení spalování,
- 2. Vyhasnutí:** Po odstavení kotle trvá nějakou dobu, než dojde k úplnému vyhasnutí zbytkového paliva a ochlazení kotle. Tento proces může trvat dalších **30 až 60 minut**, v závislosti na množství zbytkového paliva a teplotě kotle.

Celkově tedy můžeme očekávat, že celý proces odstavení a vyhasnutí kotle bude trvat přibližně 1 až 2 hodiny. Tento čas může být ovlivř



Délka provozní sekvence zdroje

Z uvedeného plyne, že v případě **biomasových kotlů** je třeba počítat s **minimální výrobní sekvencí kolem 7h**, kratší sekvence nedovolují dosáhnou ani po tepelné stránce vysoké efektivity nasazení. Jsou však typy velmi hmotných biomasových zdrojů, zkoumaných např. na FSv ČVUT, kde periodická funkce (topení/netopení) je podmínkou vysoké účinnosti. Tato zvláštnost souvisí s akumulací schopností samotné pece a spalinových cest.

Nejkratší provozní sekvence **větrné elektrárny** o výkonu kolem 1 MW souvisí s možností jejího odstavení z provozu, které může trvat několik hodin až několik dní, v závislosti na konkrétních podmínkách a postupech.

Proces odstavení zahrnuje několik kroků:

1. Postupné **snižování výkonu**: **Elektrárna se postupně odstavuje**, aby se minimalizovaly náhlé změny v síti. Tento krok může trvat **několik hodin**.
2. **Vypnutí a zajištění bezpečnosti**: Po snížení výkonu se elektrárna vypne a zajistí se, aby byla bezpečná pro údržbu a případné demontáže. Tento krok může trvat **několik hodin až jeden den**.
3. **Kontrola a údržba**: Po vypnutí se provádí kontrola a údržba zařízení, aby se zajistilo, že je vše v pořádku a připraveno na případné opětovné spuštění. Tento krok může trvat **několik dní**, v závislosti na rozsahu.



Zdroj – Clearway Energy

Optimalizace účinnosti zdroje během dodávky

V souvislosti s potřebou na pokrytí spotřeby tepla v systémech Lokální soustav se objevuje, následkem regulace jednotlivých zdrojů elektřiny a tepla, významný problém s jejich **účinností v konkrétních provozních stavech.**

Každé technické zařízení pro přeměňování různých typů energií, pracuje s maximální účinností, danou především typem užitého principu přeměny, pouze v konkrétním pracovním bodě, případně pracovním intervalu, který bývá obvykle popisován rozsahem % provozního výkonu, příp. dalšími technickými parametry, tj. třeba výtlačnou výškou u čerpadel.

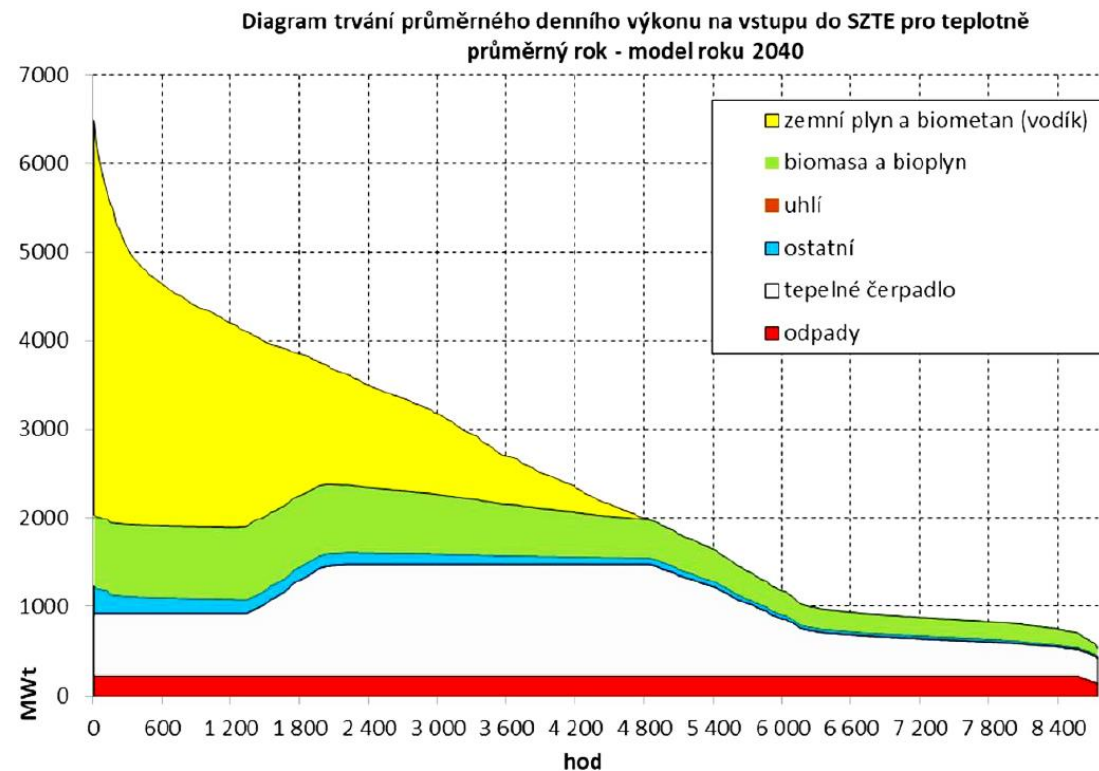
V případě projektu Lokálního zdroje je zcela zásadní rozsah regulací nasazených zdrojů a jeho vliv na výslednou účinnost.

Protože předpokládáme, že kromě regulace množství tepla v systému, pomocí **akumulace tepla**, jejíž okamžitý výkon ovlivňuje její účinnost zcela minimálně (stejně tomu ale nemusí být u elektroakumulace) je pro nás na projektu zásadní **regulace KGJ**, případně KGJ s chladicími výstupy, **regulace plynových kotlů** a **regulace tepelných čerpadel**. U OZE se budeme vždy snažit využít maximálního výkonu, biomasové kotle jsou regulovatelné poměrně obtížně.

Optimalizace účinnosti zdroje během dodávky

Regulace kogeneračních jednotek

Tato **regulace zahrnuje úpravu množství paliva a vzduchu vstupujícího do spalovacího procesu**, což umožňuje přizpůsobení produkce energie aktuální poptávce. Tato regulace může být prováděna manuálně nebo automaticky pomocí pokročilých řídicích systémů, které monitorují a upravují provozní parametry v reálném čase. **Vliv regulace výkonu na účinnost KGJ je značný.** Při optimální regulaci výkonu dochází k minimalizaci ztrát energie a maximalizaci využití paliva. Naopak, nedostatečná regulace může vést k provozu mimo optimální podmínky, což zvyšuje spotřebu paliva a snižuje celkovou účinnost systému.



Zdroj TZB info

Optimalizace účinnosti zdroje během dodávky

Regulace kogeneračních jednotek

Rozšířené technické údaje

Standardní provedení	100%	75%	50%	
elektrický výkon	164	123	82	kW
tepelný výkon ¹⁾	220	180	137	kW
spotřeba plynu	46	36	26	m ³ /h
příkon v palivu	434	342	247	kW
účinnost elektrická	37,8	36,0	33,2	%
účinnost tepelná	50,7	52,5	55,4	%
účinnost celková	88,5	88,5	88,6	%

Zde je vidět ochota KGJ k regulaci výkonu, která může být Využita.

Zdroj TEDOM

Optimalizace účinnosti zdroje během dodávky

Regulace plynových kotlů

Regulace velkých plynových kotlů se provádí pomocí několika technických principů, které zajišťují efektivní a stabilní provoz:

- 1. Kvantitativní regulace:** Tento typ regulace upravuje množství paliva a vzduchu vstupujícího do spalovací komory kotle. Kvantitativní regulace zajišťuje, že kotel pracuje s optimálním poměrem paliva a vzduchu, což maximalizuje účinnost spalování,
- 2. Kvalitativní regulace:** Tato metoda zahrnuje úpravu teploty topné vody na základě venkovní teploty. Ekvitermní regulace je typickým příkladem kvalitativní regulace, kde venkovní čidlo měří teplotu a upravuje teplotu topné vody tak, aby byla zajištěna optimální tepelná pohoda v budově,
- 3. Prostorové termostaty:** Tyto zařízení měří teplotu v referenční místnosti/objektu a podle potřeby zapínají nebo vypínají kotel, aby udržely požadovanou teplotu.
- 4. Řídicí systémy:** Moderní plynové kotle jsou vybaveny pokročilými řídicími systémy, které monitorují a upravují provozní parametry v reálném čase. Tyto systémy mohou zahrnovat senzory teploty, tlaku a průtoku, které zajišťují, že kotel pracuje efektivně a bezpečně
- 5. Modulace výkonu:** Modulace výkonu umožňuje kotli upravovat svůj výkon v závislosti na aktuální poptávce po teple. To znamená, že kotel může pracovat na nižším výkonu, když je potřeba méně tepla, což zvyšuje jeho účinnost a snižuje spotřebu paliva

Optimalizace účinnosti zdroje během dodávky

Regulace plynových kotlů – modulace výkonu

Optimalizace účinnosti: Díky modulaci výkonu kotel pracuje vždy blízko optimálního režimu, což zvyšuje jeho účinnost a snižuje spotřebu paliva. To také minimalizuje opotřebení součástí a prodlužuje životnost kotle.

V případě velkých kotlů (kolem 4MWt) je schopnost optimalizace a přizpůsobení na právě požadovaný výkon dána především typem hořáku – hlavní typy:

1. Atmosférické hořáky: tj. Difúzní hořáky: Plyn a vzduch se mísí až ve spalovací komoře. Tento typ hořáku je jednoduchý a spolehlivý, ale méně účinný než jiné, modernější, hořáky,
2. Přetlakové hořáky: tj. Injekční hořáky: Plyn a vzduch se mísí před vstupem do spalovací komory. Tento typ hořáku je účinnější a umožňuje lepší kontrolu spalovacího procesu,
3. Plně směšovací hořáky: Plyn a vzduch se mísí před vstupem do hořáku, což zajišťuje velmi efektivní spalování a vysokou účinnost,
4. Sálavé hořáky: Tyto hořáky využívají princip sálavého tepla, kde se teplo přenáší přímo na povrch výměníku tepla. Jsou velmi účinné a často se používají v moderních kondenzačních kotlích
5. **Modulační hořáky:** Tyto hořáky **umožňují plynulou regulaci výkonu kotle**, což zvyšuje účinnost a snižuje spotřebu paliva. Modulace výkonu je klíčová pro optimalizaci provozu kotle.

Optimalizace účinnosti zdroje během dodávky

Regulace tepelných čerpadel – modulace výkonu

Principy modulace výkonu:

1. Sledování teploty: Tepelná čerpadla jsou vybavena senzory, které neustále monitorují teplotu vnitřního prostředí a teplotu topné vody. Na základě těchto údajů řídicí systém upravuje výkon čerpadla,
2. Plynulá regulace: Moderní tepelná čerpadla mohou plynule měnit svůj výkon v širokém rozsahu, například od **20 % do 100 %** svého maximálního výkonu,
3. **Kompresor s proměnnými otáčkami**: Klíčovým prvkem modulace výkonu je kompresor s proměnnými otáčkami. Tento typ kompresoru může upravovat své otáčky podle aktuální potřeby, což umožňuje plynulou změnu výkonu,
4. Pokročilý řídicí systém: Pokročilé řídicí systémy analyzují data ze senzorů a upravují provozní parametry čerpadla v reálném čase. To zahrnuje úpravu otáček kompresoru, průtoku chladiva a dalších parametrů, aby bylo dosaženo optimální účinnosti.

Optimalizace účinnosti zdroje během dodávky

Regulace tepelných čerpadel – modulace výkonu

Celková účinnost tepelného čerpadla, často označovaná jako sezónní topný faktor (SPF - Seasonal Performance Factor), zahrnuje nejen COP, ale také další faktory, jako jsou ztráty při přenosu tepla, účinnost čerpadel a další provozní podmínky. Pro tepelné čerpadlo voda/voda o výkonu 1 MW, které pracuje za ideálních podmínek s teplotou vody z vrtu 10°C a výstupní teplotou topné vody 55°C, může být celková účinnost (SPF) přibližně 3,5 až 4,5



Zdroj Dreamstime

Optimalizace účinnosti zdroje během dodávky

Regulace tepelných čerpadel – modulace výkonu – **volba kompresoru**

Pokud u tohoto TČ snížíme – pomocí změny průtoku, výkon na polovinu, jeho SPF se sníží. Hodnota, o kterou se sníží je dána především **změnou účinnosti chladiového kompresoru**, která může být snížena až o desítky procent.

Účinnost chladiových kompresorů o příkonu kolem 200 kW se může výrazně lišit v závislosti na jejich provozním rozsahu.

1. Plný výkon (100%): Kompresory jsou obvykle navrženy tak, aby dosahovaly nejvyšší účinnosti při plném výkonu. Účinnost může být velmi vysoká, často kolem 90% nebo více,
2. **Střední výkon (50-80%): V tomto rozsahu účinnost kompresoru obvykle zůstává vysoká, ale může mírně klesat.** Moderní invertorové kompresory jsou navrženy tak, aby udržovaly vysokou účinnost i při částečném zatížení,
3. Nízký výkon (10-50%): Při velmi nízkém výkonu účinnost kompresoru často klesá. To je způsobeno několika faktory, včetně zvýšených ztrát při částečném zatížení a méně efektivního chování,
4. Velmi nízký výkon (pod 10%): Účinnost může být výrazně nižší, protože kompresor nemusí být schopen efektivně pracovat při tak nízkém zatížení. V tomto rozsahu může být účinnost výrazně snížena kvůli zvýšeným mechanickým a elektrickým ztrátám.

Optimalizace účinnosti zdroje během dodávky

Regulace tepelných čerpadel – modulace výkonu

Příklad:

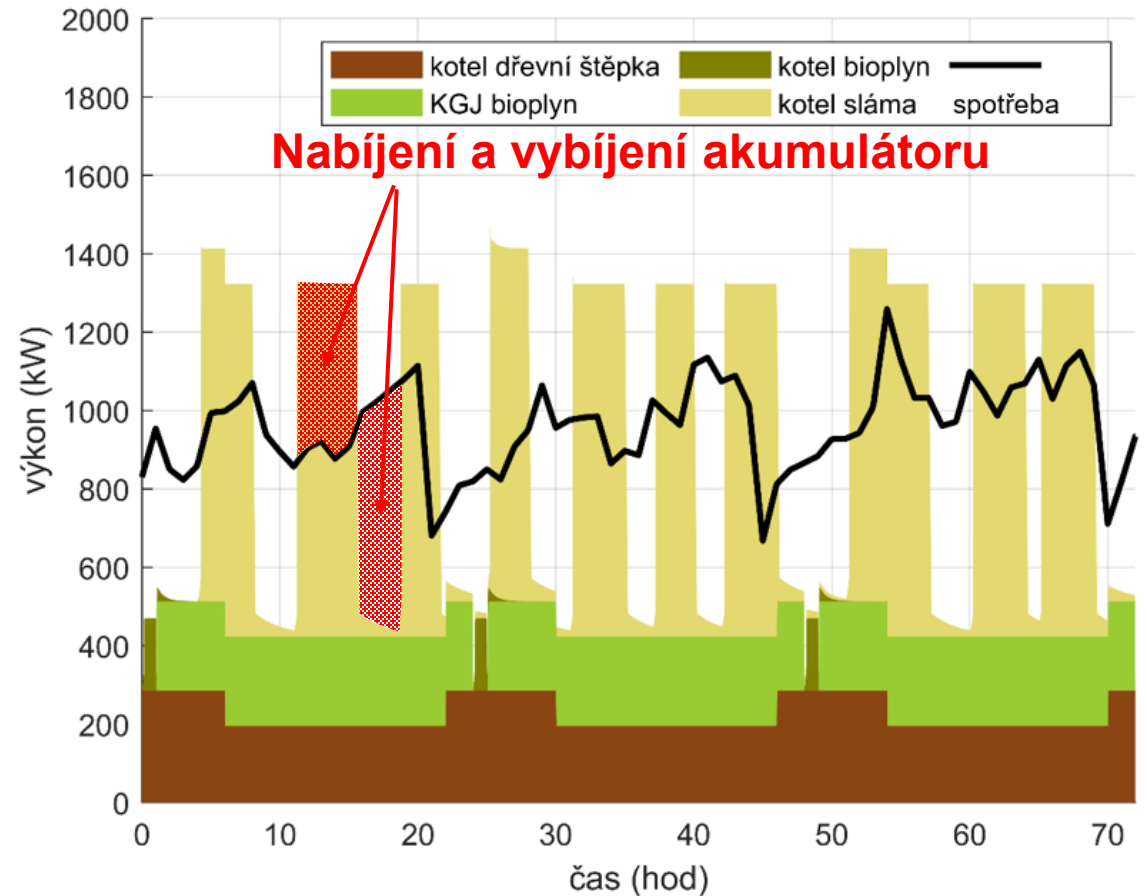
Snížení výkonu kompresoru tepelného čerpadla **na 60%** jeho maximální kapacity obvykle vede k poklesu účinnosti. Tento pokles se může lišit v závislosti na typu kompresoru a jeho konstrukci, ale obecně **lze očekávat snížení účinnosti o přibližně 10-20%**.

Moderní invertorové kompresory jsou navrženy tak, aby minimalizovaly ztráty účinnosti při částečném zatížení, ale i tak dochází k určitému poklesu. Například, pokud má **kompresor při plném výkonu účinnost 90%**, **při 60% výkonu může účinnost klesnout na 72-81%**.



Ideální součtové vykrytí diagramu

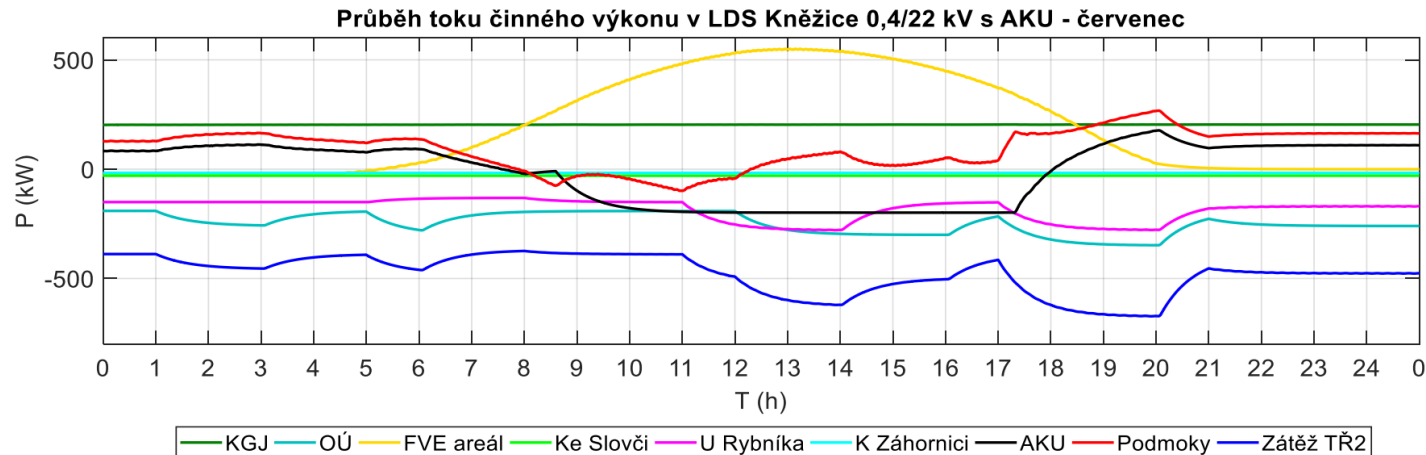
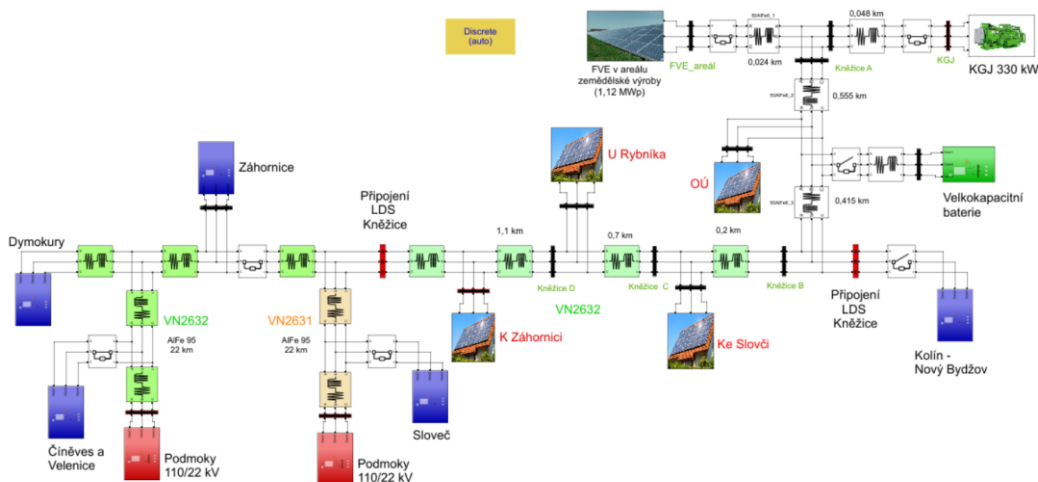
- Teplo musí být dodáváno **v každém časovém okamžiku ve správném množství**
- Teplo je zpravidla dodáváno z více zdrojů
- Upřednostňovány jsou zdroje s **nízkými náklady** na vyrobené teplo
- Nemusí být možné (nebo vhodné) upravovat výkon zdrojů přesně podle spotřeby
- **Akumulace** vyrovnává nesoulad mezi okamžitou výrobou a spotřebou



Ideální součtové vykrytí diagramu

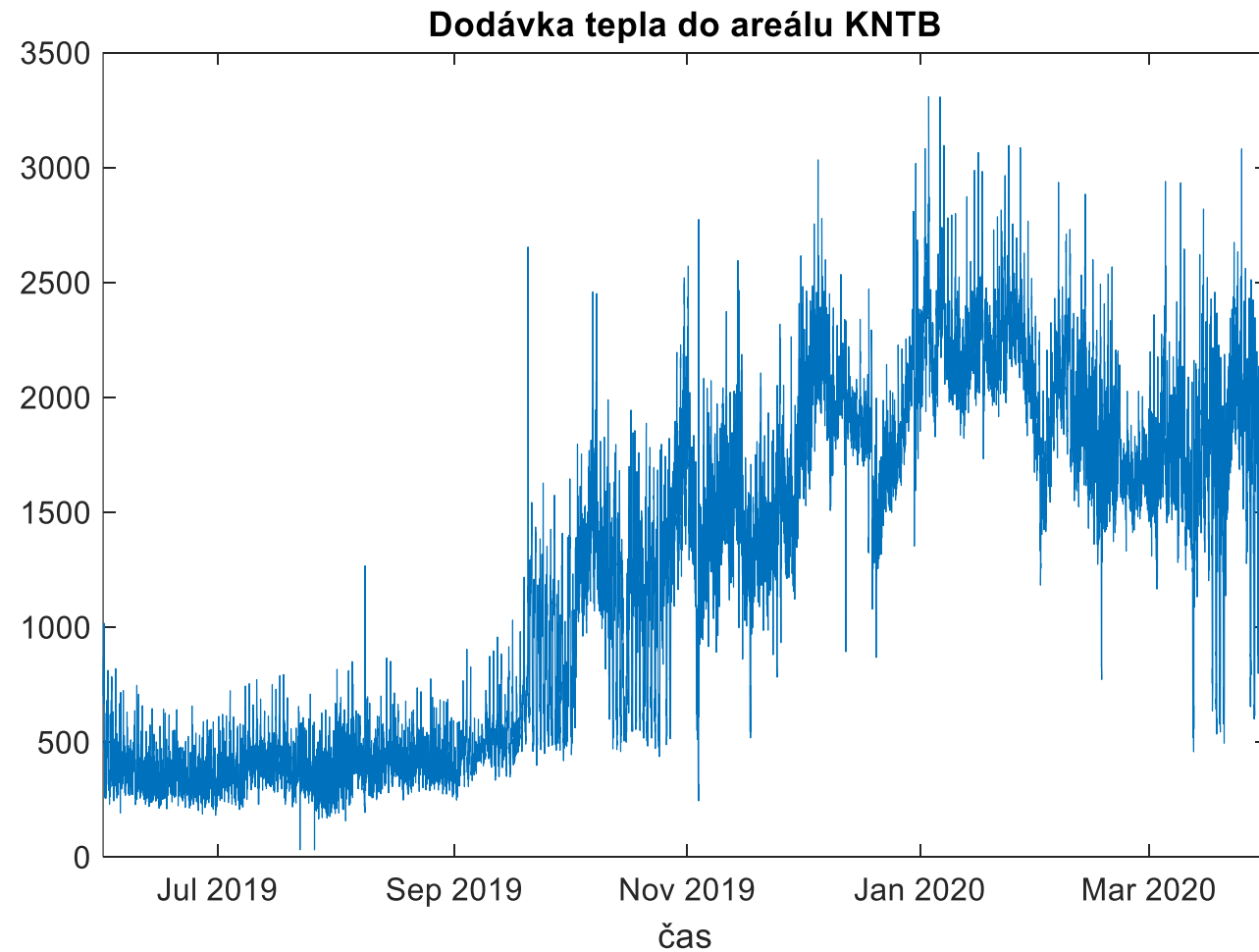
- V průběhu simulací jednotlivých variant dochází k identifikaci reálného diagramu výroby ze zdroje
- Složením s aktuální obvyklým diagramem zatížení dochází k identifikaci součtového vykrytí
- **Ideální stav** = 100% krytí vlastní výrobou, optimální spotřeba + dostupná akumulace pro mimořádnosti a OP
- **Realita** = částečné krytí, rozkolísaná spotřeba + omezená dostupnost akumulace pro krizi a částečně OP

