



MODELOVÁNÍ POLE ZEMNÍCH VRT Ů PRO SEZÓNÍ AKUMULACI OBNOVITELNÉHO TEPLA

**Tomáš Matuška, Bo řivoj Šourek
ČVUT v Praze, UCEEB**

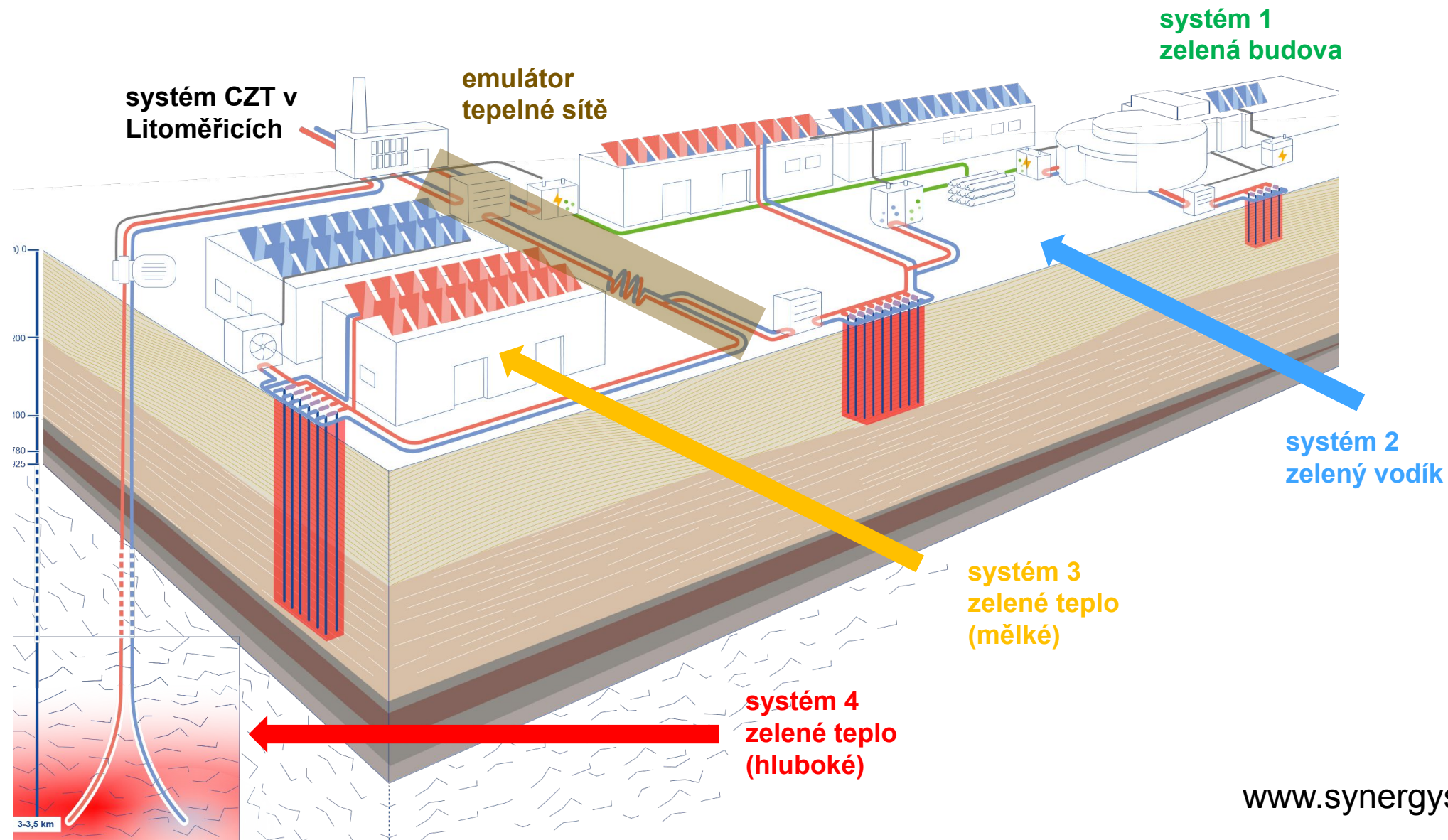
KONTEXT – PROJEKT SYNERGYS

- **komplexní energetický systém pro zásobování obnovitelným teplem**
 - modelování, koncepční návrh, projekt a výstavba
 - výzkumná infrastruktura pro navazující výzkumné projekty
- **pilotní instalace technologií v rámci ČR**
 - fototermika, fotovoltaika, FVT, tepelná čerpadla (**vysokoteplotní**)
 - unikátní hlubinný geotermální zdroj tepla (hloubka **3,5 km**)
 - využití sezónní akumulace tepla v podzemí (**vrtná pole**, BTES)
 - využití sezónní akumulace energie ve **vodíku**, využití odpadního tepla



CTU
UCEEB