U návrhů jsme ve většině případů volili kompromis mezi provozním dopadem a technicky dokonalou variantou (viz následující příklady)



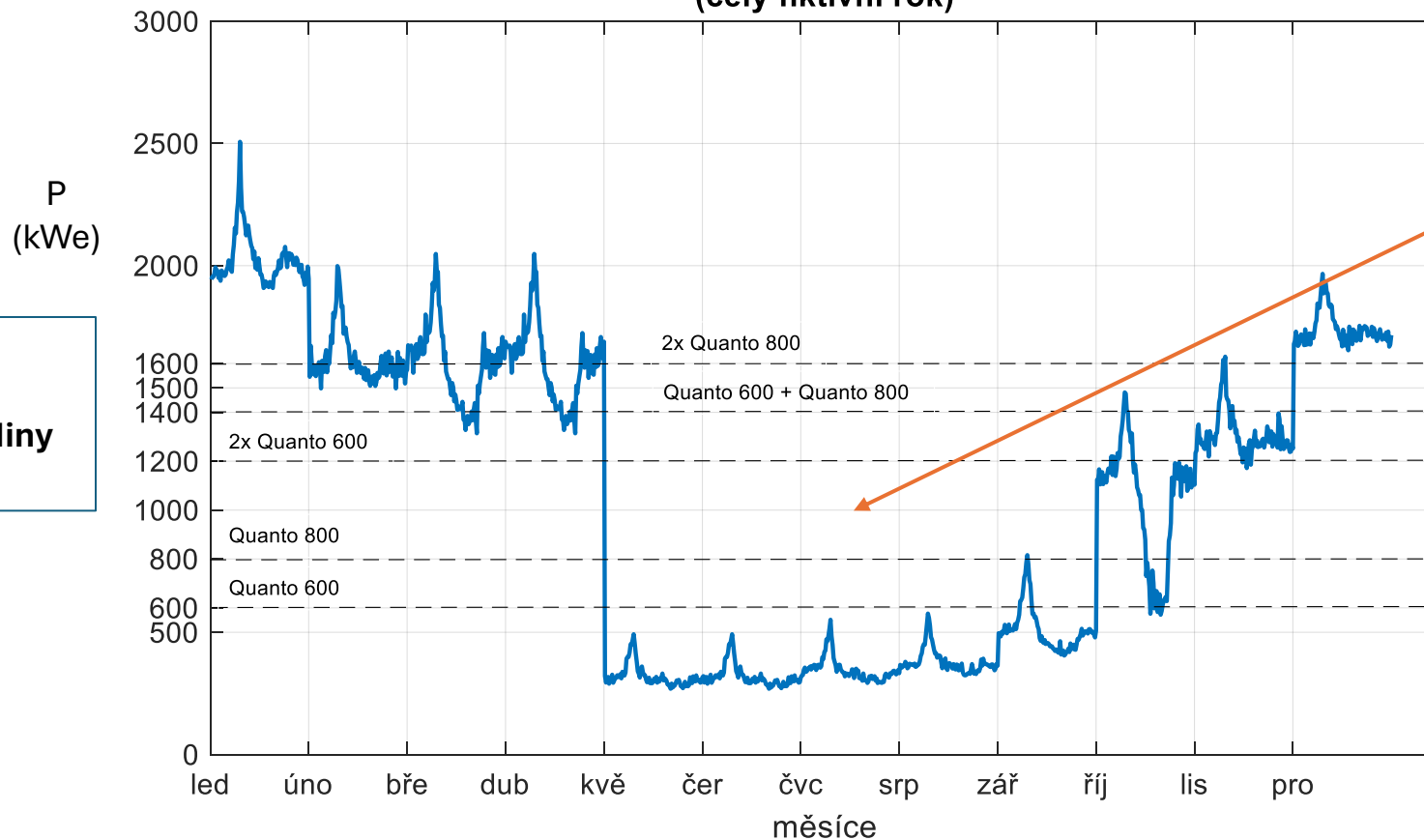
Ideální součtové vykrytí diagramu

Výchozí stav pro varianty,
které vyrábí elektrickou
energii navázanou na teplo



Ideální součtové vykrytí diagramu

Předpokládaný typický denní profil výroby elektrické energie navázané na teplo v KNTB
(celý fiktivní rok)

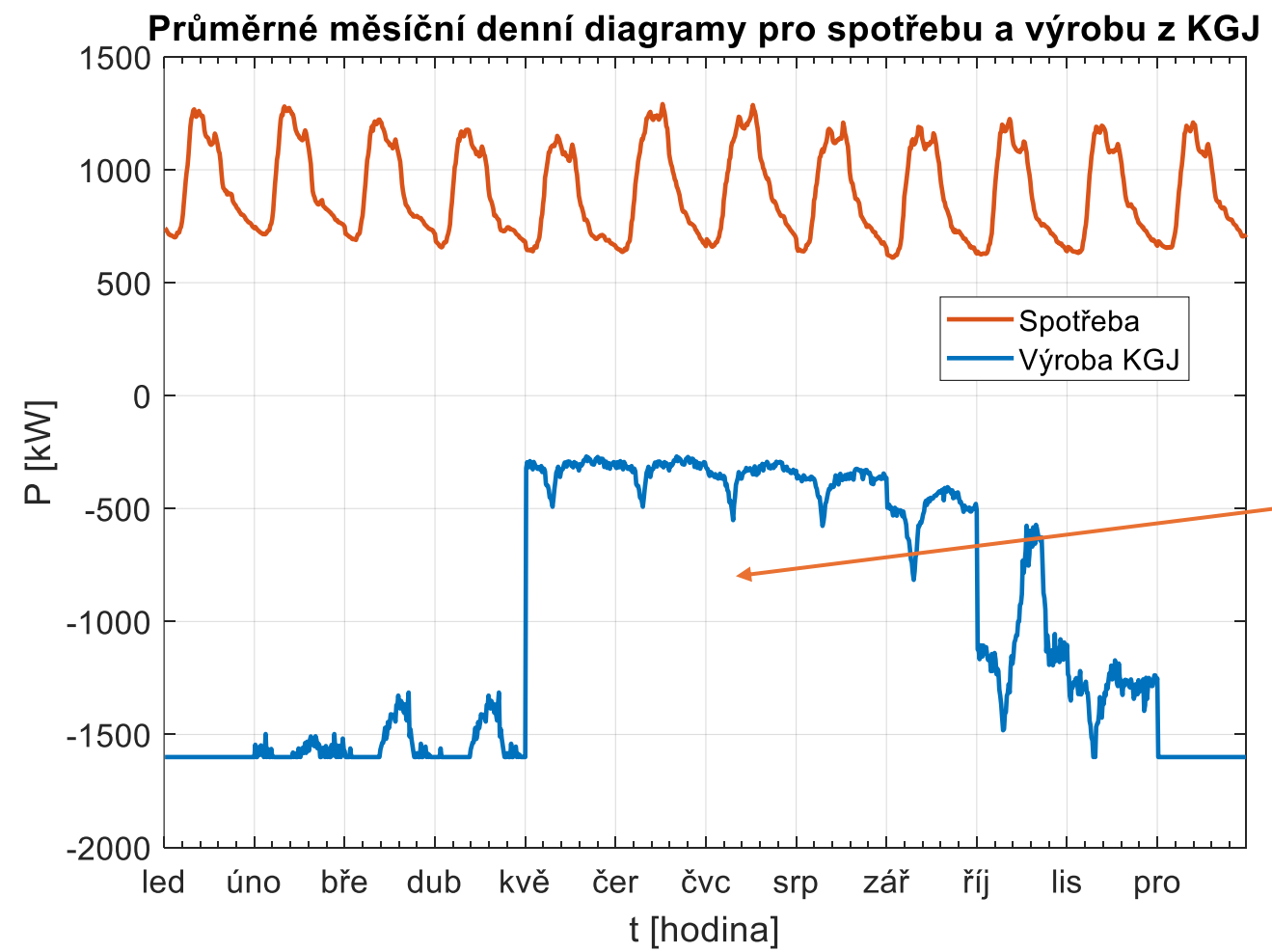


Konstrukce obvyklých denních diagramů pro umístění výkonové hladiny uvažovaných variant

Potenciálně problematické pásmo z hlediska regulace a provozu KGJ mimo topnou sezónu

Ideální součtové vykrytí diagramu

Aktuální typický profil spotřeby a maximalistická varianta výroby navázaná na teplo (až 1600 kWe v KGJ)

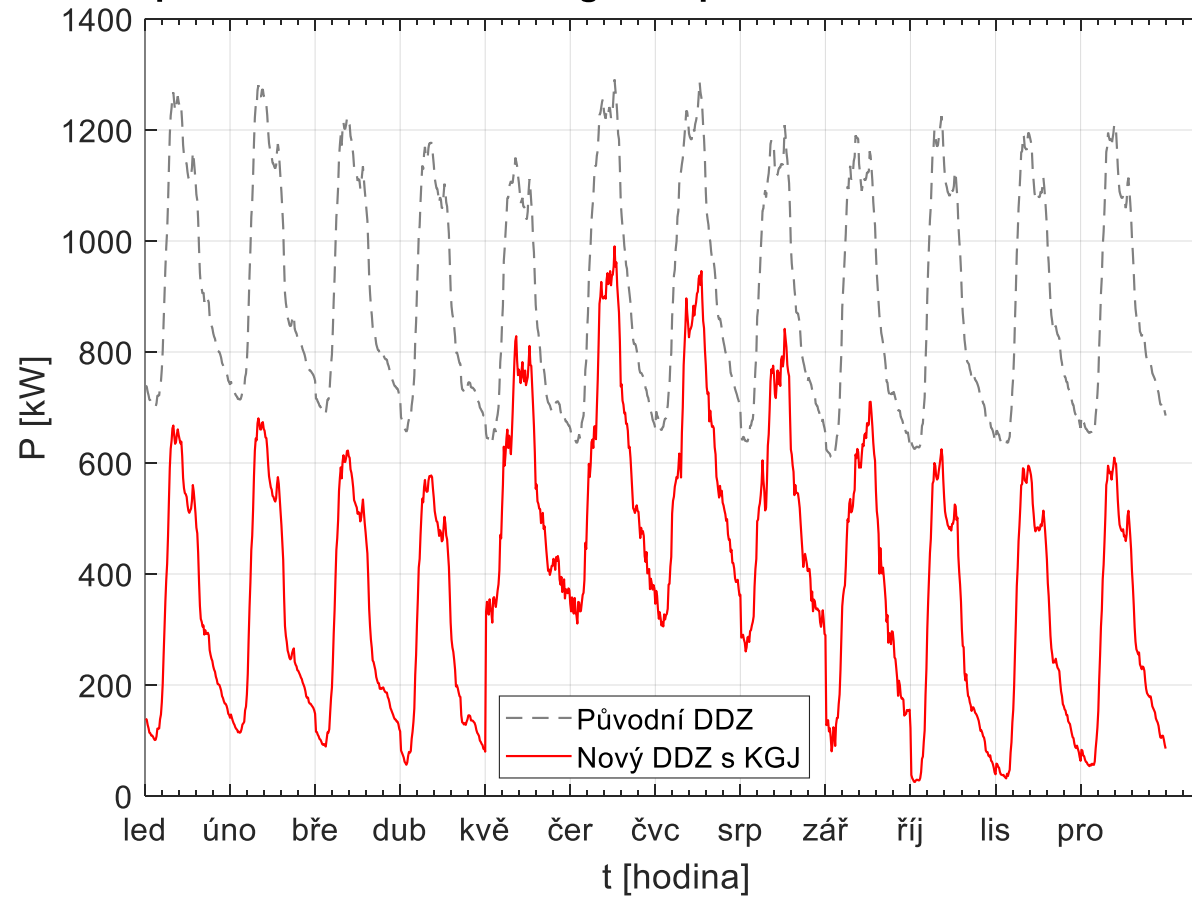


Taková varianta jistě povede k rozkolísanosti diagramu (říj-kvě výrobní, čer-zář spotřební)

Ideální součtové vykrytí diagramu

Výsledný diagram zatížení
při instalaci nového zdroje
(KGJ 600 kWe)

Změna průměrného denního diagramu při instalaci KGJ o velikosti 600 kWe

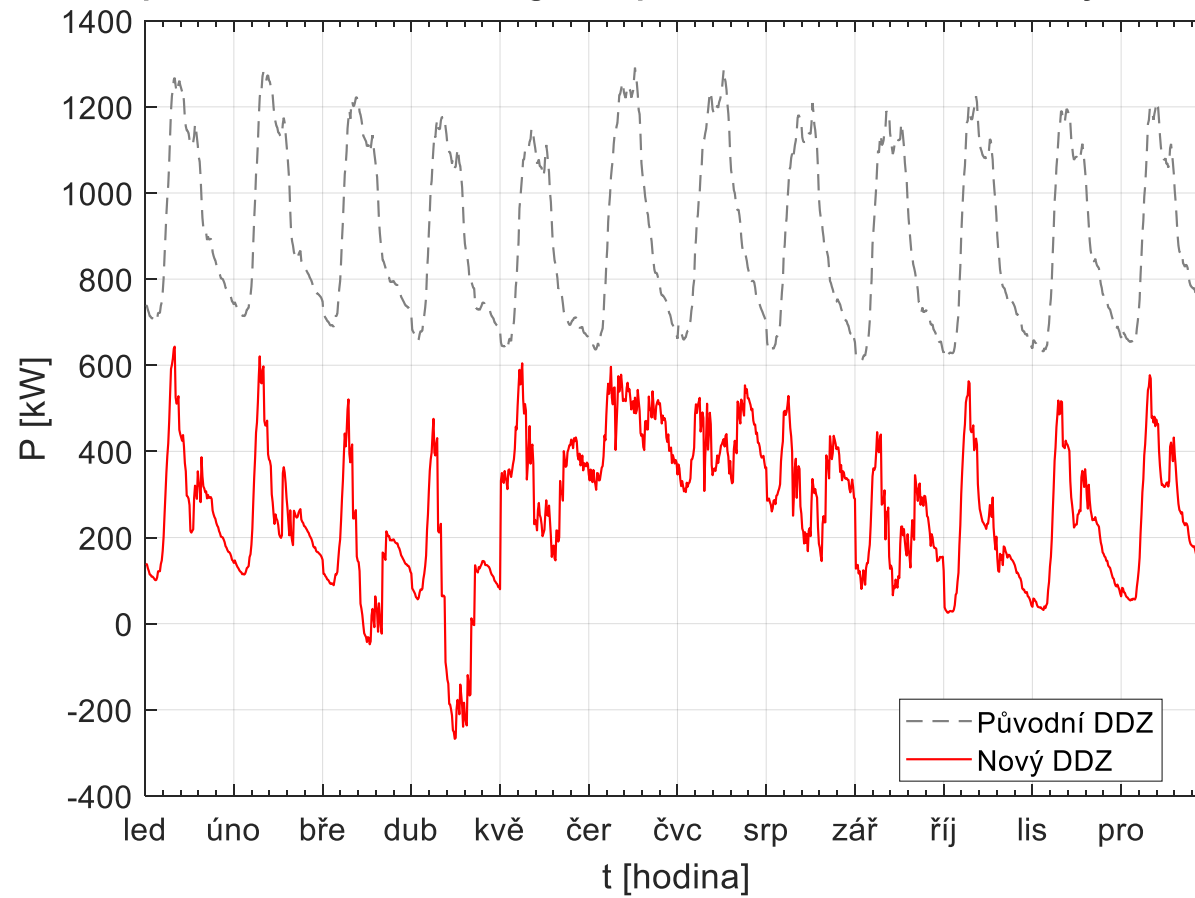


- Při této variantě nebude docházet k přetokům do DS
- Snížení maxima
- Zvýšení maxima o 400 kW mimo topnou sezónu

Ideální součtové vykrytí diagramu

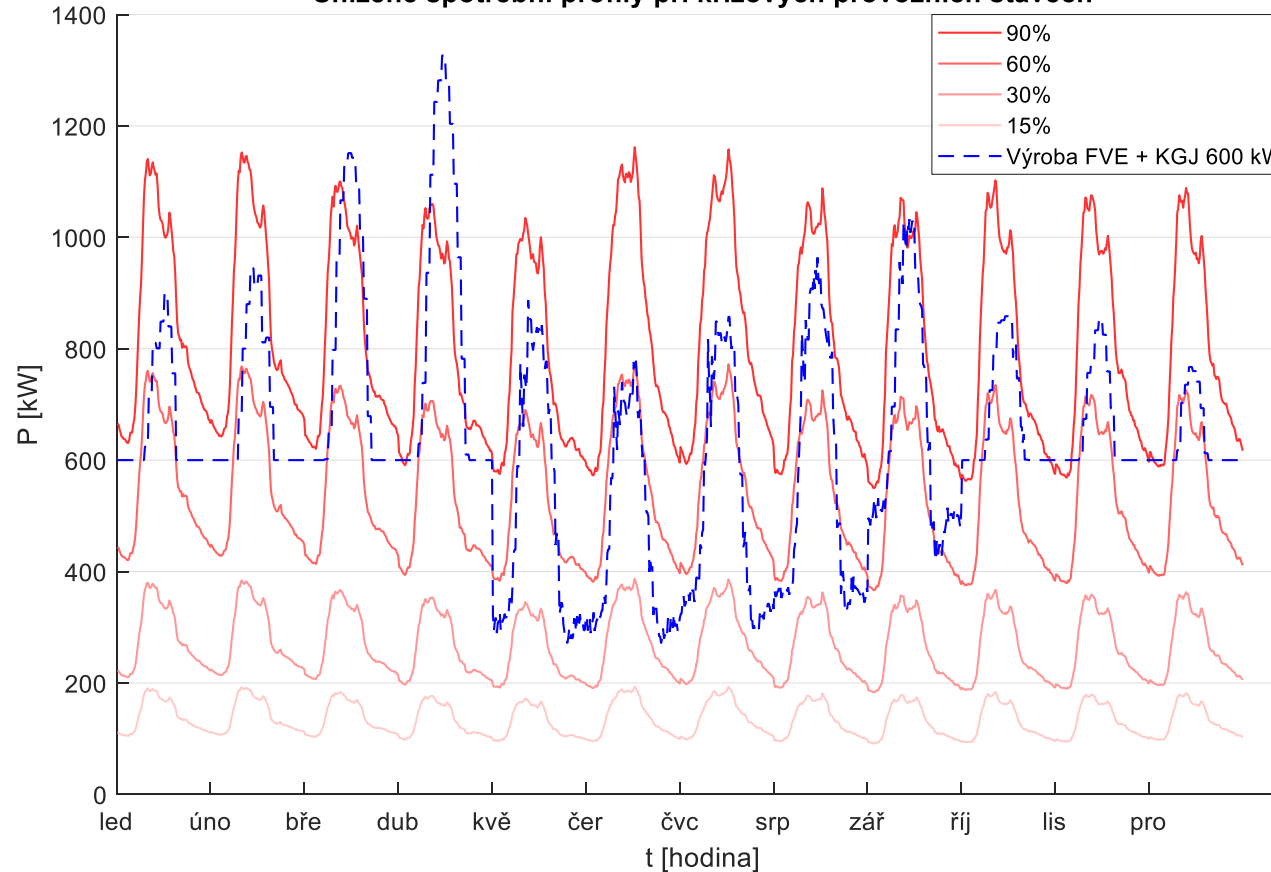
„Klasická“ deformace
diagramu zatížení při
implementaci OZE
(FVE o výkonu 1 MWp)

Změna průměrného denního diagramu při kombinaci FVE a KGJ o výkonu 600 kWe



Ideální součtové vykrytí diagramu

Snížené spotřební profily při krizových provozních stavech



Zimní krizový provoz:

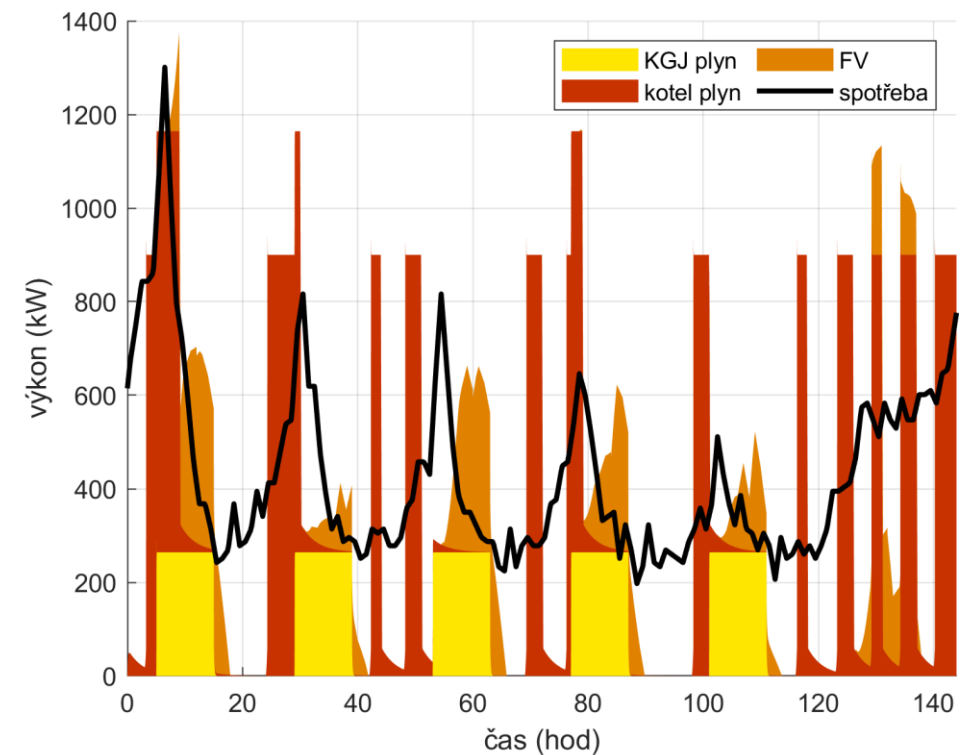
- Vysoká dodávka z KGJ
- Možnost dlouhodobého krizového provozu při minimálně snížených výkonových nárocích (60-90%)

Letní krizový provoz:

- Snížená dodávka z KGJ
- Nutnost zapojení dalších zdrojů (dieselgenerátory)
- Dlouhodobý krizový provoz – výrazně snížené výkonové nároky (30-60%)

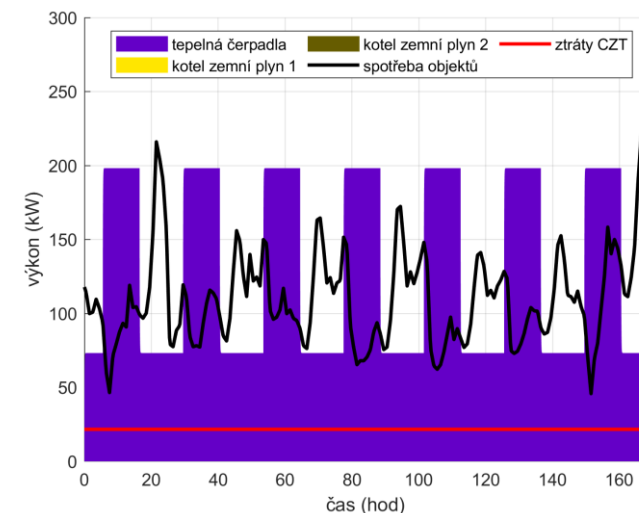
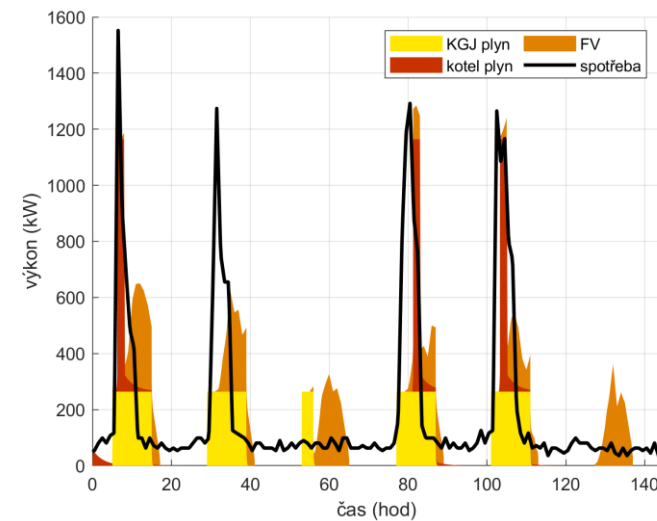
Spolupráce tepelných zdrojů

- **Tepelné zdroje dodávají teplo**
 - V různém množství
 - Na různé teplotní hladině
 - V různém čase
 - Za různých nákladů
- **Cílem je dodat teplo**
 - Ve správném množství
 - Na správné teplotní hladině
 - Ve správný čas
 - Při minimálních nákladech
- Prostředkem je algoritmus pracující
 - S úrovní nabití akumulátoru
 - S dostupnou a potřebnou teplotní hladinou
 - S variabilními náklady zdrojů



Vazba elektřiny a tepla

- **Vázaná výroba elektřiny a tepla - kogenerace**
 - Provoz řízený možností spotřeby tepla (podmínka využití tepla pro provoz)
 - Pro zabránění přetoků mimo soustavu/areál je možné výrobu časově/výkonově omezit
 - Možnosti provozu výrazně rozšiřuje akumulace tepla
- Výroba tepla z elektřiny - tepelná čerpadla
 - Možnost přizpůsobit spotřebu elektřiny výrobě, např. FV



Exergie v teplotárných soustavách

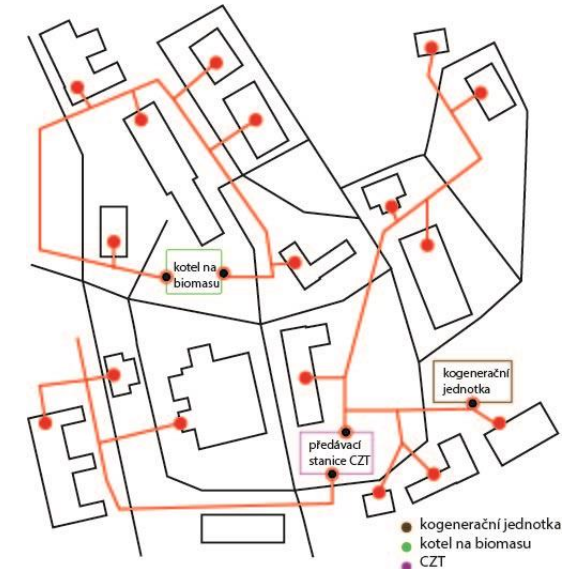
Teplotárné soustavy jsou klíčovým prvkem moderního energetického systému, který umožňuje efektivní distribuci tepla z centrálních zdrojů do jednotlivých budov. **Hodnocení exergie** v těchto soustavách je **důležité pro optimalizaci** jejich provozu a **zvýšení celkové účinnosti**.

Co je **EXERGIE** v tepelných soustavách

Exergie je **míra kvality energie**, která vyjadřuje schopnost energie vykonávat práci. Na rozdíl od energie, která je zachována podle prvního zákona termodynamiky, exergie může být ztracena v důsledku nevratných procesů, jako jsou tepelné ztráty nebo tření <https://www.mdpi.com/1996-1073/6/3/1298>

Význam hodnocení **EXERGIE** v tepelných soustavách

Hodnocení exergie umožňuje identifikovat a kvantifikovat ztráty exergie v teplotárných soustavách. To je klíčové pro zlepšení účinnosti a snížení spotřeby primárních energetických zdrojů. Exergetická analýza poskytuje detailní pohled na to, kde a jak dochází k těmto ztrátám, což umožňuje cílené zásahy pro jejich minimalizaci



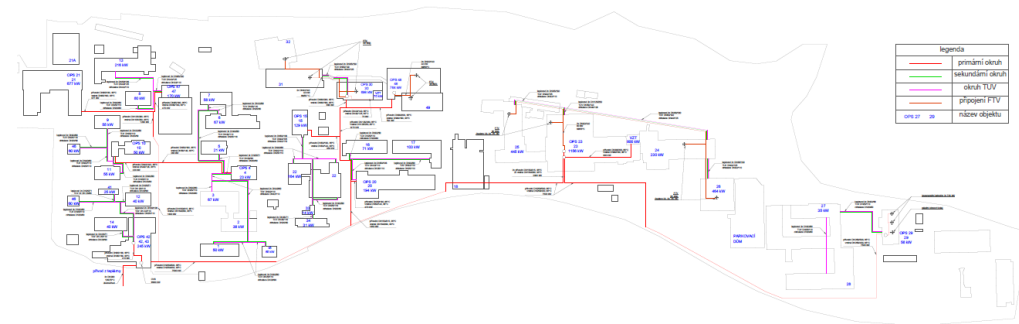
Exergie v teplotárných soustavách

Metodologie hodnocení exergie

1. Identifikace hranic systému: Stanovení hranic analyzovaného systému je prvním krokem. To zahrnuje určení všech vstupů a výstupů energie a exergie.
2. Výpočet exergie vstupů a výstupů: Pro každý vstup a výstup se vypočítá exergie na základě jejich teploty, tlaku a chemického složení.
3. Analýza exergie destrukcí a ztrát: Identifikace míst, kde dochází k destrukci exergie (např. v kotlích, potrubích) a kvantifikace těchto ztrát.
4. Optimalizace systému: Na základě výsledků analýzy se navrhuje opatření pro snížení ztrát exergie a zvýšení celkové účinnosti systém

$$\lambda = \frac{E_x}{E}$$

Exergetická kvalita je
hodnocena
„energetickým
kvalitativním koeficientem“
 λ



Exergie v teplotárných soustavách

Případová studie vhodná pro MAEZR:

V jedné z případových studií byla analyzována teplotárná soustava ve ve Vnitřním Mongolsku, aktuálně ČLR.

Studie ukázala, že ztráty exergie lze snížit **snížením vnitřní teploty** nebo **zvýšením plochy radiátorů, přesněji teplosměnných ploch, případně kvalitou teplosměnných ploch.**

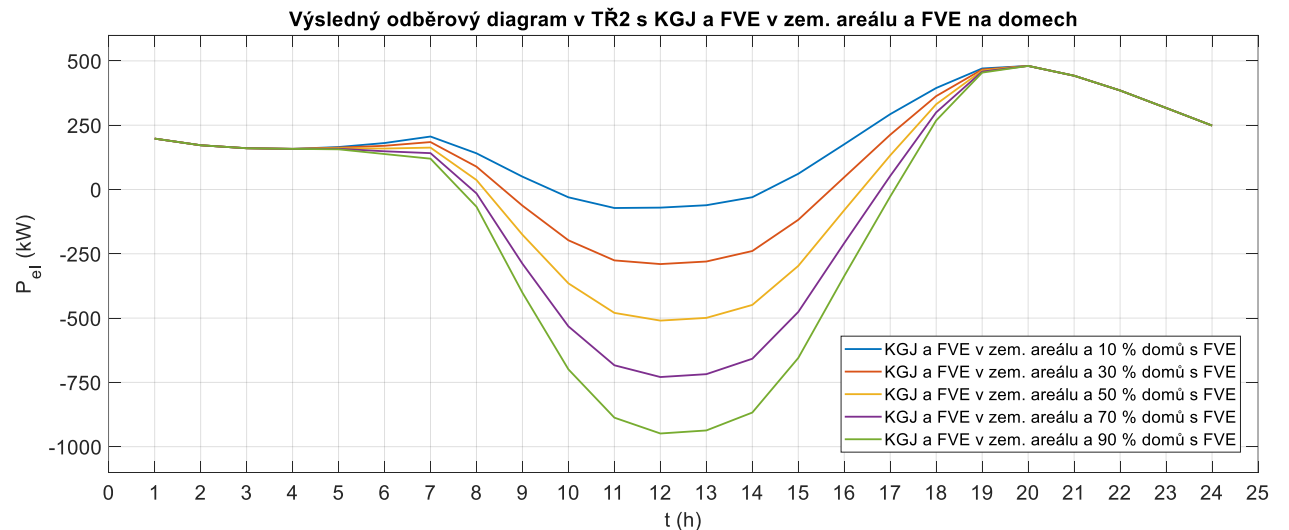
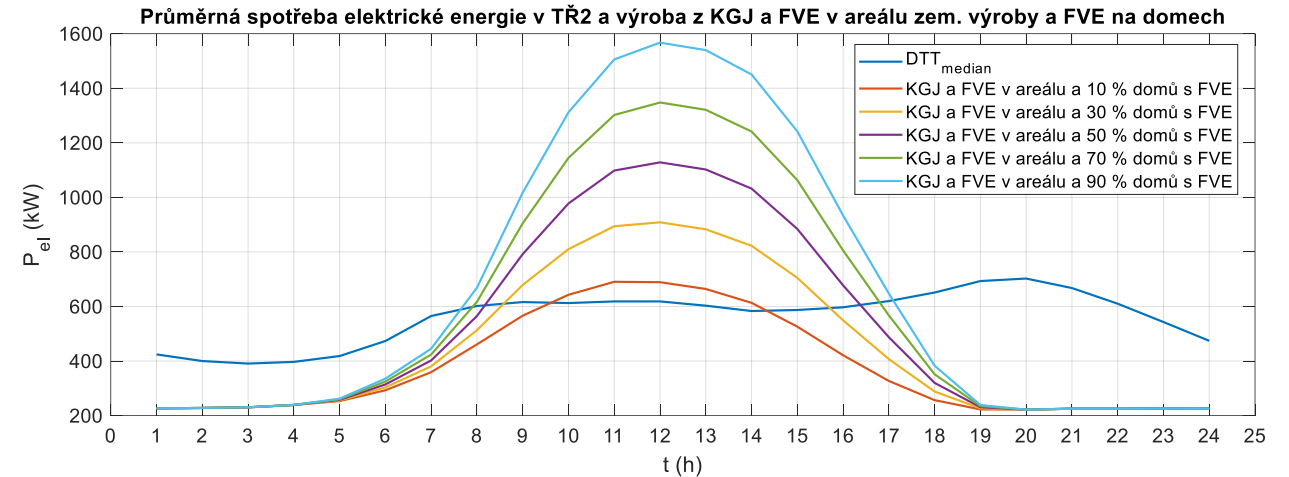
Výsledky také ukázaly, že venkovní teplota a vnitřní teplota mají významný vliv na ztráty exergie během distribuce tepla.

Zde obrázek malé OPS

Exergetická analýza poskytuje cenné informace pro optimalizaci provozu a návrh teplotárných soustav, což vede k úsporám energie a snížení emisí skleníkových plynů

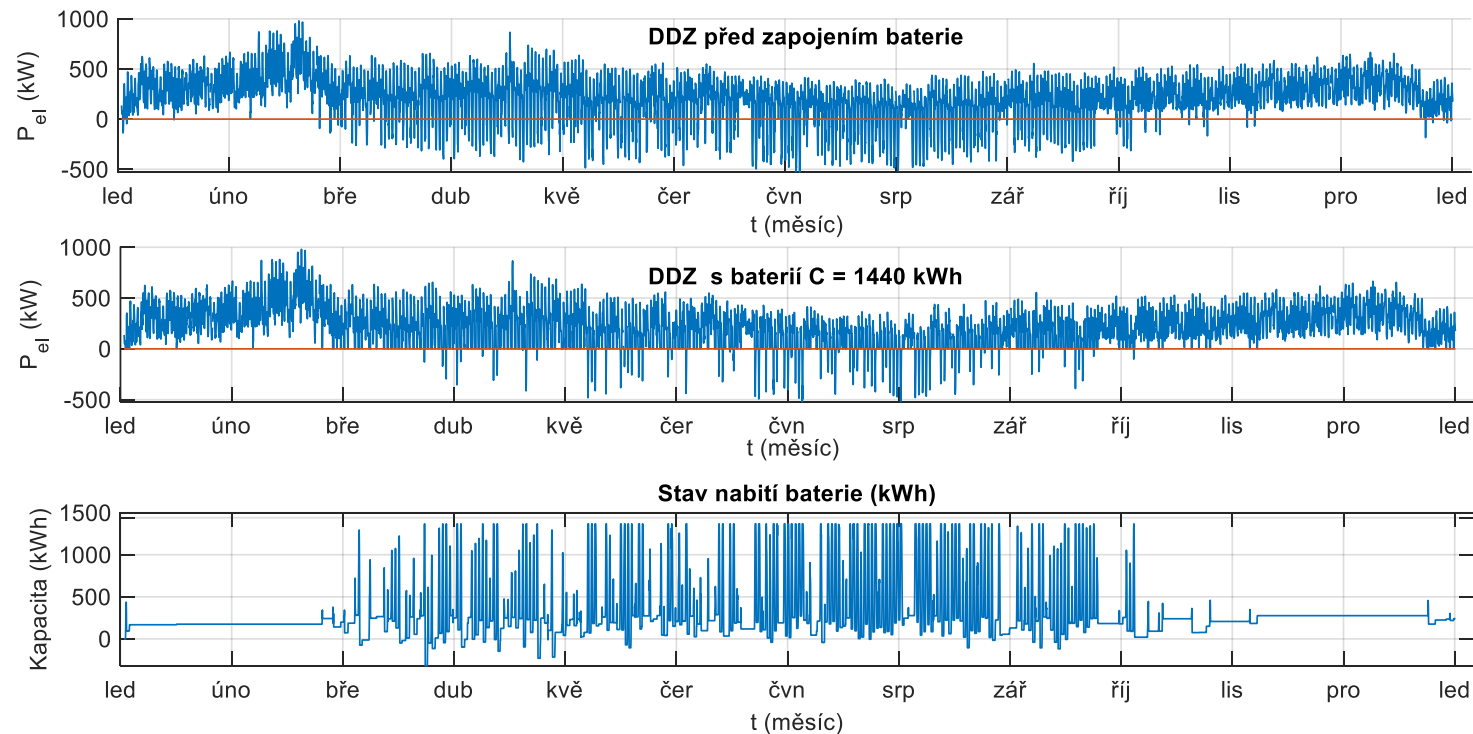
Prioritizace OZE a dopady na distr. systém

- S nárůstem instalace OZE a případného LDS narůstá lokální vliv na globální soustavu
- Jednou odpovědí může být akumulace (dedikovaná simulace)
- Nutná kontrola dopadů instalace lokálních zdrojů na nadřazený systém (změny výkonů, způsob regulace, co nejmenší interference)
- OZE je prioritizovaný zdroj pro co nejmenší uhlíkovou stopu - v některých případech představuje riziko pro nadřazený systém (např. vypnutí FVE 400 MWp v ČR, 10.4.2023)
- Ekonomické dopady provozu prioritních OZE jsou těžce vyčíslitelné – následující slidy



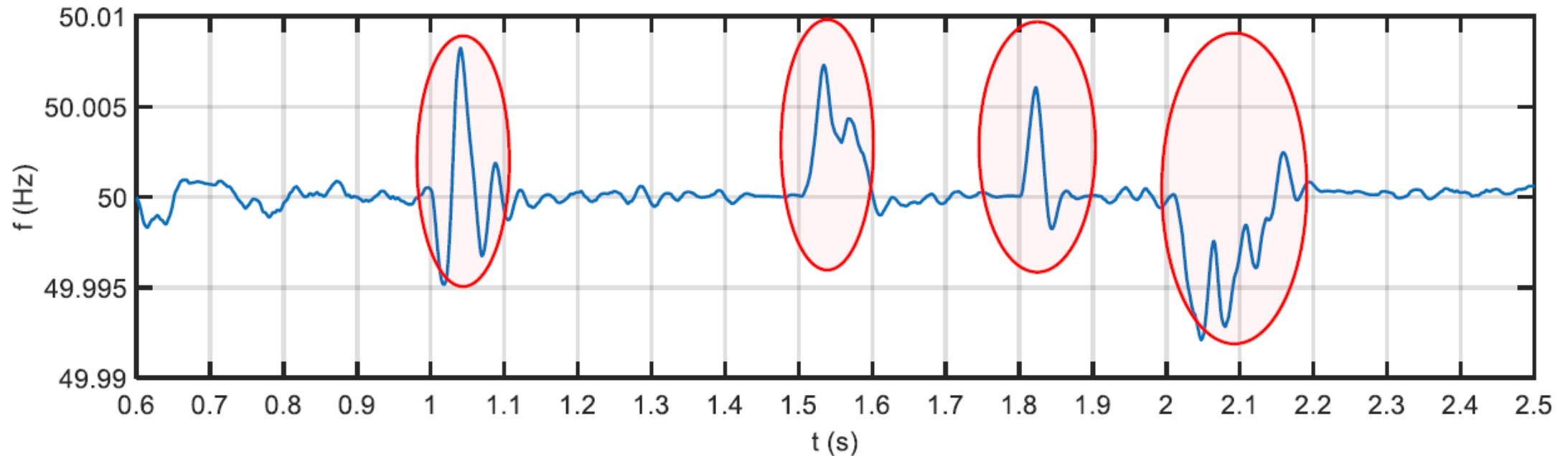
Prioritizace OZE a dopady na distr. systém

- Vliv instalace velkého množství OZE lze částečně řešit akumulací
- Byly provedeny simulace, instalace akumulace však představuje **velkou investiční zátěž**
 - Např. 1,4MWh pro alespoň částečnou viditelnost aplikace baterií, řády mil. Kč
 - Poskytování regulačních služeb je perspektivou, ale pro mnohé LDS bude představovat provozní zátěž

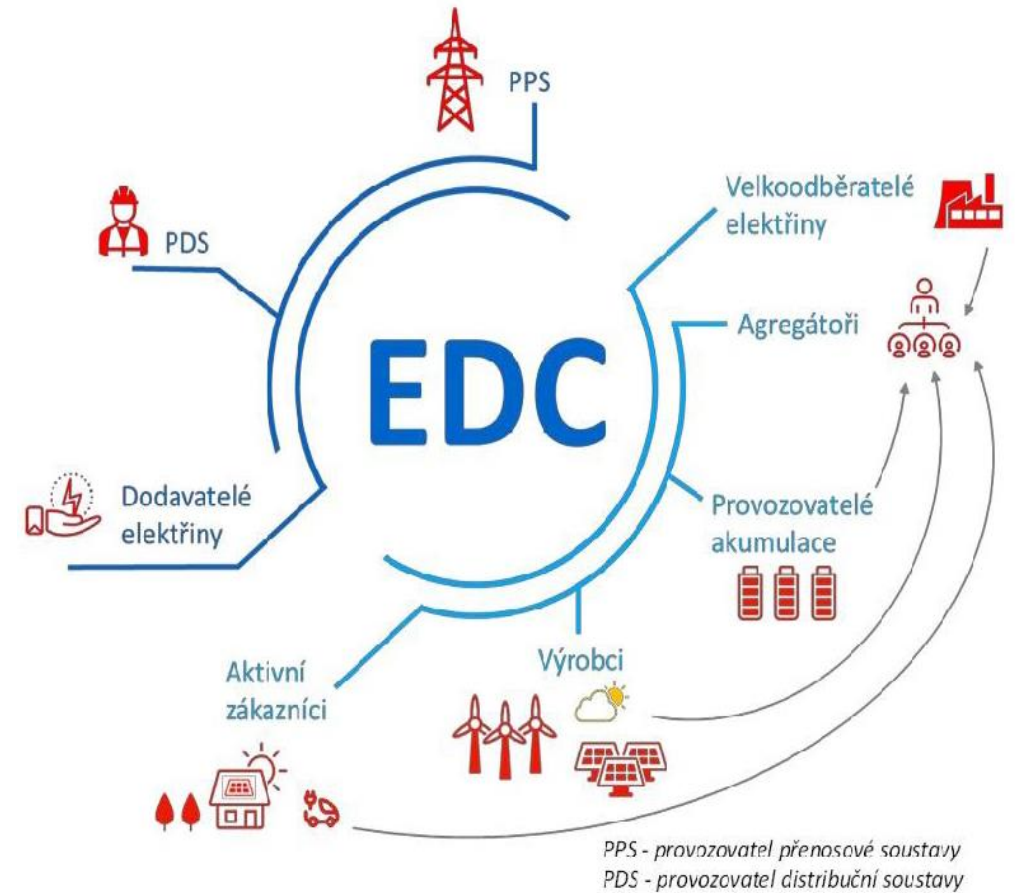


Prioritizace OZE a dopady na distr. systém

- Při prioritizaci OZE hlídáme výkonovou, frekvenční a napěťovou stabilitu
- Při rychlých změnách výkonů může docházet k **výkyvům mimo bezpečné hodnoty (porušení PPDS)**
- Příklad – TR2 – Změna výkonu FVE v oblasti Kněžic (1 MWp v areálu, 30% střech RD v LDS, bez akumulace)
- Dalšími dopady na nadřazený systém jsou změny napětí v uzlech, rychlé změny výkonu vedoucí k **potenciálnímu odpojení zdroje od sítě - nevýroba**



Prioritizace OZE a schopnost záloh se zhodnocením dopadů na nadřazené soustavy



Prioritizace OZE a schopnost záloh se zhodnocením dopadů na nadřazené soustavy

Novela zákona č. 458/2000 Sb., Energetický zákon (EZ) s účinností od 1. 1. 2024 (LEX OZE II)

- Komunitní energetika – sdílení elektřiny, společenství pro sdílení elektřiny (Energetické společenství / Společenství pro obnovitelné zdroje - poskytovatel environmentálních, hospodářských nebo sociálních přínosů svým členům nebo na území, na kterém provozuje svou činnost) – od 1. 7. 2024

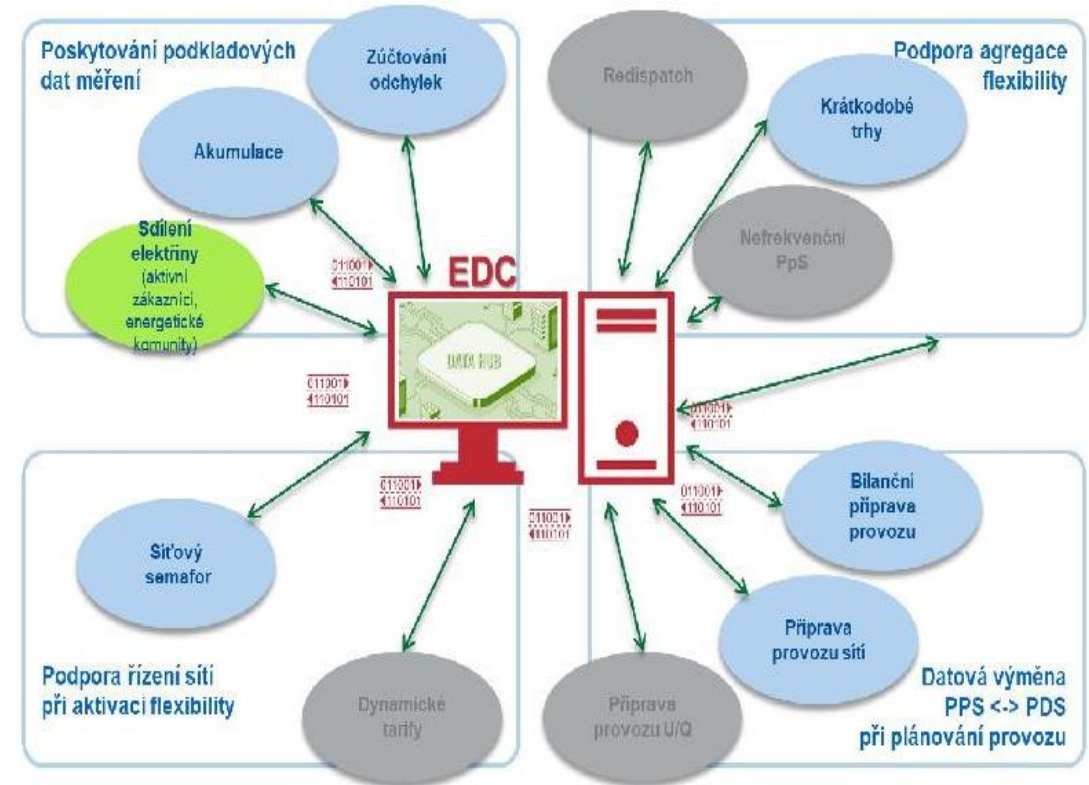
Podmínky: Průběhové měření (15 min.), registrace u OTE, registrace v Energetickém datovém centru (EDC), registrace u ERÚ, existence datového centra pro vyhodnocení sdílení atd.

EDC, vznik 17. 4. 2024, cena za nesíťovou infrastrukturu od 1.8.2024

- od 1. 7. 2024 - vyhodnocování sdílení elektřiny v rámci komunitního sdílení / sdílení mezi aktivními zákazníky
- od 1. 7. 2026 - řízení dat pro účely zajištění akumulace, flexibility nebo agregace (Novela EZ - LEX OZE III)

Dopady: tok výkonů, profil a stabilita napětí, kvalita elektrické energie, spolehlivost a bezpečnost ES

agregace flexibility pro účely poskytování nefrekvenčních podpůrných služeb DS nebo PS



Zdroj: EDC
Součást dočasného řešení

Působení lokální zdrojů na nadřazené soustavy - teplo

Lokální/komunální tepelná distribuční soustava, vybavená více zdroji, se po svém zapojení do nadřazené distribuční sítě **stává aktérem** této **vyšší soustavy** tak, že vyšší soustava může krýt nerovnoměrnosti v dodávkách a spotřebě tepla v Lokální síti a naopak Lokální síť může v době svých přebytků dodávat do vyšší soustavy.

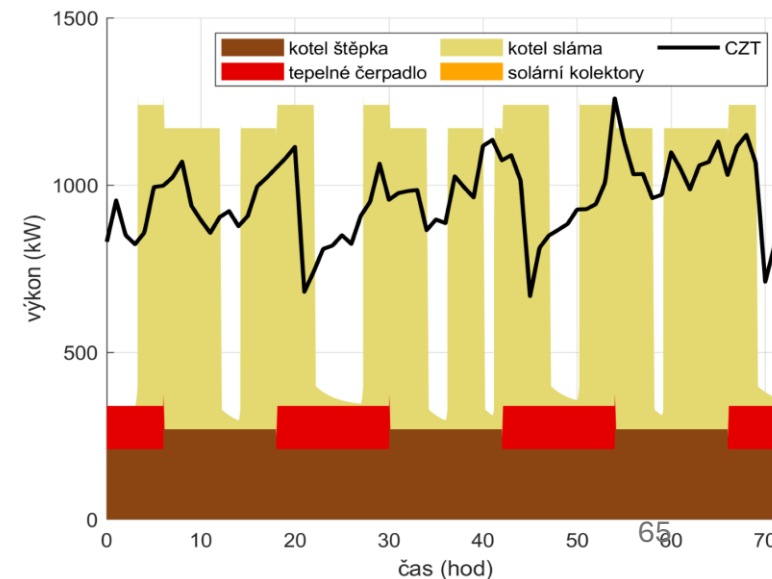
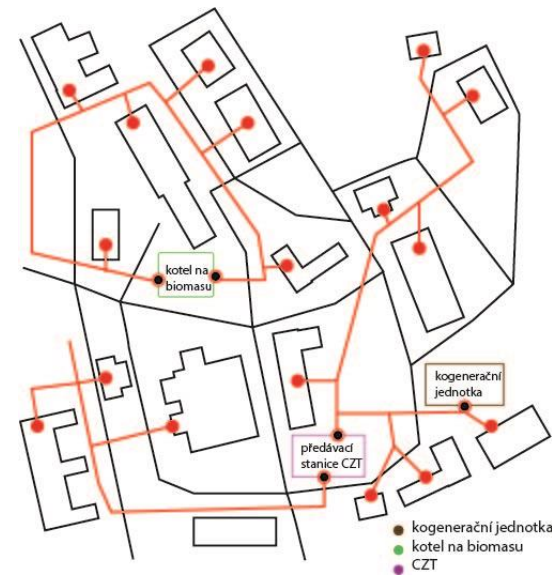
Důsledky: nižší investiční náklady na straně LDS a částečně i nadřazené sítě, vyšší efektivita využití zdrojů na straně LDS, „záložní dodávky“ z LDS v případě výpadků velkých tepelných zdrojů v nadřazené soustavě.

Pracovní režimy:

a/ **příjem tepla** z nadřazené soustavy – často redukce pracovních parametrů – teploty, tlaky, rychlosti proudění.

b/ **dodávky tepla** do nadřazené soustavy – často navýšení pracovních parametrů – především provozní tlak
– řešeno např. tlakovým oddělením okruhů přes výměník, nebo čerpací stanicí.

c/ pouze **záložní funkce** – umožňující pokrytí extrémních, či havarijních stavů v obou soustavách.



Působení lokální zdrojů na nadřazené soustavy - teplo

Faktory ovlivňující úspěšnost propojení LDS s vyšší soustavou:

1/ alespoň **blízkost provozních a konstrukčních parametrů**, tedy např. pracovní stupeň PN25 na vyšší soustavě a PN16 na Lokální soustavě, nikoliv např. PN40 a PN6. Podobně teploty přívodní linie až 145°C v nadřazené soustavě X např. 55°C v lokální soustavě budou komplikací.

2/ vzájemná **rozdílnost výrobních a spotřebních diagramů** obou soustav, tedy časová neshoda mezi spotřebními maximy lokální a vyšší distribuční soustavy, která umožňuje zvýšení efektivity práce nadřazené soustavy. Není žádoucí trvalé setkávání odběrových špiček v čase.

3/ vzájemná **technická nezávislost obou soustav na identických primárních zdrojích** z jedné veřejné distribuční sítě (především pro plyn, elektřinu), tj. potřeba upřednostnit alespoň dílčí vzájemnou zastupitelnost.

4/ schopnost produkce a zachování **kvality oběžné látky**, příp. oddělení provozních látek obou soustav s důsledkem ztráty teplotního spádu. Tedy řešení: tlakově závislé X tlakově nezávislé propojení.

5/ **odolnost vůči** chemickým a elektrochemickým **korozním jevům** v obou soustavách daná především konstrukčními materiály a vlastnostmi oběžných látek.

Působení lokální zdrojů na nadřazené soustavy - teplo

Stabilita vyšší distribuční sítě, v závislosti na chování lokální distribuční soustavy, je určována především

1/ **očekávatelností** odběrů a dodávek LDS ve vztahu k vyšší distribuční soustavě.

Tedy predikovatelností potřebný tepelných příkonů a výkonů do vyšší sítě, tak aby bylo možno ve správném čase navýšit, či snížit výrobní kapacitu nadřazené tepelné soustavy, příp. zajistit, objednat a dodat dodávky primárních zdrojů a dále zvýšit, či snížit provozní parametry vyšší distribuční soustavy:

Tlak

Teplota

Rychlost proudění

2/ **tlakovou a teplotní stabilitou** v dodávkách z LDS do vyšší soustavy s přijatelnými max. výkyvy v řádu do deseti Kelvinů a jednotlivých Barů.

3/ **spolehlivostí** avizovaných velikostí odběrů a dodávek do a z LDS

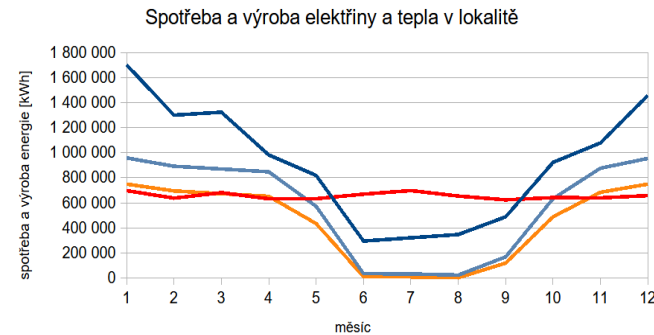


Autor obou foto : ŠJů

Ekonomické hodnocení

Typové řešení 1 – nemocnice

Spotřeba a výroba energie



Zdroje energie



2x600 kWe / 2x728 kWt



174 kWp

Ekonomicky málo efektivní nebo neefektivní varianty – např. větrná elektrárna+další zdroje

Problémy: investičně nákladnější, nutnost dodávky elektřiny do elektrizační soustavy + nákup elektřiny z elektrizační soustavy ➔ komunitní energetika

Ekonomická bilance a hodnocení

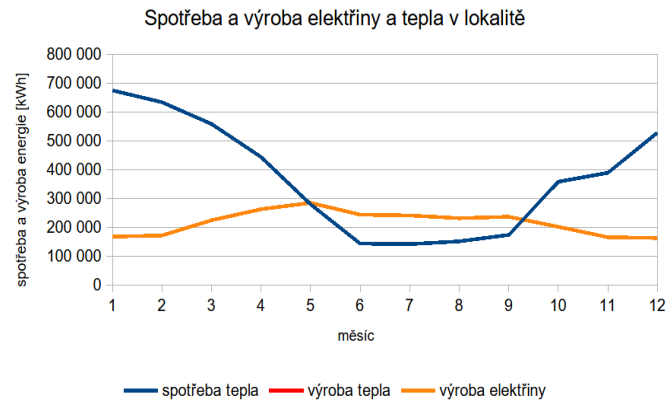
		[mil. Kč]
Investiční výdaje	2xKGJ, FVE, horkovod	33,088
Roční provozní náklady	Nákup plynu	11,195
	Ostatní náklady	1,910
	Navýšení rezervované kapacity (plyn)	0,900
	Odpisy	2,205
	Celkem	16,209
Roční úspory a příjmy	Prodej elektřiny	0,297
	Snížení rezervované kapacity (elektřina)	0,778
	Úspory za teplo	16,137
	Úspory za elektřinu	11,417
	Celkem	28,629

Kritéria ekonomického hodnocení	NPV [mil. Kč]	186,020
	IRR [%]	43,997
	Prostá návratnost [roky]	3

Ekonomické hodnocení

Typové řešení 2 – středisková obec

Spotřeba a výroba energie



Zdroje energie



200 kWe / 265 kWt



1122 kWp



7 GJ



800 kWt



350 kWt

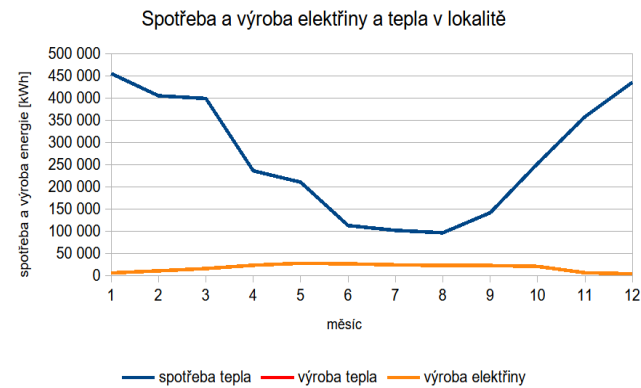
Ekonomická bilance a hodnocení

		[mil. Kč]
Investiční výdaje	KGJ, kotel na štěpku, kotel na slámu, FVE, akumulátor tepla	52,106
Roční provozní náklady	Nákup plynu, slámy a štěpky	4,866
	Ostatní náklady	2,124
	Celkem	8,890
Roční úspory a příjmy	Prodej elektřiny	2,895
	Úspory za teplo	10,519
	Celkem	13,414

Kritéria ekonomického hodnocení	NPV [mil. Kč]	5,435
	IRR [%]	8,787
	Prostá návratnost [roky]	9

Ekonomické hodnocení

Typové řešení 3 – sídliště Spotřeba a výroba energie



Zdroje energie



460 kWt + 370 kWt



207 kWp



250 kWt



6 GJ

Ekonomická bilance a hodnocení

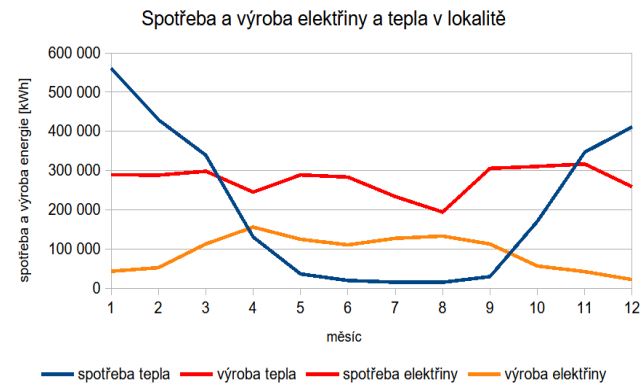
		[mil. Kč]
Investiční výdaje	2xplynový kotel, FVE, tepelné čerpadlo, akumulátor tepla	25,930
	Nákup elektřiny a plynu	3,496
Roční provozní náklady	Ostatní náklady	0,422
	Navýšení rezervované kapacity (plyn)	0,265
	Navýšení rezervované kapacity (elektřina)	0,148
	Odpisy	1,191
	Celkem	5,522
Roční úspory a příjmy	Prodej elektřiny	0
	Snížení rezervované kapacity (elektřina)	0
	Úspory za teplo	7,529
	Úspory za elektřinu	0,813
	Celkem	8,343

Kritéria ekonomického hodnocení	NPV [mil. Kč]	33,986
	IRR [%]	12,939
	Prostá návratnost [roky]	7

Ekonomické hodnocení

Typové řešení 4 – malý výrobní závod

Spotřeba a výroba energie



Zdroje energie



1200 kWt



5,5 GJ



300 kWt



1000 kWp

Ekonomická bilance a hodnocení

		[mil. Kč]
Investiční výdaje	plynový kotel, tepelné čerpadlo, FVE, akumulátor tepla	35,585
Roční provozní náklady	Nákup plynu a elektřiny	2,009
	Navýšení rezervované kapacity (plyn)	0,435
	Navýšení rezervované kapacity (elektřina)	0,157
	Ostatní náklady	0,812
	Odpisy	1,188
	Celkem	4,601
Roční úspory a příjmy	Prodej elektřiny	0,356
	Úspory za teplo	5,608
	Úspory za elektřinu	1,766
	Celkem	7,731

Kritéria ekonomického hodnocení	NPV [mil. Kč]	28,910
	IRR [%]	8,571
	Prostá návratnost [roky]	9



Program **Théta**



Webový interface MAEZR

Uživatelské rozhraní, ukázky použití
modelů pro návrh energetického systému

Ing. Václav Mužík, Ph.D. - ZČU

Ing. Petr Jančík, Ph.D. - ČVUT

Praha, 12. 11. 2024

Webové rozhraní MAEZR

The logo consists of the text 'MAEZR' in white, uppercase letters, centered within a dark blue rectangular background.

- **MAEZR webové rozhraní:** Umožňuje snadný přístup ke všem modelům pro úlohy energetického managementu.
- **Integrace Matlab a OpenModelica:** Flexibilní simulace s přesným modelováním.
- **Nahrávání custom dat a hypotetické scénáře:** Simulace s reálnými daty a scénáři pro systémové optimalizace.
- **Pro systémové designery a manažery:** Podpora pro návrh, testování a optimalizaci energetických systémů v prostředí definovaných prostorů
- **Dostupné modely:** Bilanční model (TŘ1 – Nemocniční provoz), Dynamický model – elektro, teplo (TŘ2 – Malá obec)

Webové rozhraní MAEZR - informace

The logo for MAEZR, consisting of the text "MAEZR" in white, uppercase letters on a dark blue rectangular background.

- **Server v prostředí ZČU**
- **Přístup po registraci a schválení (poloautomaticky)**
- **Open source + verzování na GitHub**
- **Interface bude možné spouštět lokálně např. s využitím Docker**
- **Aktuálně:**
 - Architektura systému (1-10/2024)
 - Testování bilanční úlohy (11/2024)
 - Tvorba uživatelských reportů + tabulek (11/2024)
 - Implementace dynamické úlohy (12/2024)

Využití webového interface MAEZR

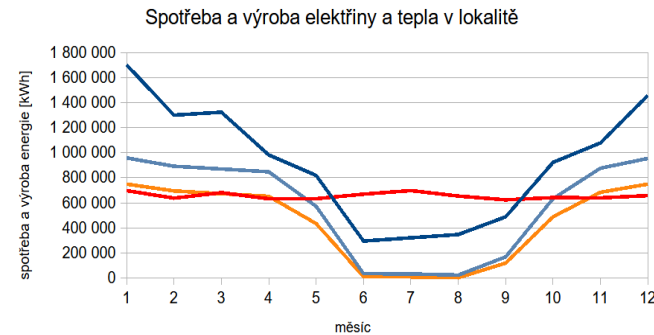
The logo for MAEZR, consisting of the letters 'MAEZR' in white, bold, sans-serif font, centered within a dark blue rectangular background.

- **Inspirace v PV GIS** – jednoduchá příprava dat pro FVE
 - Tvorba dat jako vstup pro modely
 - Pokročilý vstup chování FVE při designu systému
- Jednoduchý nástroj
 - Velmi cenné **předpřipravené úlohy s reálnými daty a odladěným modely**
 - **Široká škála modelů** – od základních bilančních po power flow modely **v českém energetickém prostředí**
 - Možnost úpravy modelů pro konkrétní situace
 - Komplexnější problematika než PV GIS – není jednoúčelový
- Konfrontace výsledků s realitou a očekáváním pokročilým způsobem
- **Využitelnost** jednotlivých výstupů pro uživatele

Ekonomické hodnocení – TŘ1

Typové řešení 1 – nemocnice

Spotřeba a výroba energie



Zdroje energie



2x600 kWe / 2x728 kWt



174 kWp

Ekonomicky málo efektivní nebo neefektivní varianty – např. větrná elektrárna+další zdroje

Problémy: investičně nákladnější, nutnost dodávky elektřiny do elektrizační soustavy + nákup elektřiny z elektrizační soustavy ➔ komunitní energetika

Ekonomická bilance a hodnocení

		[mil. Kč]
Investiční výdaje	2xKGJ, FVE, horkovod	33,088
Roční provozní náklady	Nákup plynu	11,195
	Ostatní náklady	1,910
	Navýšení rezervované kapacity (plyn)	0,900
	Odpisy	2,205
	Celkem	16,209
Roční úspory a příjmy	Prodej elektřiny	0,297
	Snížení rezervované kapacity (elektřina)	0,778
	Úspory za teplo	16,137
	Úspory za elektřinu	11,417
	Celkem	28,629

Kritéria ekonomického hodnocení	NPV [mil. Kč]	186,020
	IRR [%]	43,997
	Prostá návratnost [roky]	3

Ukázka – bilanční úloha TŘ1

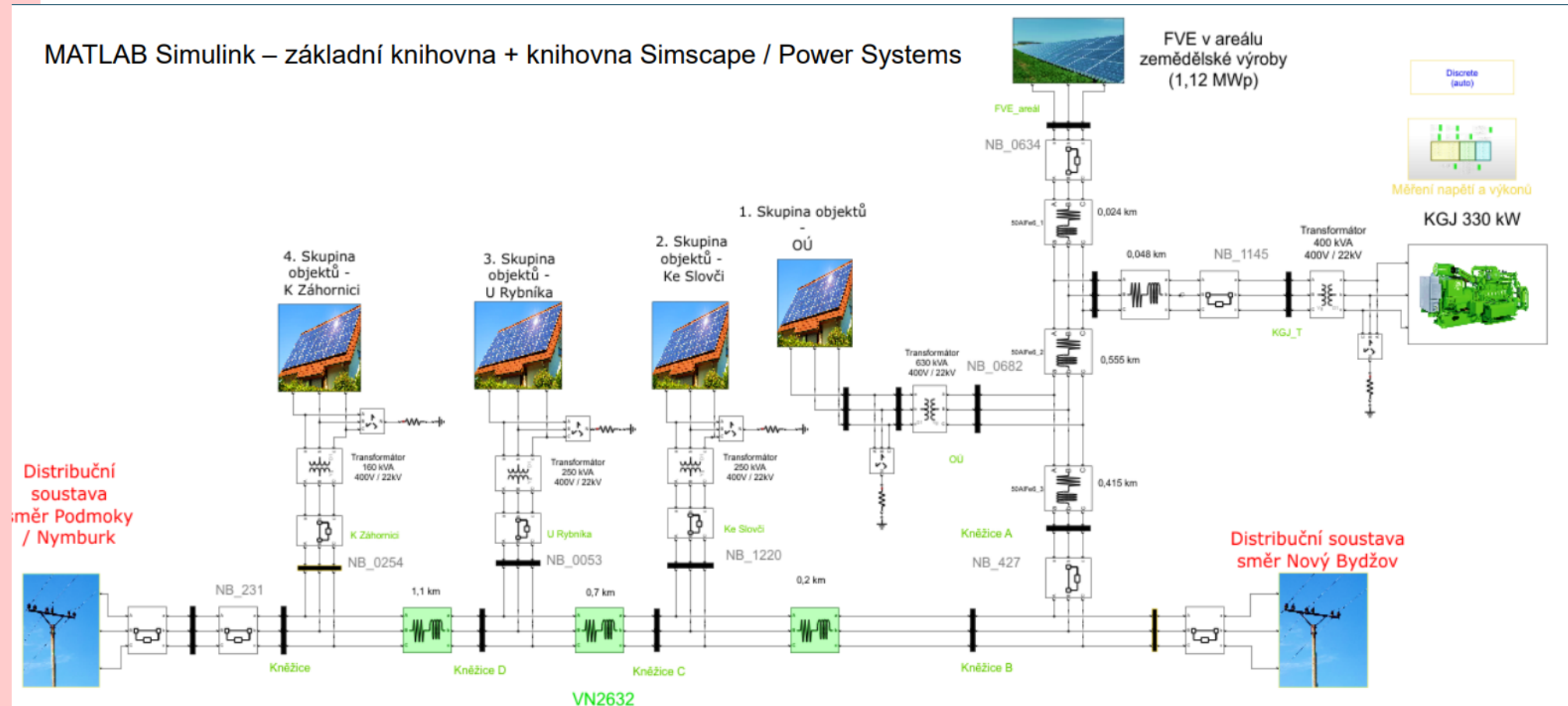
- **Simulace změny diagramu zatížení** při instalaci uživatelsky zvolené konfigurace zdrojů tepla a elektřiny

MAEZR

<https://maezr.fel.zcu.cz/>

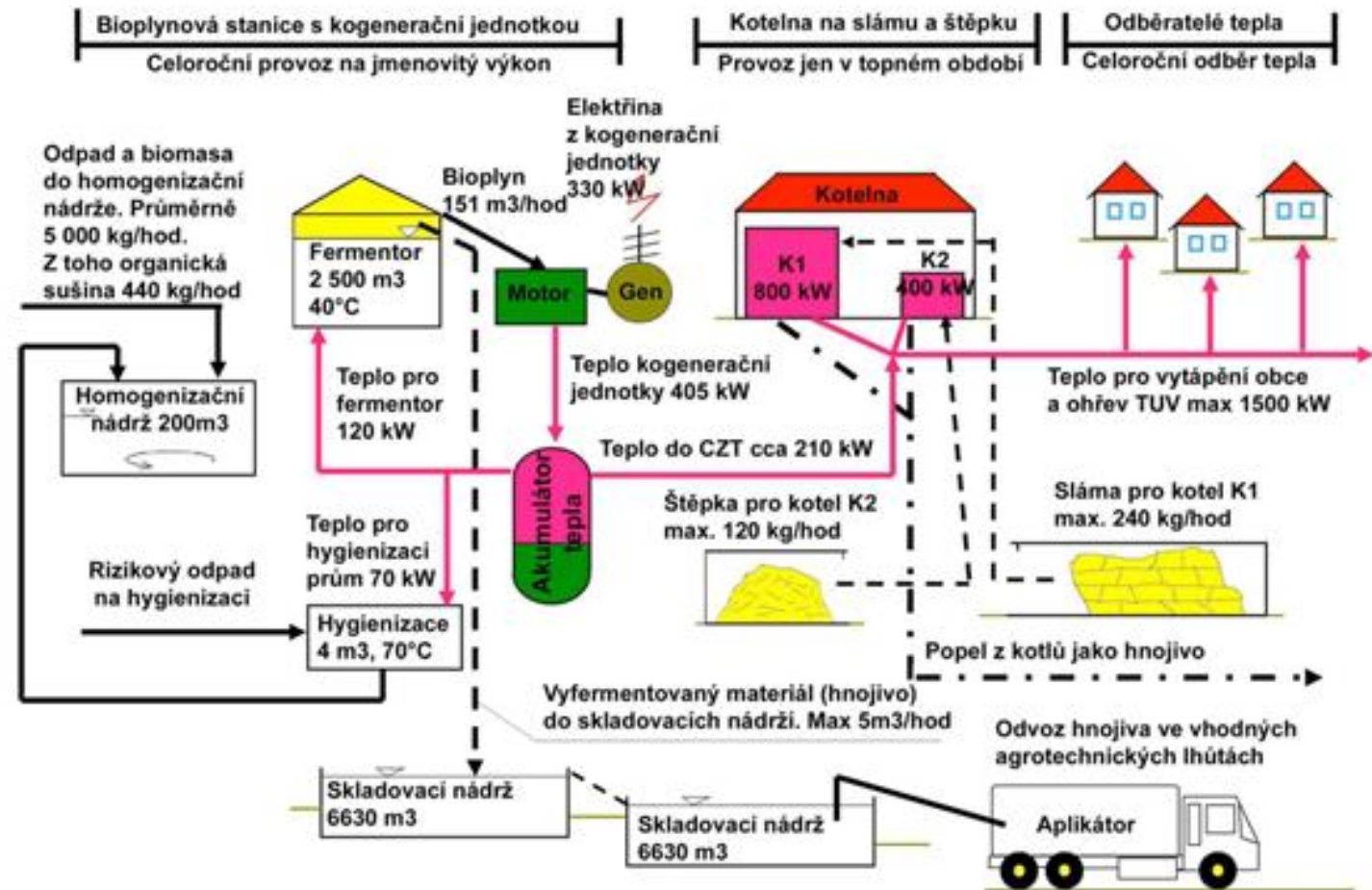
TŘ2 – Představení modelů - elektřina

- Detailní **power flow model** hypotetické LDS Kněžice vycházející ze **skutečné konfigurace sítě na úrovni 22 kV**
- Několik simulační variant **kombinace zdrojů (KGJ + velké a malé FVE)**
- Detailně součást odpoledního bloku prezentací ZČU



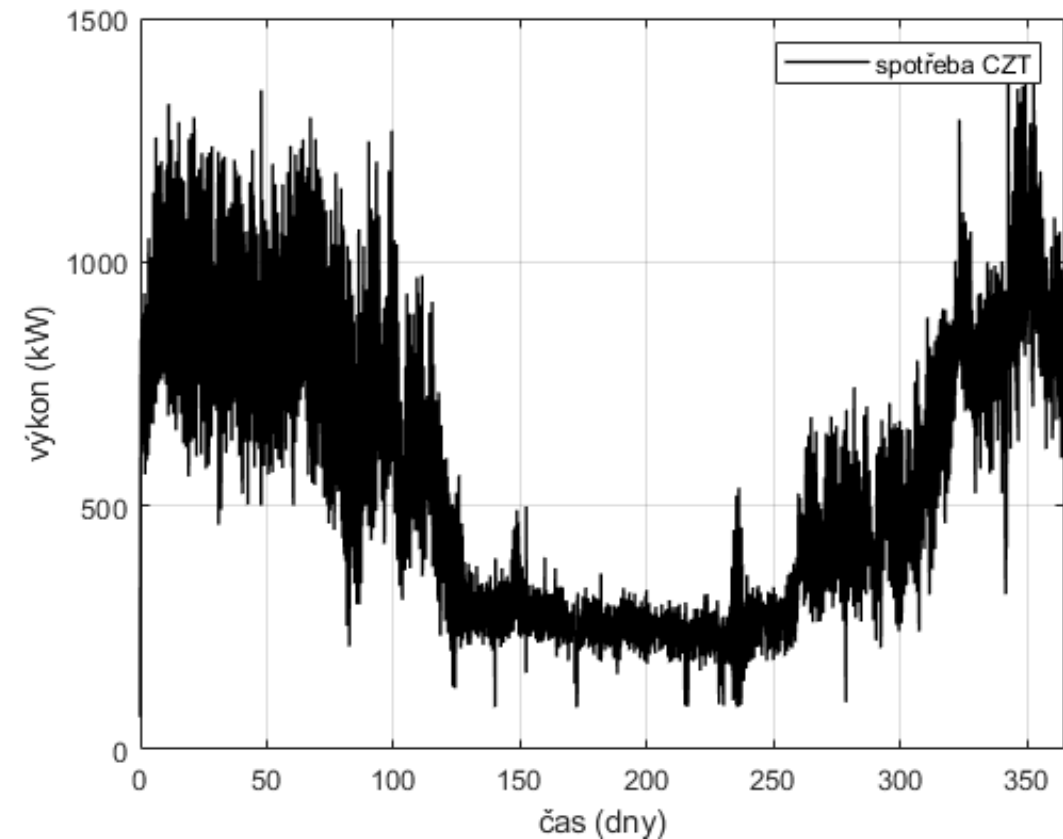
TŘ2 – Představení modelované situace - teplo

- Kněžice
 - Okres Nymburk, ca 400 obyvatel
 - od r. 2006 Energeticky soběstačná obec
- Výroba tepla
 - KGJ - 405 kWt
 - Kotel na slámu - 800 kWt
 - Kotel na dřevní štěpku - 400 kWt
- Akumulace tepla
 - Vodní stratifikovaný akumulátor - 50m³
- Distribuce tepla
 - Maximální příkon 1 500 kW
 - Teplotní spád 105/70 °C
 - 149 odběrných míst (95 % spotřeby tepla v obci)
 - Délka rozvodů ca 6 km



Tepelný bilanční model - volba zdrojů

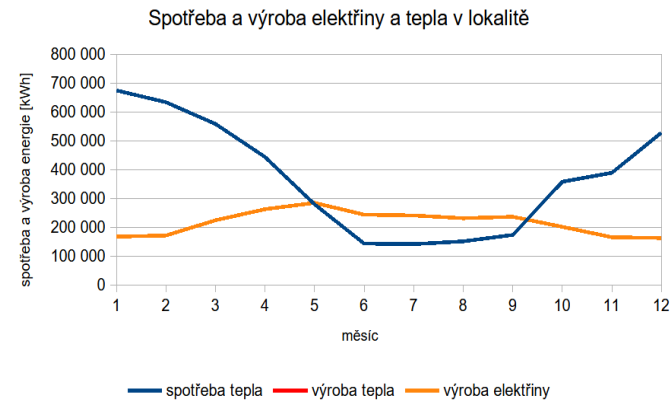
- Je třeba volit kombinaci zdrojů, která je vhodná pro zadanou spotřebu
- Výkon se pohybuje mezi **200 kW** a **1 400 kW**
- **Kogenerace** by měla mít během roku co největší využití, proto je její výkon volen tak, aby mohla běžet **téměř nepřetržitě** i mimo topnou sezonu
- **Celkový výkon** všech zdrojů dohromady by měl být **blízko maximálnímu příkonu** soustavy
- Vzhledem k možnosti skladování paliva byly zvoleny **kotle na biomasu**
- Diverzifikace paliv může mít vliv na nákladovou stabilitu navrženého řešení
- **Akumulace tepla** by měla být schopna zásobovat síť po dobu jednotek hodin



Ekonomické hodnocení

Typové řešení 2 – středisková obec

Spotřeba a výroba energie



Zdroje energie



200 kWe / 265 kWt



1122 kWp



7 GJ



800 kWt



350 kWt

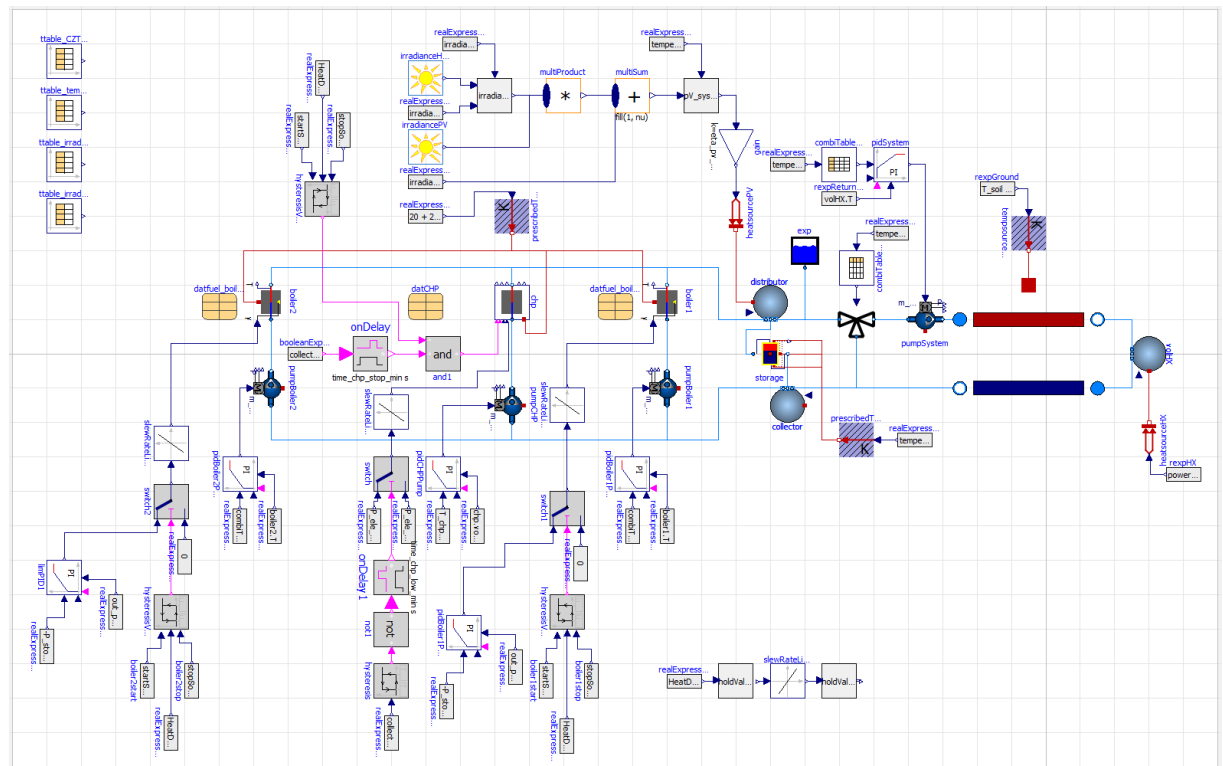
Ekonomická bilance a hodnocení

		[mil. Kč]
Investiční výdaje	KGJ, kotel na štěpku, kotel na slámu, FVE, akumulátor tepla	52,106
Roční provozní náklady	Nákup plynu, slámy a štěpky	4,866
	Ostatní náklady	2,124
	Celkem	8,890
Roční úspory a příjmy	Prodej elektřiny	2,895
	Úspory za teplo	10,519
	Celkem	13,414

Kritéria ekonomického hodnocení	NPV [mil. Kč]	10	5,435
	IRR [%]		8,787
	Prostá návratnost [roky]		9

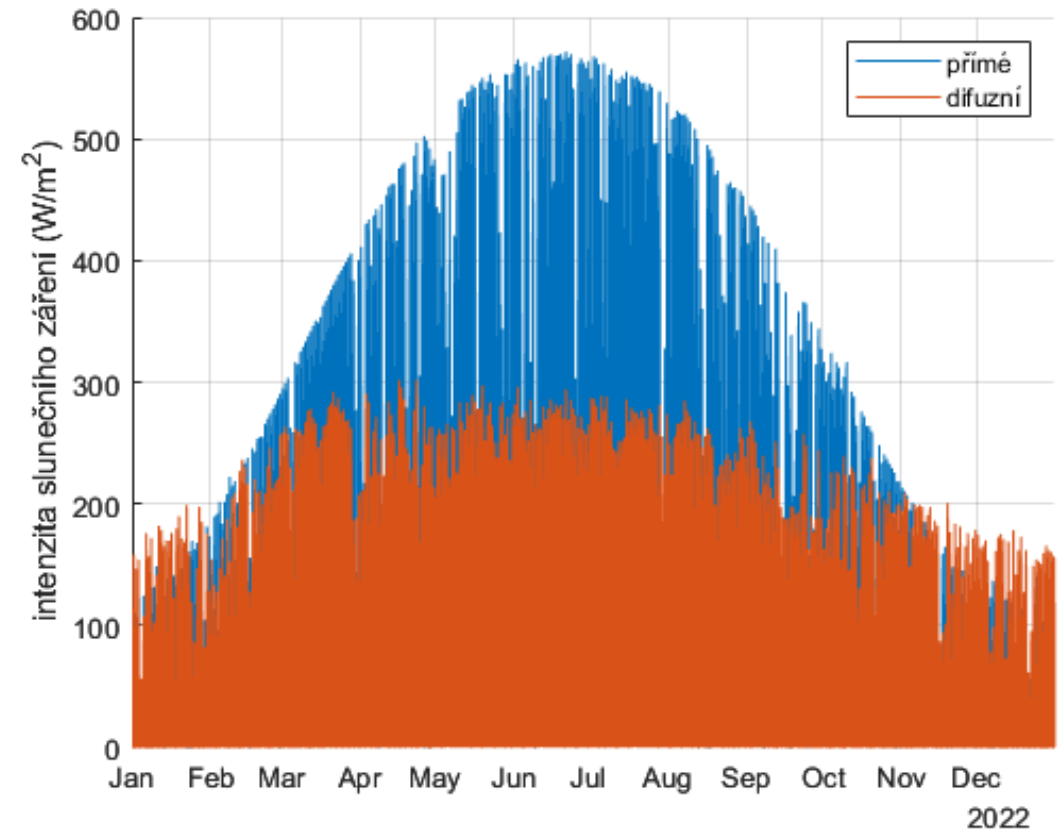
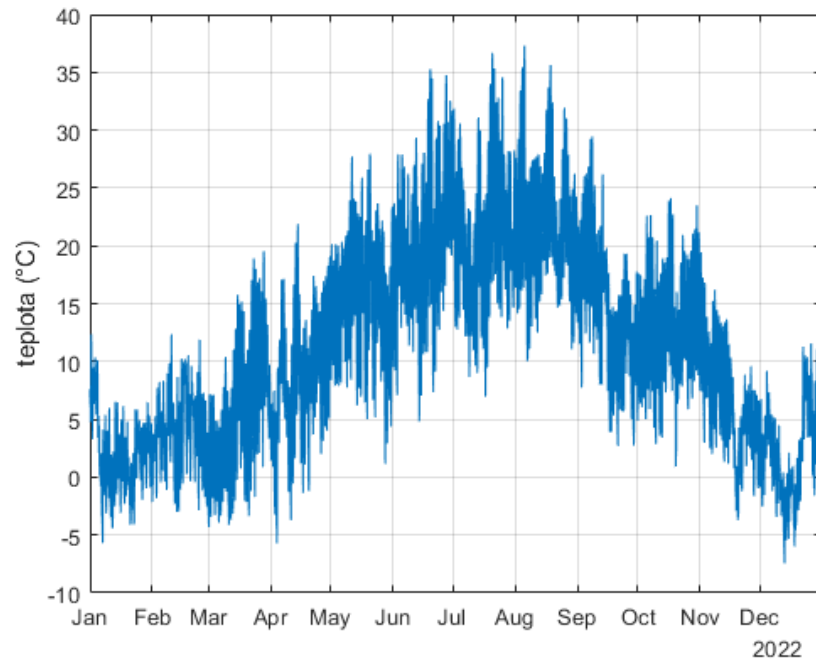
TŘ2 – Představení modelů - teplo

- Bilanční model výroby, akumulace a distribuce tepla v lokální distribuční síti
- Modelování parametrů výroby, akumulace a distribuce (teploty, průtoky, výkony)
- Pracuje s okamžitými stavy systému, ne průměrnými měsíčními nebo ročními daty
- Řeší pořadí nasazování zdrojů podle potřeby tepla a jejich variabilních nákladů
- Dává i základní ekonomické parametry navrženého řešení
- Vlastní model
 - Sestaveno v jazyce Modelica
 - Ca 1 000 řádků
 - Ca 150 volitelných parametrů



TŘ2 – Vstupní data - počasí

- Pro modelování tepelné soustavy je třeba znát průběh veličin, které ovlivňují spotřebu tepla i jeho výrobu
- Konkrétně to jsou
 - **Teplota vzduchu**
 - **Intenzita slunečního osvětlení**
- V Kněžicích není dostupné přímě měření těchto veličin
- Použita data od Meteoblue



TŘ2 – Vstupní parametry modelu

Parameters

ne distribuce tepla nasazovani zdroju distribuci sit akumulator kotel 1 kotel 2 FV ohrev kogenerace

vykon

P_ele_chp_nom	200000	W	nominalni elektricky vykon
P_ele_chp_low	150000	W	snizeny elektricky vykon
eta_ele_chp_nom	0.39	1	elektricka ucinnost pri nominalnim vykonu
eta_ele_chp_low	0.36	1	elektricka ucinnost pri snizenem vykonu
eta_heat_chp_nom	0.50	1	tepelna ucinnost pri nominalnim vykonu
eta_heat_chp_low	0.47	1	tepelna ucinnost pri snizenem vykonu
U_sur_chp	50	W/K	vodivost z motoru do okolí

konstrukce

V_chp	0.1	m ³	objem vody
m_chp	500	kg	hmotnost motoru
T_chp_eng_nom	110	°C	jmenovita teplota motoru
T_chp_wat_max	95	°C	max. teplota vody

regulace prutoku

m_flow_chp_min	0.01	kg/s	minimalni prtok
m_flow_chp_max	50	kg/s	maximalni prtok
PID_pumpchp_k	2	kg/(s.K)	zesileni PI regulatoru
PID_pumpchp_Ti	300	s	integracni casova konstanta PI regulatoru
T_chp_set	90	°C	pozadovana teplota na vystupu

provoz

T_chp_in_high	65	°C	teplota vstupu pro zvyseni vykonu
T_chp_in_low	68	°C	teplota vstupu pro snizeni vykonu
T_chp_in_stop	72	°C	teplota vstupu pro odstaveni
time_chp_stop_min	7200	s	minimalni doba odstavky
time_chp_low_min	3600	s	minimalni doba snizeni vykonu
time_chp_up	600	s	doba nabehu
time_chp_down	300	s	doba sebehu

- Parametry vybraných zdrojů
 - Jmenovitý výkon
 - Výstupní teploty
 - Účinnost
 - Variabilní náklady
 - ...
- Charakter odběru tepla (ekvitermní regulace)
- Parametry algoritmu spouštění zdrojů

hydraulika

m_flow_chp_nom	5	kg/s	jmenovity prtok
----------------	---	------	-----------------

pocatecni podminky

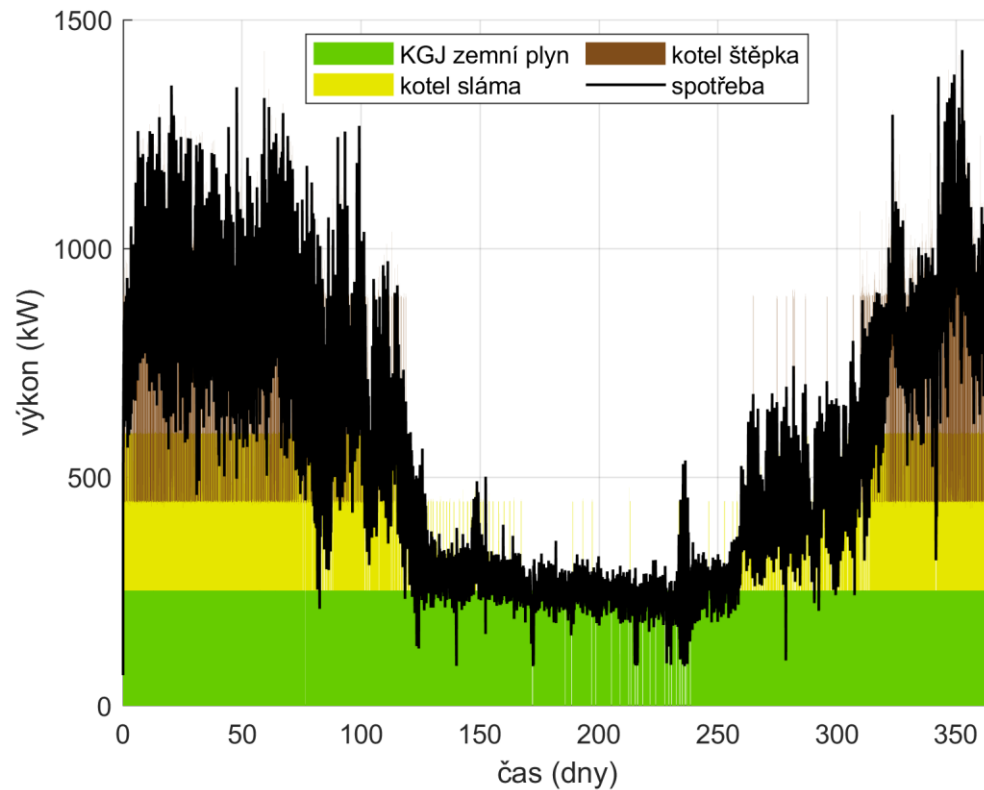
T_chp_ini	60	°C	teplota
m_flow_chp_ini	2	kg/s	prtok

ekonomika

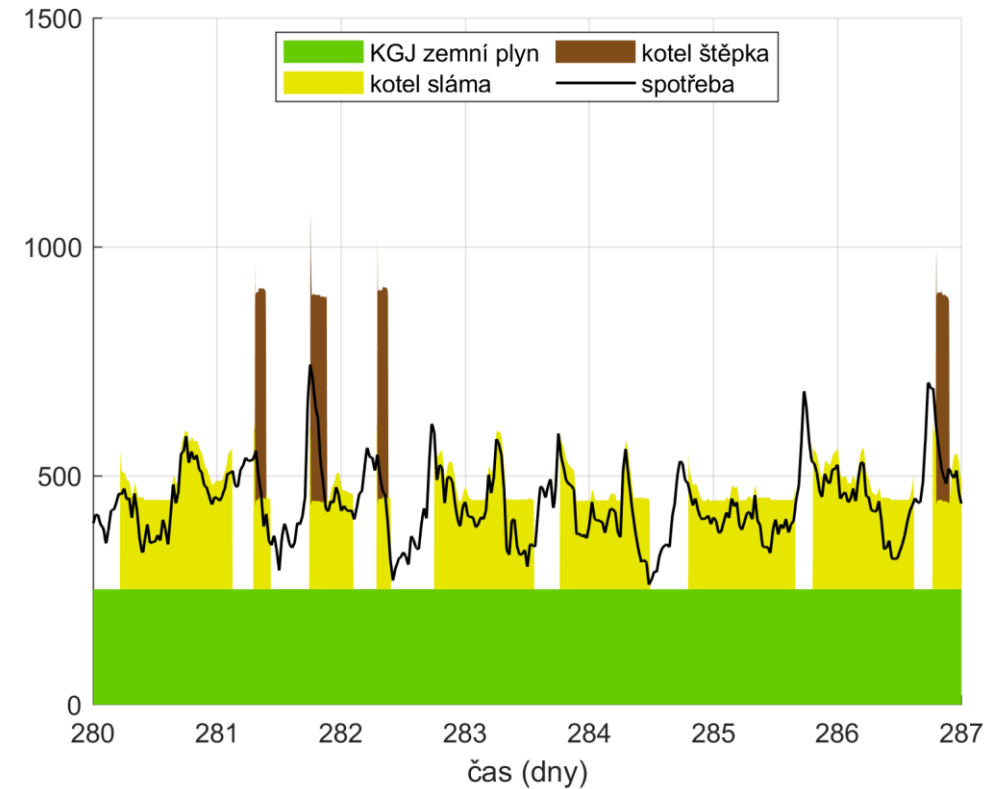
fuelcost_chp	390	Kc/(GJ)	naklady na jednotku energie v palivu
fixcost_chp	693533	Kc/(rok)	ročni přímé fixní náklady
heatcostratio_chp	0.1	1	podíl nákladu příslušných výroby tepla

Tepelný bilanční model - technické zhodnocení

- 1 rok provozu
 - Priorita provozu kogenerace
 - Výhodnější je provoz kotle na slámu

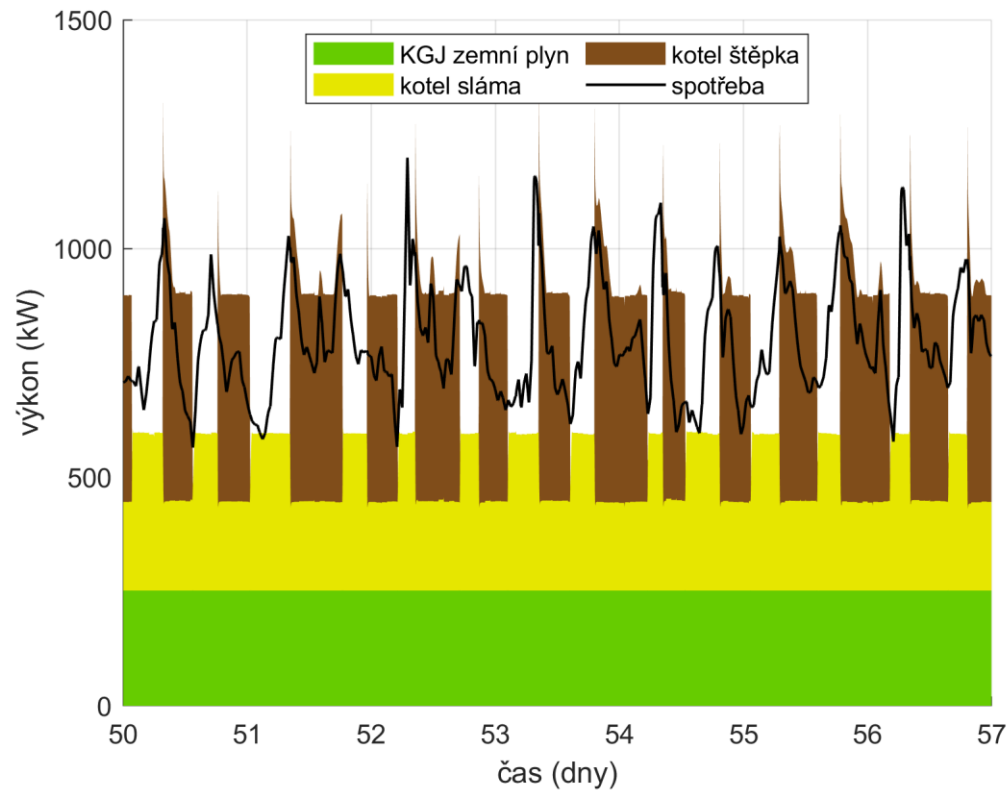


- 1 týden provozu v přechodném období
 - Díky dostatečné akumulární kapacitě mohou kotle běžet vždy alespoň několik hodin bez přestávky

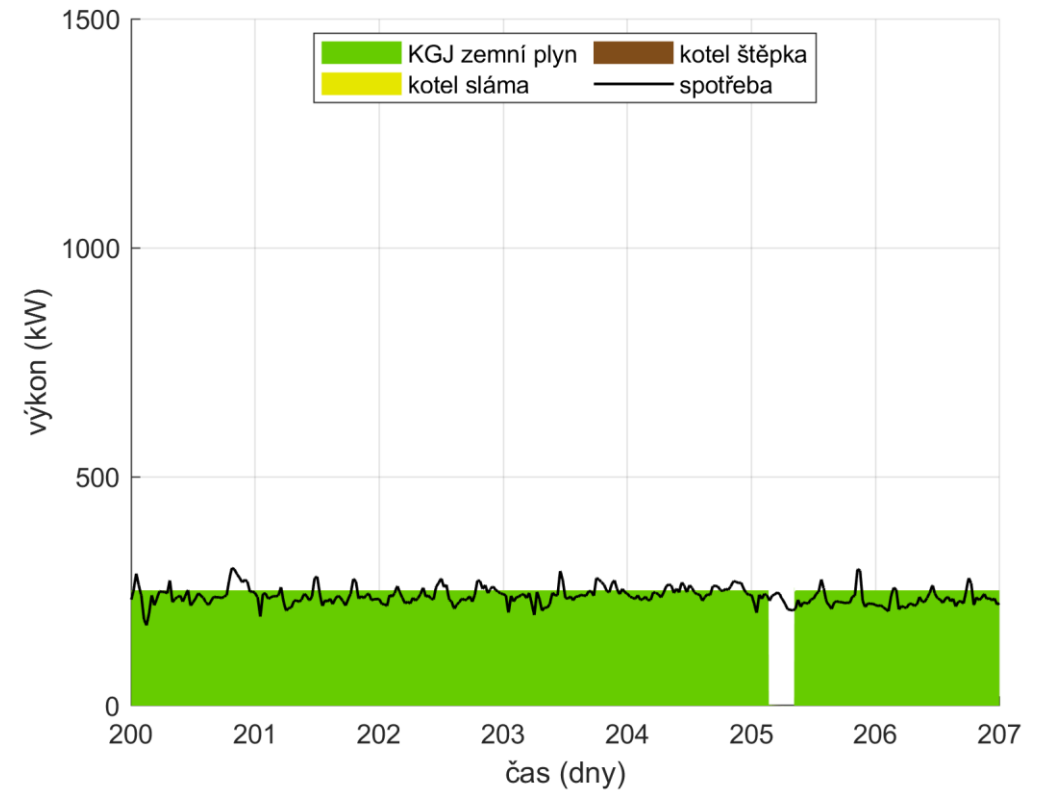


Tepelný bilanční model - technické zhodnocení

- 1 týden provozu v zimním období
 - Kotel na slámu běží nepřetržitě a je doplňován štěpkou



- 1 týden provozu v letním období
 - Stačí samotná KGJ



Tepelný bilanční model - ekon. zhodnocení

- Roční bilance zdrojů

Zdroj	Celkové náklady	Vyrobené teplo	Vyrobená elektřina	Měrné náklady tepla	Měrné náklady elektřiny
Jednotka	Kč	GJ	MWh	Kč/GJ	Kč/MWh
KGJ	6 911 300	7 831,4	1727,0	88,3	3 601,6
Kotel sláma	1 163 300	4 715,7	-	246,7	-
Kotel štěpka	2 306 800	4 588,5	-	502,7	-

- Souhrn

Celkem	Dodané teplo	Dodaná elektřina	Celkové náklady
Jednotka	GJ	MWh	Kč
Celkem	15 802,5	1727,0	10 611 700

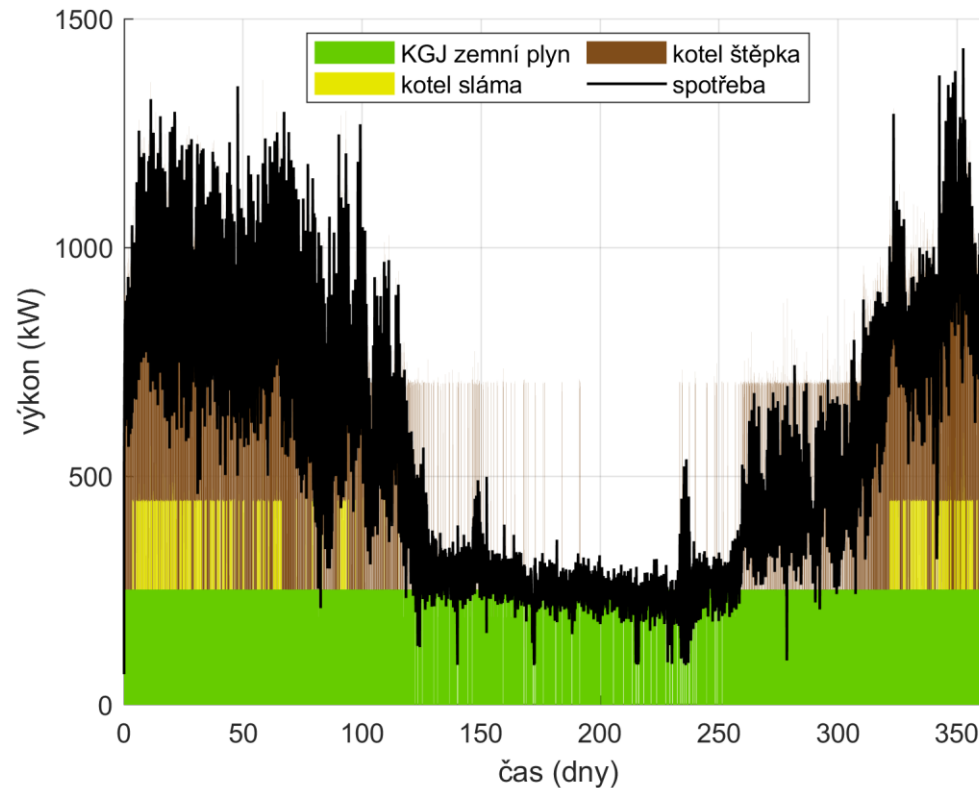
Tepelný bilanční model - alternativní scénář

- Tepelný bilanční model upravuje díky vazbě na náklady výroby tepla využití zdrojů podle ekonomické výhodnosti
- To umožňuje simulaci například **vlivu ceny vstupních komodit** na celkové náklady provozu soustavy
- Pro ilustraci byl zvolen scénář s dramatickým nárůstem ceny slámy
- Zachováno složení zdrojů a jejich technických parametrů
- **Zvýšeny náklady na výrobu tepla v kotli spalujícím slámu na pětinásobek**

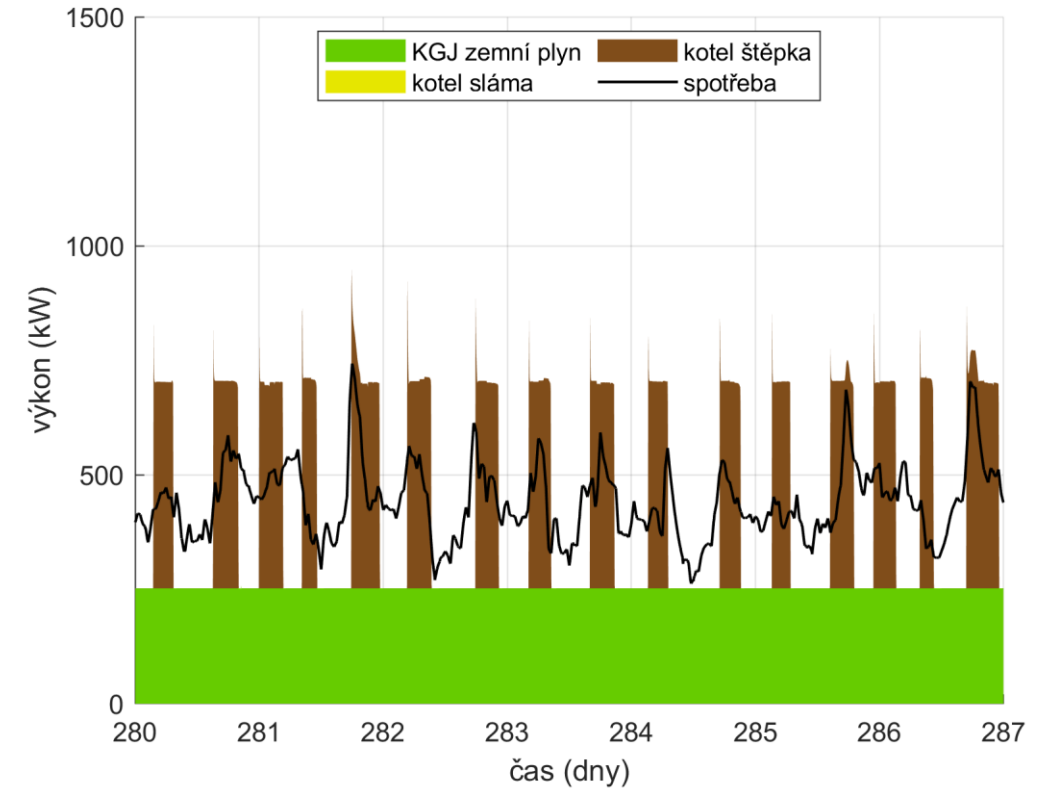


„Slámová krize“ - technické zhodnocení

- 1 rok provozu
 - Výrazné omezení využití kotle na slámu

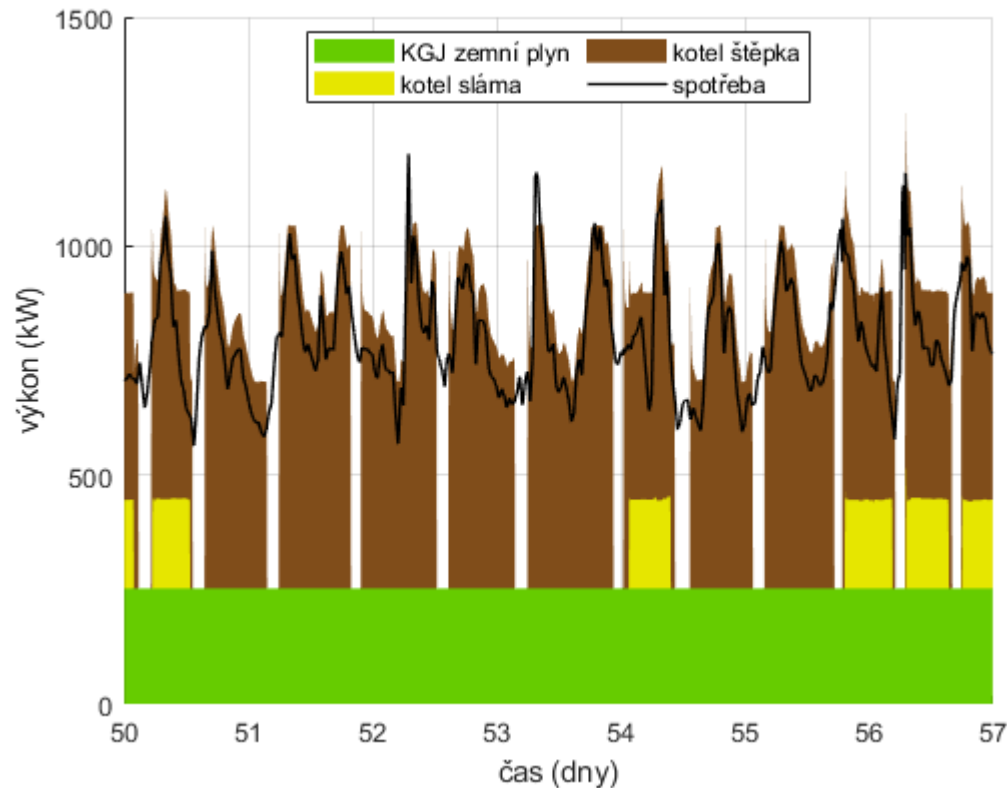


- 1 týden provozu v přechodném období
 - Akumulace umožňuje rozumné využití kotle na štěpku (přiměřený výkon po dobu několika hodin)

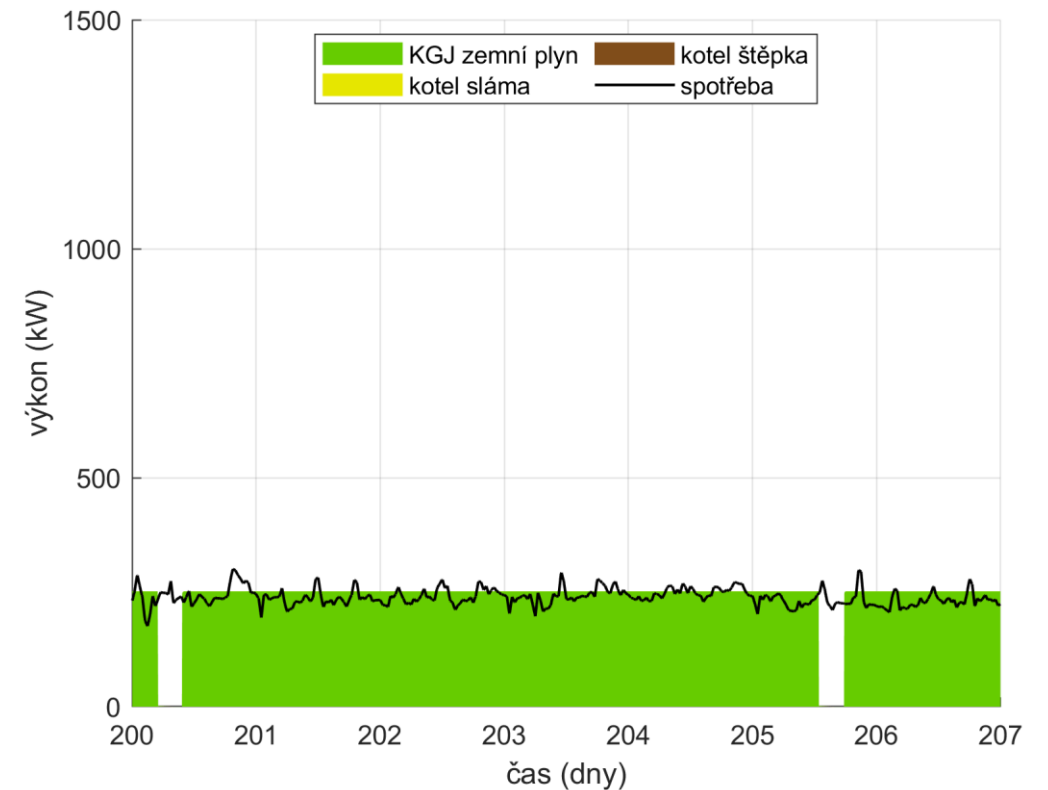


„Slámová krize“ - technické zhodnocení

- 1 týden provozu v zimním období
 - Výrazné omezení využití kotle na slámu



- 1 týden provozu v letním období
 - Stačí samotná KGJ



„Slámová krize“ - ekon. zhodnocení

- **Roční bilance zdrojů**

Zdroj	Celkové náklady	Vyrobené teplo	Vyrobená elektřina	Měrné náklady tepla	Měrné náklady elektřiny
Jednotka	Kč	GJ	MWh	Kč/GJ	Kč/MWh
KGJ	6 852 000	7 754,9	1 710,1	88,4	3606,1
Kotel sláma	1 252 300	1 004,4	-	1246,8	-
Kotel štěpka	3 288 600	8 375,2	-	392,7	-

- **Výchozí varianta**

Zdroj	Celkové náklady	Vyrobené teplo	Vyrobená elektřina	Měrné náklady tepla	Měrné náklady elektřiny
Jednotka	Kč	GJ	MWh	Kč/GJ	Kč/MWh
KGJ	6 911 300	7 831,4	1727,0	88,3	3 601,6
Kotel sláma	1 163 300	4 715,7	-	246,7	-
Kotel štěpka	2 306 800	4 588,5	-	502,7	-

- **Celkové náklady se zvýší z 10 611 700 Kč na 11 622 800 Kč, tedy přibližně o 10 %**

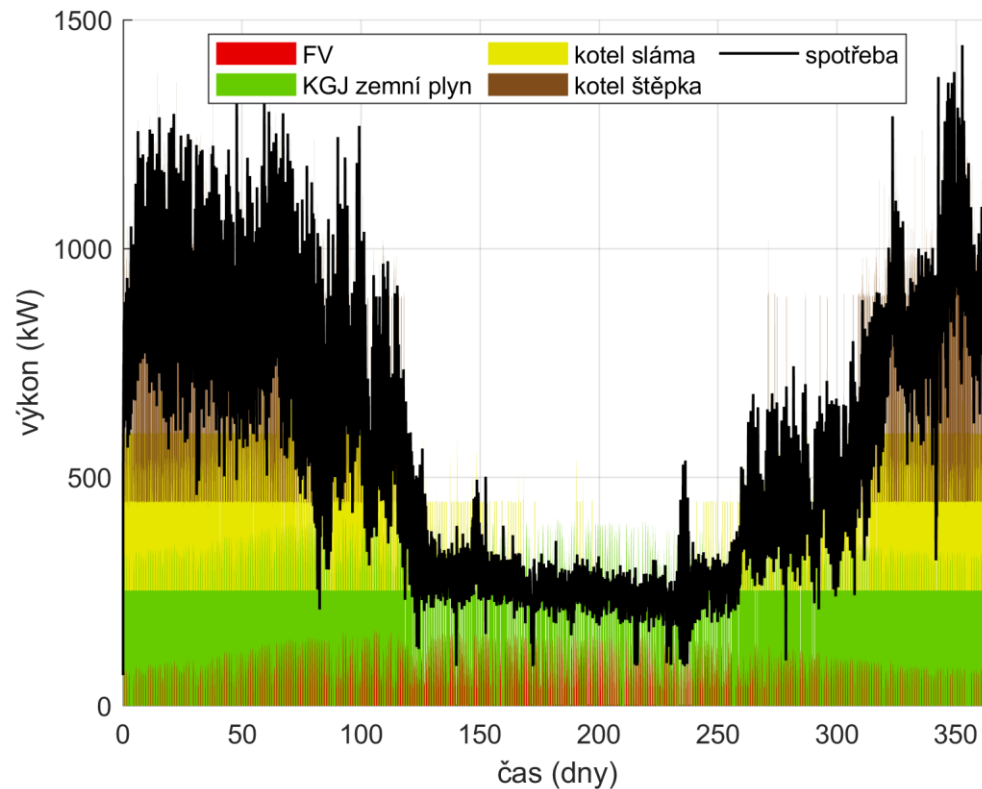
Tepelný bilanční model - doplnění FV ohřevu

- Tepelný bilanční model pracuje s různými zdroji tepla a elektřiny
- Doplnění dalšího zdroje změní využití všech zdrojů
- Kombinace zdrojů
 - Kogenerační jednotka - výkon $265 \text{ kW}_t + 200 \text{ kW}_e$
 - Kotel spalující dřevní štěpku - výkon 800 kW_t
 - Kotel spalující slámu - výkon 350 kW_t
 - Vodní akumulátor tepla - kapacita $2\,000 \text{ kWh}$ (40 m^3 vody)
 - **FV panely napojené na výrobu tepla - výkon 200 kW_p**

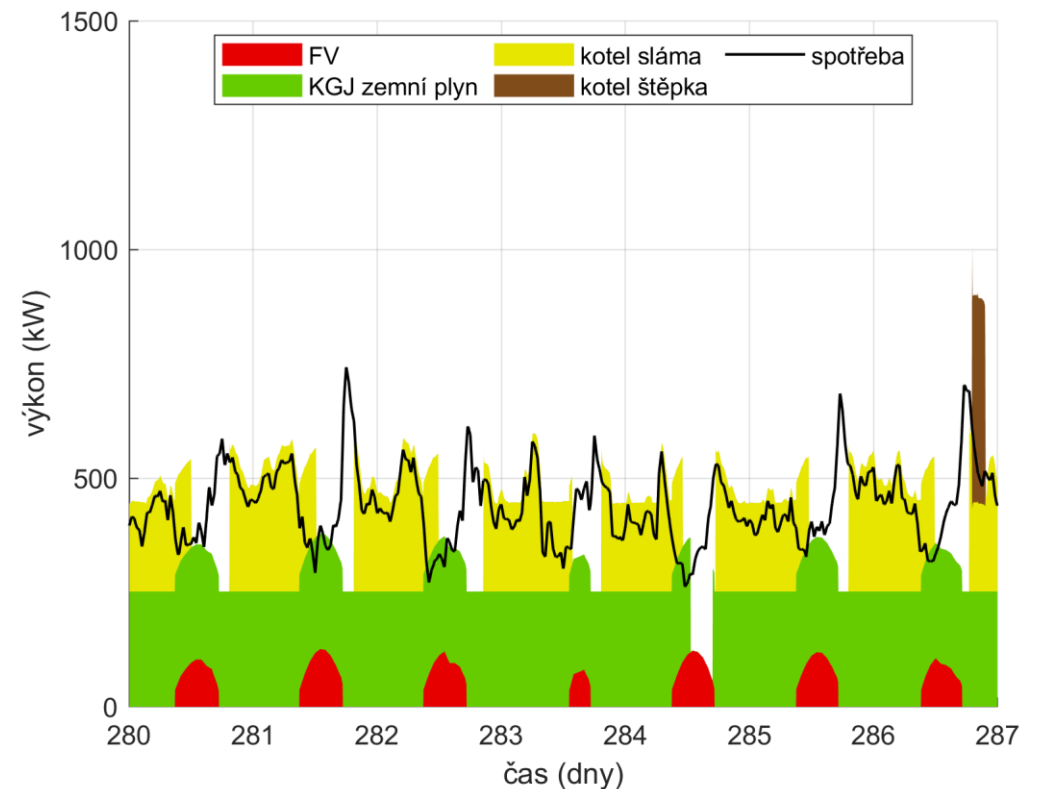


Doplnění FV ohřevu - technické zhodnocení

- 1 rok provozu
 - Přidání tepla z FV ohřevu, nejvýraznější je v létě

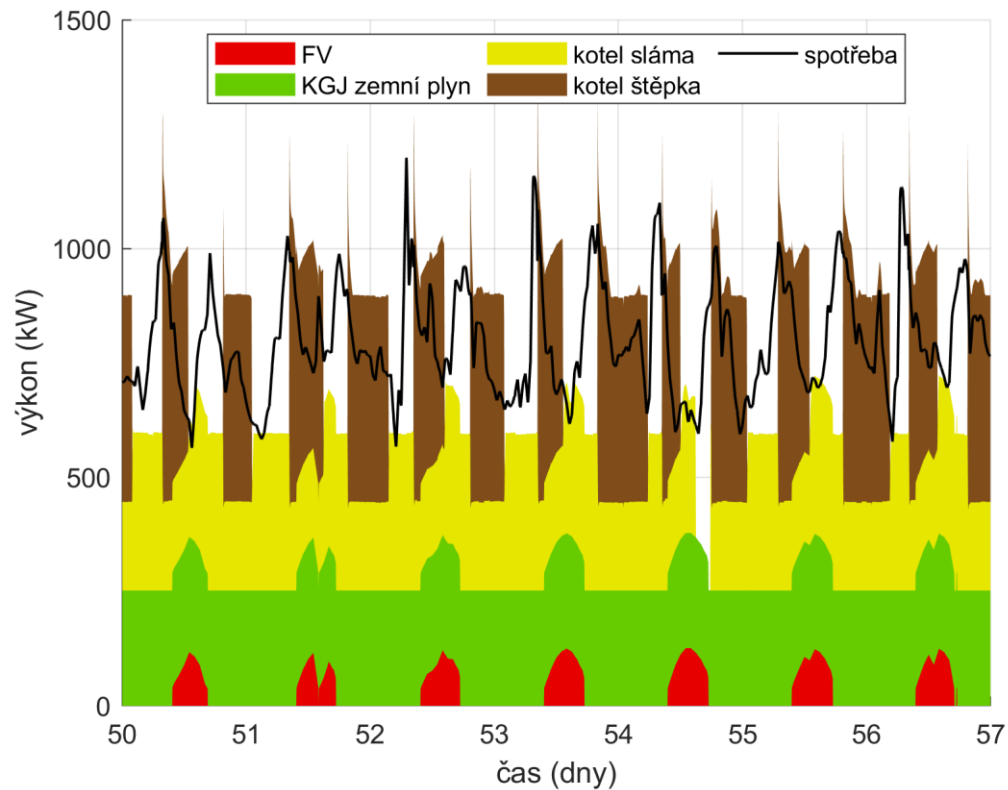


- 1 týden provozu v přechodném období
 - FV ohřev částečně omezuje využití ostatních zdrojů

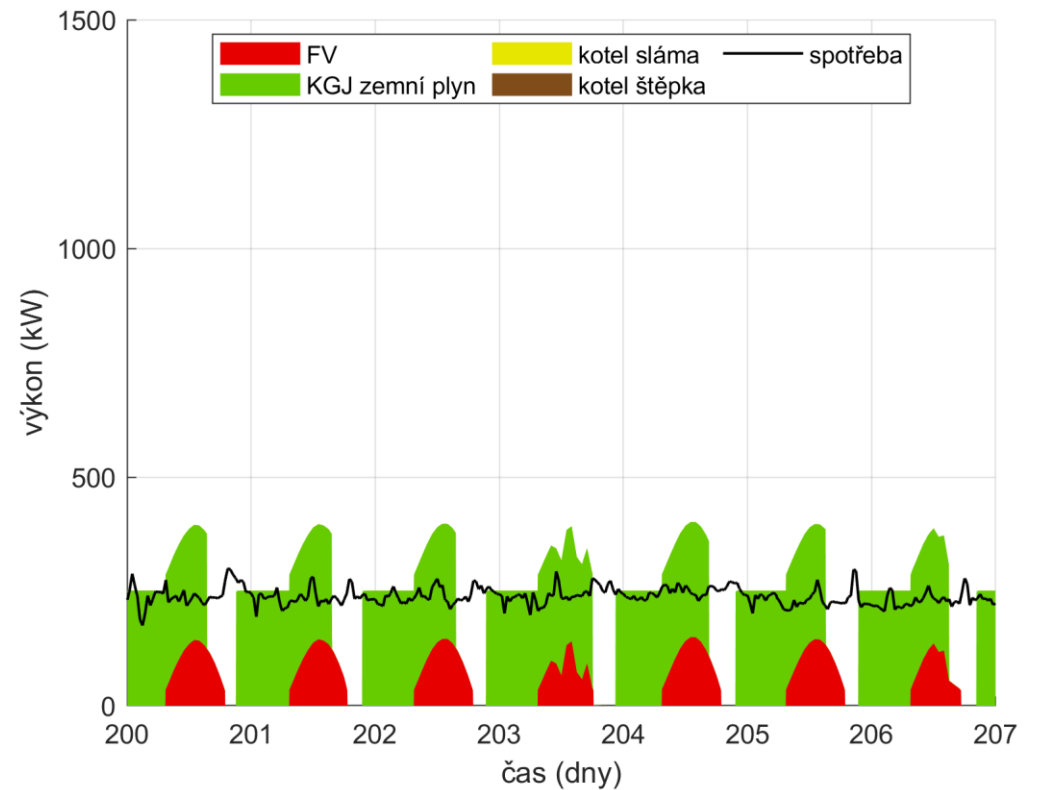


Doplnění FV ohřevu - technické zhodnocení

- 1 týden provozu v zimním období
 - Příspěvek FV ohřevu je poměrně malý



- 1 týden provozu v letním období
 - FV ohřev částečně omezuje výrobu v KGJ



Doplnění FV ohřevu- ekon. zhodnocení

- Roční bilance zdrojů

Zdroj	Celkové náklady	Vyrobené teplo	Vyrobená elektřina	Měrné náklady tepla	Měrné náklady elektřiny
Jednotka	Kč	GJ	MWh	Kč/GJ	Kč/MWh
KGJ	6 439 600	7 233,6	1 595,4	89,0	3 632,8
Kotel sláma	1 146 800	4 595,6	-	249,5	-
Kotel štěpka	2 249 500	4 356,6	-	516,3	-
FV ohřev	250 000	949,7	-	263,2	-

- Výchozí varianta

Zdroj	Celkové náklady	Vyrobené teplo	Vyrobená elektřina	Měrné náklady tepla	Měrné náklady elektřiny
Jednotka	Kč	GJ	MWh	Kč/GJ	Kč/MWh
KGJ	6 911 300	7 831,4	1 727,0	88,3	3 601,6
Kotel sláma	1 163 300	4 715,7	-	246,7	-
Kotel štěpka	2 306 800	4 588,5	-	502,7	-

- Celkové náklady se sníží z 10 611 700 Kč na 10 315 800 Kč, tedy přibližně o 3 %

Tepelný bilanční model - shrnutí

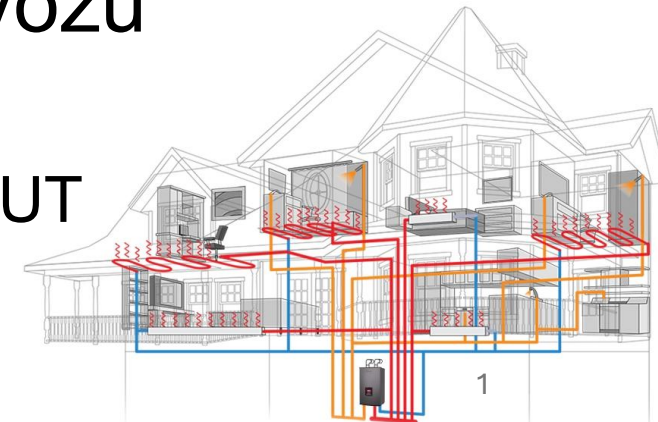
- **Vstupem** do modelu jsou data o **spotřebě tepla a počasí**
- Je možno volit poměrně **vysoký počet parametrů** popisujících zdroje a způsob jejich provozu
- Tepelný bilanční model umožňuje určovat dodávky tepla z **kombinace zdrojů**
- Bere v úvahu vazbu jednotlivých prvků v systému nebo teplotní hladinu dodávaného tepla
- Rozhodnutí o nasazování zdrojů je prováděno na základě variabilních nákladů na výrobu tepla
- Model může nalézt uplatnění při
 - Analýze návrhu složení tepelných zdrojů v systému
 - Vyhodnocování dopadu změny některých parametrů na soustavu
 - Vyhodnocení vlivu úpravy složení zdrojů na jejich využití

Prediktivní systémy

Při řízení výroby tepla v lokální distribuční soustavě s možností ostrovního provozu

Pavel Sláma, Petr Jančík, Václav Papež; ČVUT

Praha, 12. 11. 2024



Prediktivní systémy – úvod

Účel řešení prediktivních systémů v tepelných sítích.

Hlavní důvody pro jejich implementaci jsou

Optimalizace výroby a distribuce energie: Prediktivní systémy mohou analyzovat data z různých zdrojů (např. počasí, spotřeba energie) a předvídat budoucí potřebu energie. To umožňuje efektivnější plánování výroby a distribuce, což snižuje náklady a zvyšuje spolehlivost systému.

Údržba a prediktivní diagnostika: Pomocí analýzy dat ze senzorů a dalších zdrojů mohou prediktivní systémy identifikovat potenciální problémy a poruchy v infrastruktuře dříve, než dojde k selhání. To umožňuje plánovat údržbu proaktivně, minimalizovat neplánované odstávky a prodlužovat životnost zařízení.

Integrace obnovitelných zdrojů energie: Prediktivní systémy mohou pomoci při integraci obnovitelných zdrojů energie, jako je solární a větrná energie, do energetických sítí. Tím, že **předpovídají produkci energie** z těchto zdrojů, mohou lépe vyrovnávat nabídku a poptávku **a zajišťovat stabilitu sítě.**

Zvýšení energetické účinnosti: Analýza dat a predikce mohou vést ke zlepšení energetické účinnosti v celém systému, od výroby přes distribuci až po spotřebu. To zahrnuje optimalizaci provozu zařízení, snižování energetických ztrát a zlepšování řízení poptávky.

Prediktivní systémy – úvod

Dalšími důvody pro jejich implementaci jsou

Ekonomické přínosy: Prediktivní systémy mohou snížit provozní náklady tím, že umožňují přesnější plánování a snižují potřebu záložních zdrojů energie. Mohou také pomoci energetickým společnostem lépe reagovat na změny v cenách energie na trhu a optimalizovat obchodní strategie.

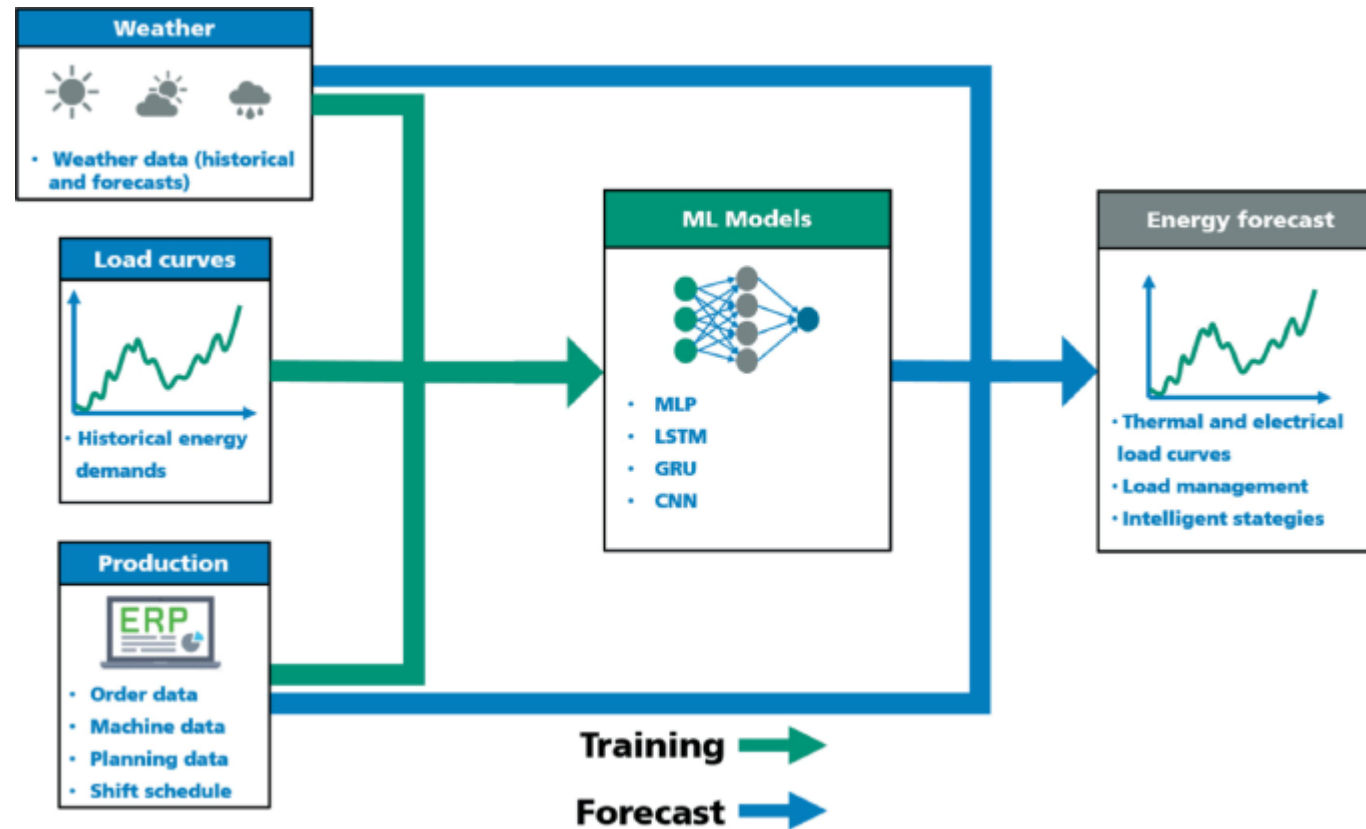
Zlepšení kvality služeb a spokojenosti zákazníků: Prediktivní systémy mohou zlepšit spolehlivost dodávek energie a snížit výskyt výpadků, což vede k vyšší spokojenosti zákazníků. Mohou také nabídnout personalizované služby a řešení na míru podle individuálních potřeb zákazníků.

Podpora rozhodování: Prediktivní analýzy poskytují důležité informace a vhledy, které mohou pomoci manažerům a operátorům při rozhodování. Tím, že poskytují data v reálném čase a předpovědi budoucích trendů, umožňují efektivnější řízení energetických systémů.

Ochrana životního prostředí: Efektivní řízení a optimalizace energetických systémů přispívají k snížení emisí skleníkových plynů a dalších znečišťujících látek, což má pozitivní dopad na životní prostředí.

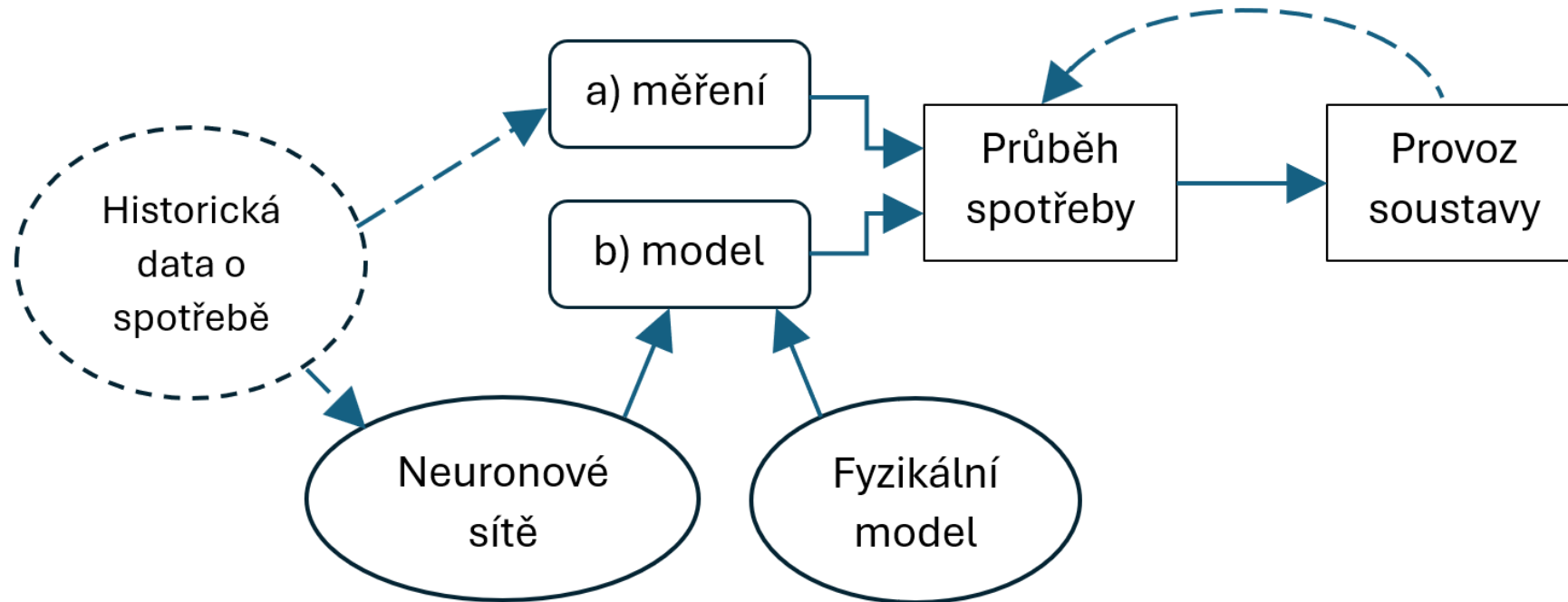
Celkově přináší prediktivní systémy v energetice širokou škálu výhod, které zlepšují efektivitu, spolehlivost a udržitelnost energetických systémů.

Prediktivní systémy – princip funkce



Prediktivní systémy – princip funkce

Simulace provozu tepelné soustavy



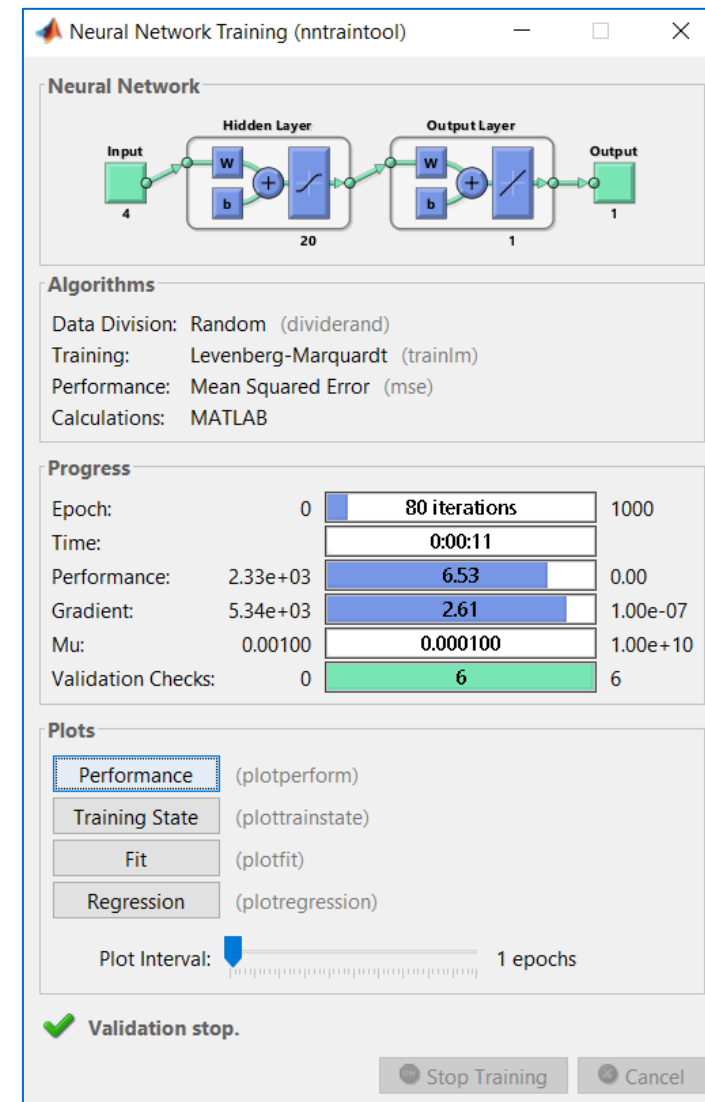
Prediktivní systémy – princip funkce

Fyzikální model, např. Simscape

- Výpočet pracuje s fyzikálními parametry budovy, a to i např. ve fázi návrhu bez znalosti historických spotřeb. Lze modelovat různé typy objektů.
- Není však zaručeno, že budou zahrnuty všechny vlivy → menší přesnost predikce pro složitější případy

Matematický model založený na strojovém učení, např. neuronové sítě

- Na základě historicky naměřené spotřeby predikuje vývoj spotřeby v budoucím období. Pro správně vyvinutý model je přesnost velmi vysoká.
- Bez naměřených dat není model funkční, proto lze počítat s jen existující, nebo typově totožnou budovou.



Prediktivní systémy – princip funkce neuronových sítí

Konstantní parametry v průběhu měření

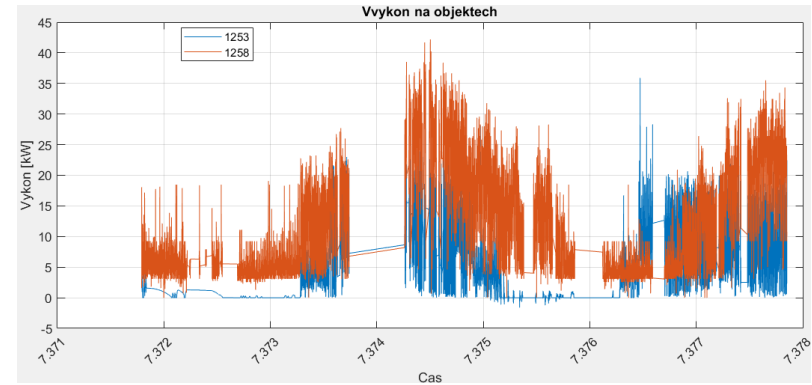
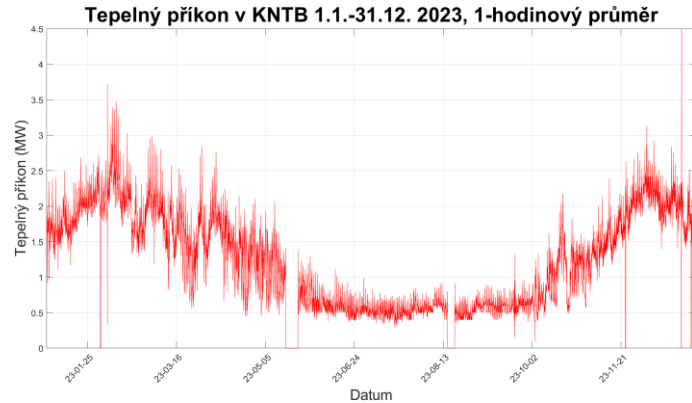
- Základní vlastnosti zkoumaných objektů – typ budovy, umístění, napojení na teplovody, konstrukce, stav, orientace, *sociální poměry*, ...



Prediktivní systémy – princip funkce neuronových sítí

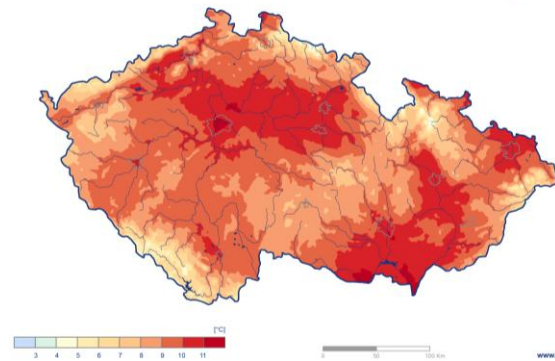
Proměnné parametry

- Naměřená spotřeba na objektech a údaje o provozu (den v týdnu, *sociální poměry*, ...)

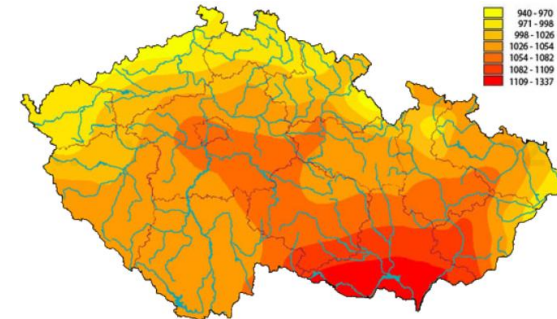
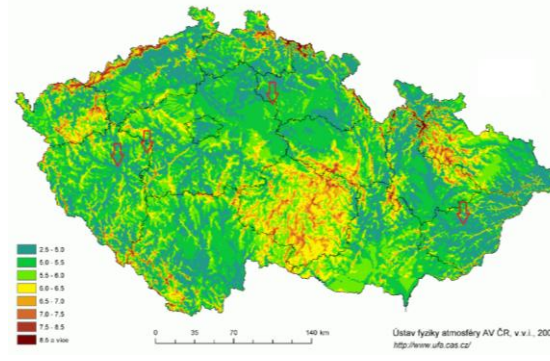


- Meteorologická data – venkovní teplota, rychlost a směr větru, sluneční osvit, ...

Průměrná roční teplota vzduchu v roce 2020



Pole průměrné rychlosti větru ve výšce 100 m nad povrchem



Prediktivní model - sběr a využití dat



Prediktivní model - sběr a využití dat

Trénovací (učící) data

Validační data

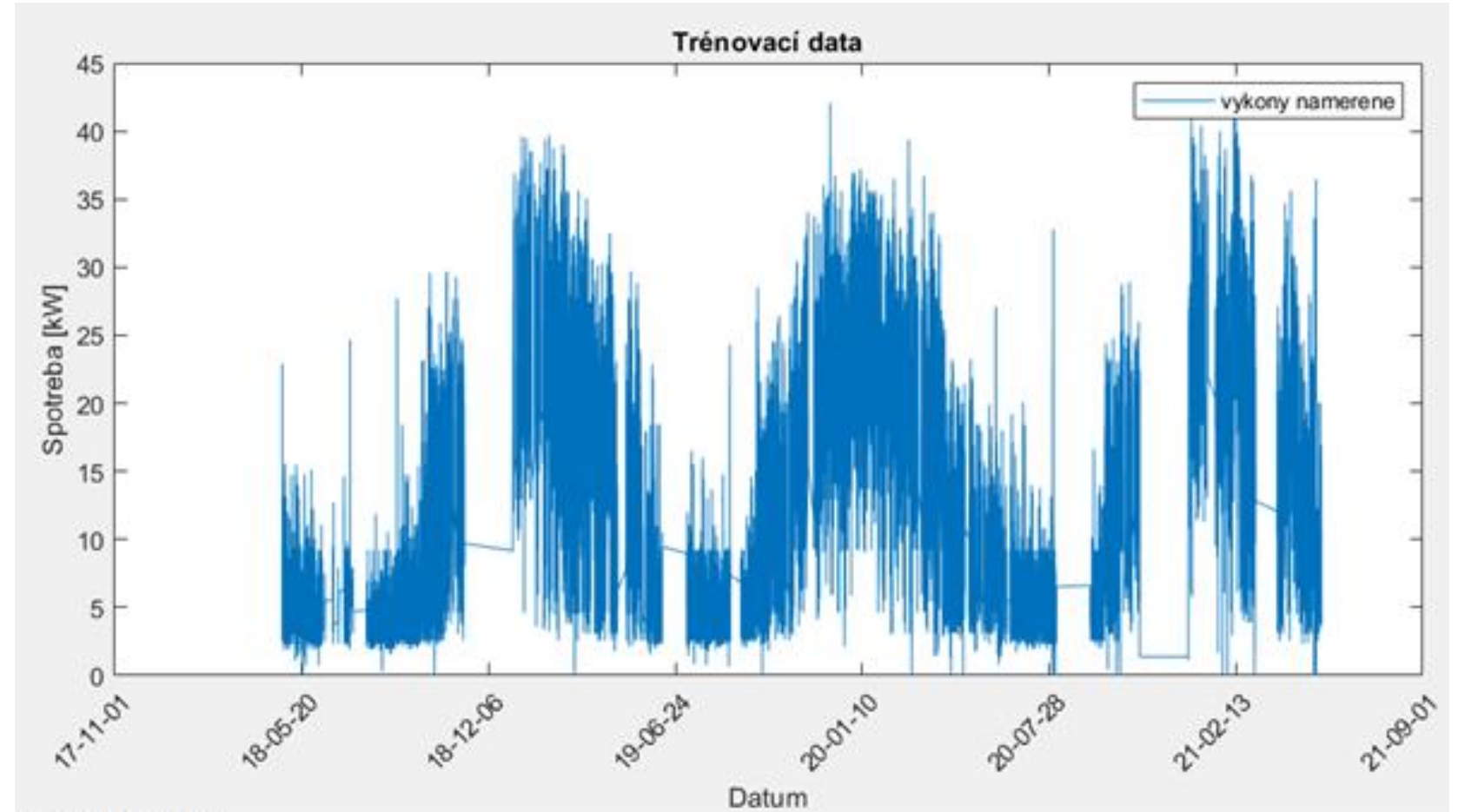
Testovací data

Prediktivní model - sběr a využití dat

Trénovací (učící) data – data za delší časový úsek, musí zahrnout všechna specifická období

Validační data

Testovací data

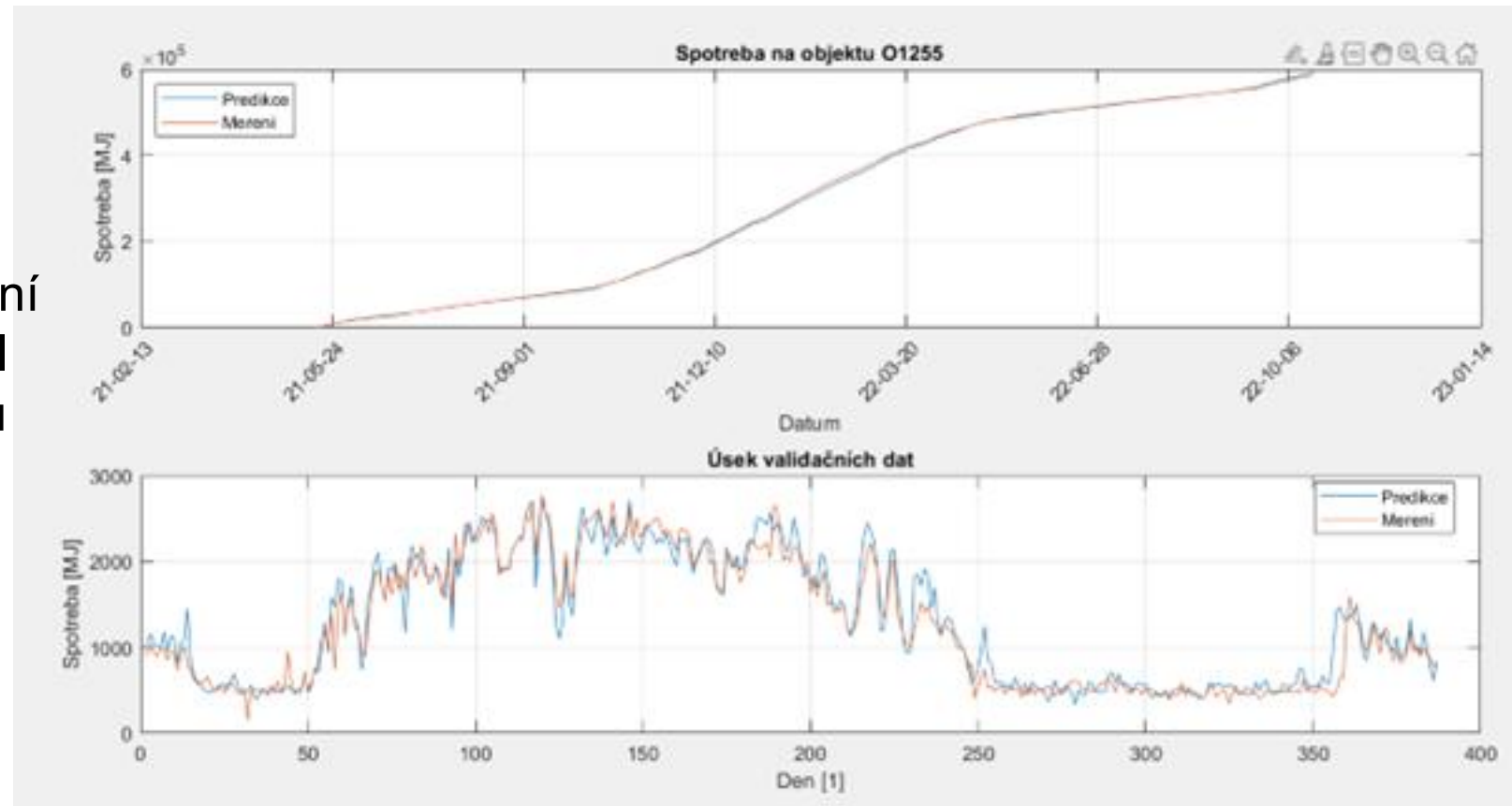


Prediktivní model - sběr a využití dat

Trénovací (učící) data

Validační data – kontrolní období, ve kterém model porovnává predikovanou a naměřenou spotřebu

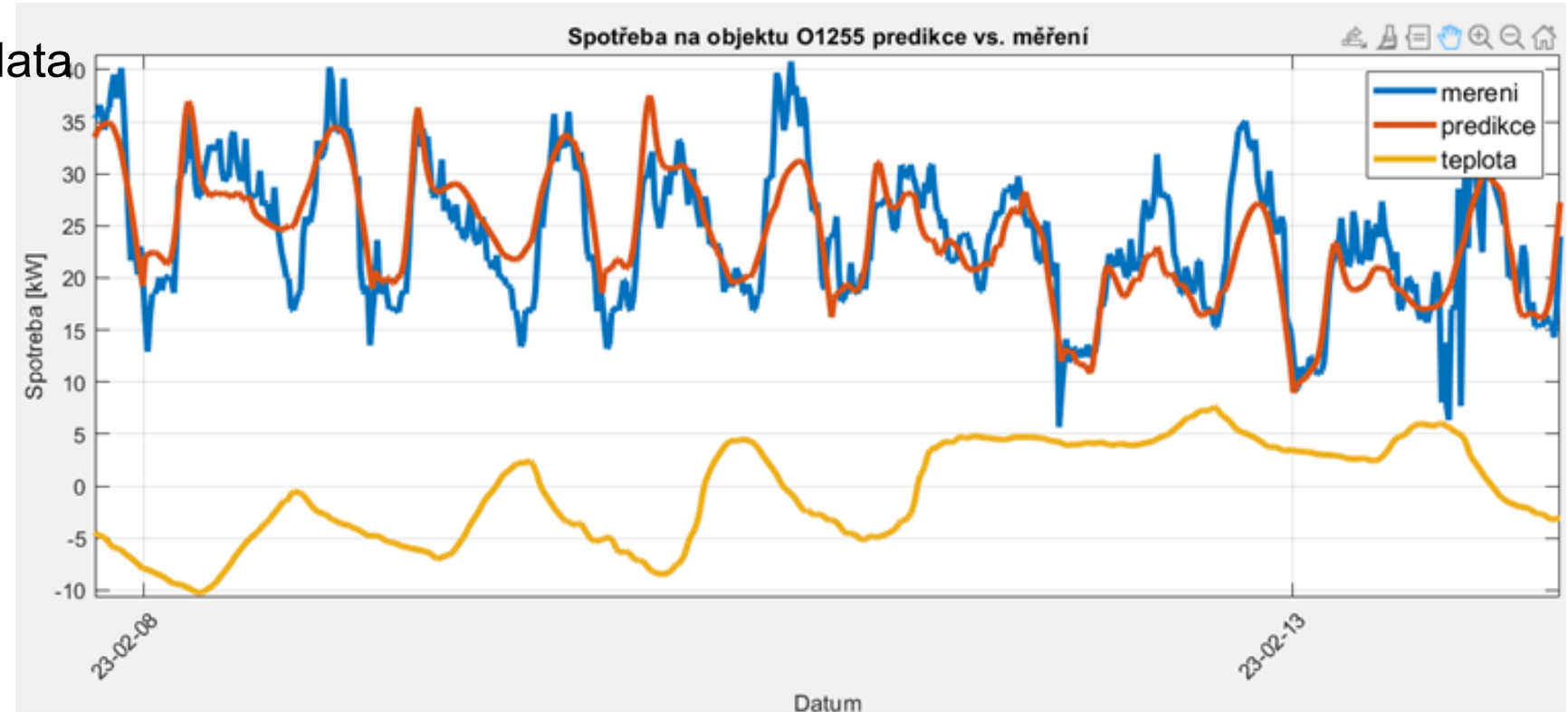
Testovací data



Prediktivní model - sběr a využití dat

Trénovací (učící) data

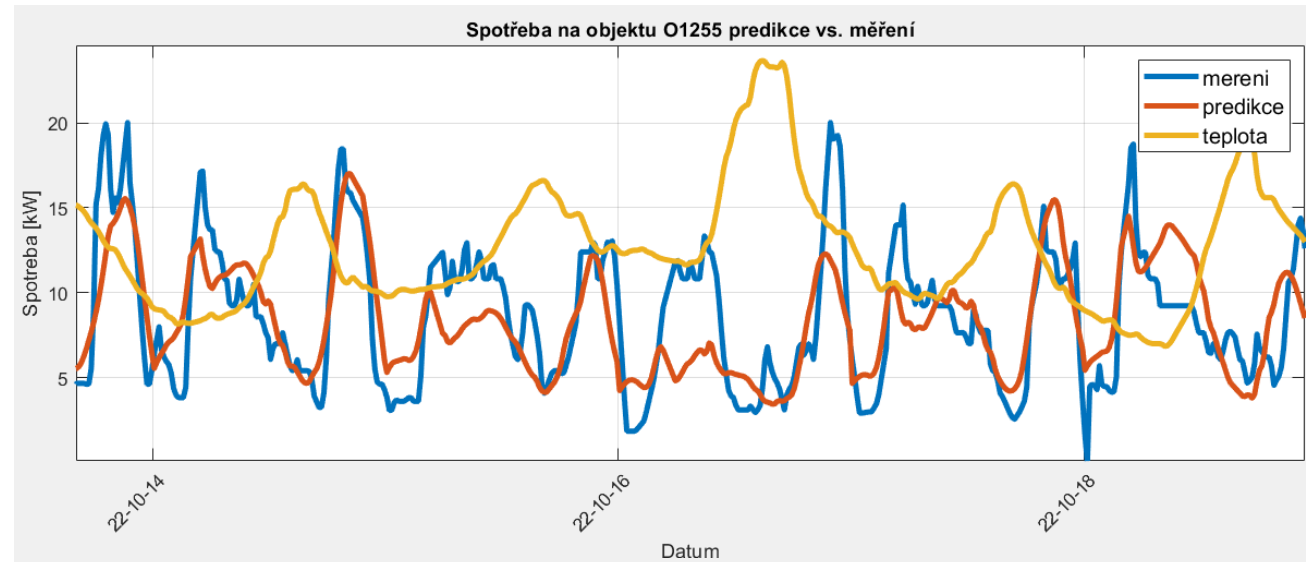
Validační data



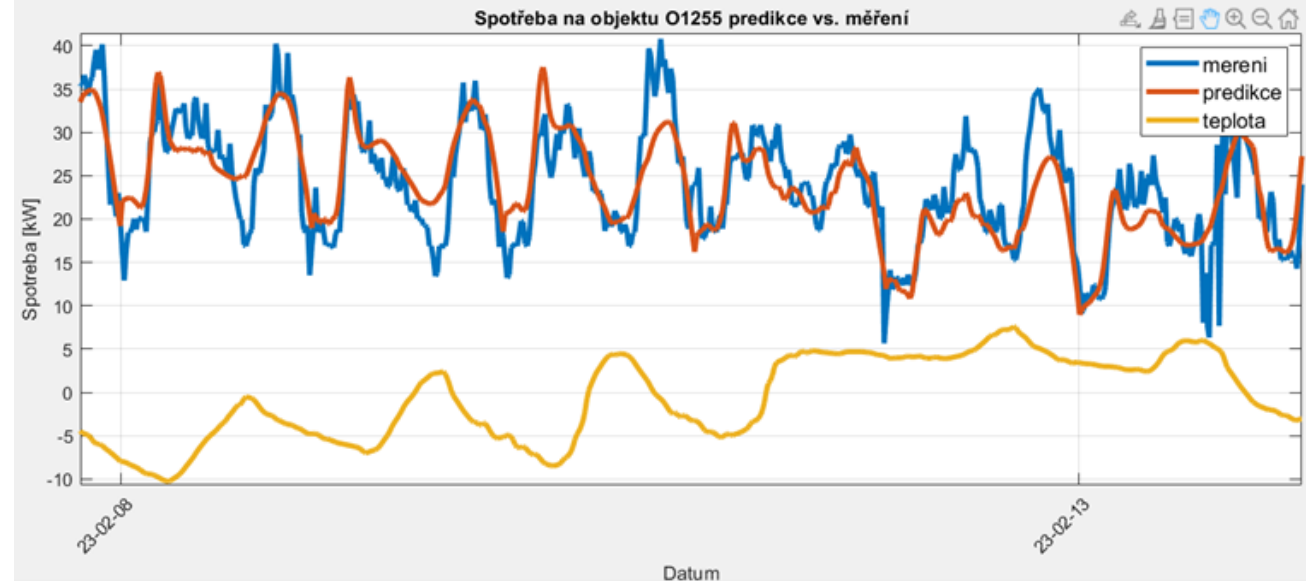
Testovací data – požadovaný časový úsek, který je možné predikovat po ukončení fáze trénování modelu

Prediktivní model - sběr a využití dat

Podzim – říjen 2022



Zima – únor 2023



Ukázka reálného řešení

Systémový návrh

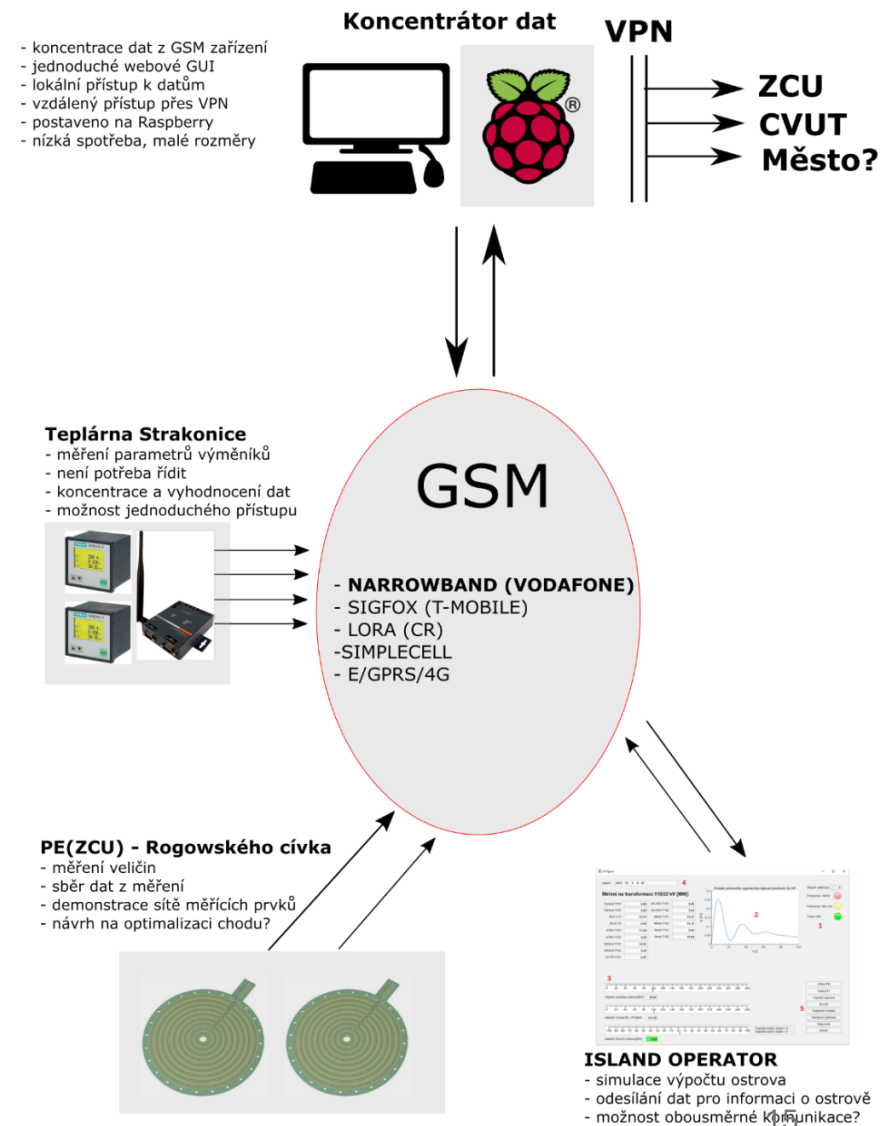
V rámci projektů ČVUT a ZČU vznikla platforma pro propojení jednotlivých mezioborových výsledků projektu:

- Výpočet přechodu do ostrovního provozu elektrárenského bloku
- Bezkontaktní měření elektrických veličin
- Systém měření pomocí prvků chytré sítě

Teplárna jako ideální partner pro instalaci vývojových měřících kitů

Pro stavbu platformy jsme použili **Open Source** nástroje pro modulárnost a jejich možnost úpravy pro potřeby projektu

- Komunikace čidel na standardu **MQTT**
- Pro přenos dat vybrány 2 technologie – **NB-IoT** (v testování) a **LoRa WAN** (aktuálně nasazena na měřeném teplárenském okrsku)
- Pro měření použity vývojové kity Quectel a Bluematic
- Koncentrace probíhá v serveru **Raspberry PI** a prostředí **Linux**
- Interpretace dat běží v nástroji **Grafana**



Vyhodnocení úspěšnosti predikce

Přesnost může být hodnocena různými způsoby:

1. Preciznost vs. Pravdivost:

1. **Preciznost** se týká těsnosti shody mezi výsledky měření. Je to míra rozptylu mezi naměřenými hodnotami.
2. **Pravdivost** znamená blízkost naměřených hodnot k určité referenční hodnotě (tzv. “správné” hodnotě).
3. V energetice je důležité dosáhnout vyváženého poměru mezi precizností a pravdivostí, aby byly predikce relevantní a spolehlivé.

2. Predikce v komplexních systémech:

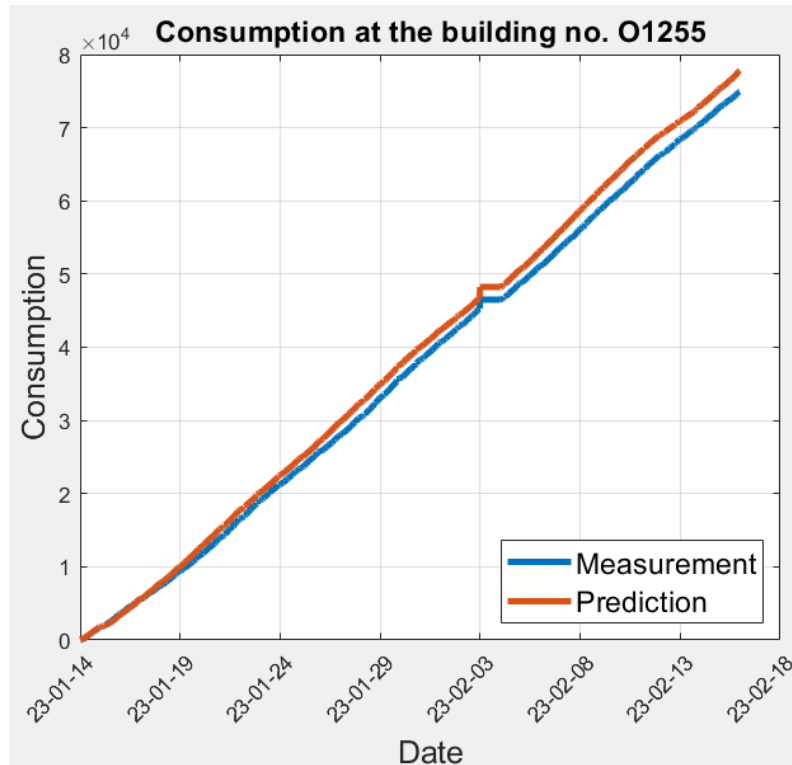
1. Vědecká predikce v energetice může být náročná, protože energetické systémy jsou často složité a závisí na mnoha proměnných.
2. Přesnost predikce závisí na míře nelinearity systému. Složitější a živé systémy jsou méně předpověditelné.
3. Například předpověď počasí má větší nejistotu kvůli chaotickým jevům, ale predikce pohybu planet ve sluneční soustavě může být přesnější.

3. Kontext a aplikace:

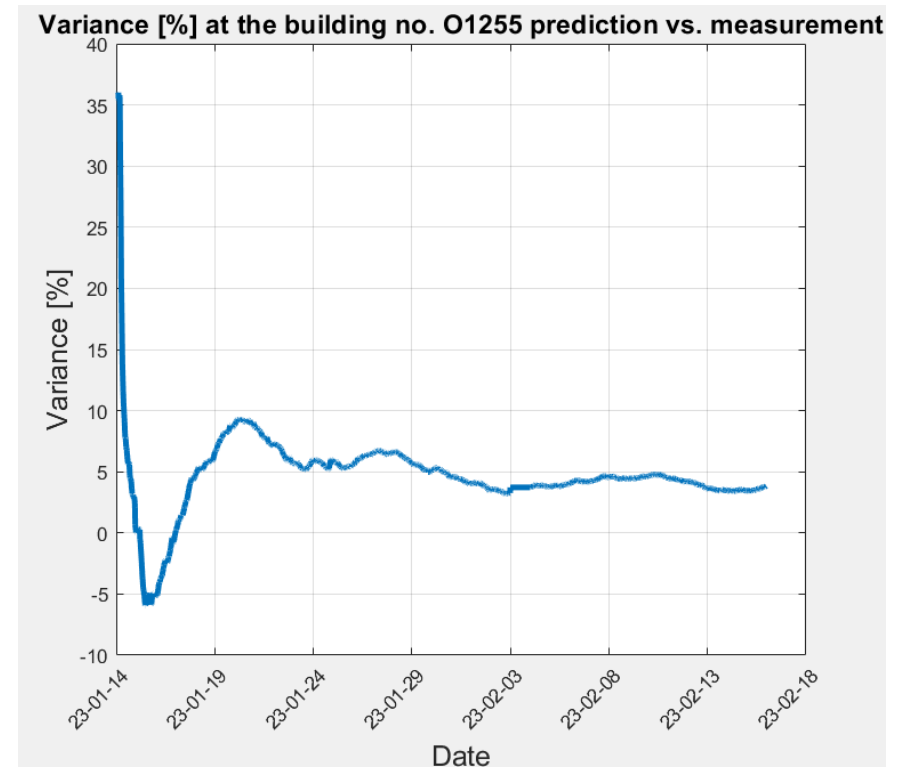
1. Přesnost se liší podle konkrétního účelu. Například:
 1. **Energetické plánování:** Vyšší přesnost je žádoucí pro dlouhodobé strategie.
 2. **Operativní řízení:** Krátkodobé predikce mohou mít menší přesnost, ale jsou stále užitečné pro denní provoz.
 3. **Obnovitelné zdroje:** Přesnost predikce větru nebo slunečního záření ovlivňuje efektivitu obnovitelných zdrojů.

Vyhodnocení úspěšnosti predikce

Graf spotřebované energie (MJ)



Rozdíl predikce a naměřených dat v procentuální odchylce



Konec

Další postup v oboru inteligentní predikcí:

- 1/ zpřesňování predikcí
- 2/ eliminace potřebných vstupních údajů na základě znalostí jejich vzájemných závislostí...
- 3/ stanovení priorit po dohodě s provozovateli.. – krátkodobé, střednědobé, dlouhodobé predikce...?

Konkrétní milníky a cíle

1. Pokročilé prediktivní modelování:

1. Budoucí aplikace AI se budou zaměřovat na ještě pokročilejší prediktivní modely.
2. Tyto modely budou schopny zpracovávat obrovské objemy dat z různých zdrojů v reálném čase a předpovídat jak krátkodobé, tak dlouhodobé trendy v poptávce po energii a výrobě.

2. Integrace s obnovitelnými zdroji:

1. AI bude hrát klíčovou roli v lepší integraci obnovitelných zdrojů energie, jako jsou větrné a solární elektrárny, do energetických sítí.
2. Pokročilé algoritmy budou schopny předpovídat výrobu energie z těchto zdrojů s vysokou přesností a pomohou tak řešit problémy s jejich variabilitou.

Konec

3. Vývoj inteligentních energetických sítí:

1. Budoucnost patří takzvaným “smart grids”, inteligentním energetickým sítím, které budou využívat AI pro efektivnější řízení energie.
2. Tyto sítě budou schopny automaticky reagovat na změny v poptávce a nabídce energie, integrovat různé zdroje energie a efektivně řešit výpadky.

4. Zlepšení energetické efektivity a snížení emisí:

1. Algoritmy AI mohou identifikovat oblasti, kde je možné šetřit energií, a pomáhat při návrhu energeticky efektivnějších systémů a technologií.

5. Kybernetická bezpečnost:

1. S rostoucím využitím AI v energetice se zvýší i důraz na kybernetickou bezpečnost.
2. AI může být využita k detekci a reakci na kybernetické útoky v reálném čase, což je klíčové pro ochranu kritické infrastruktury.

6. Udržitelnost a ekologické aspekty:

1. AI pomůže identifikovat a implementovat udržitelnější postupy v energetice, což povede k menšímu dopadu na životní prostředí.

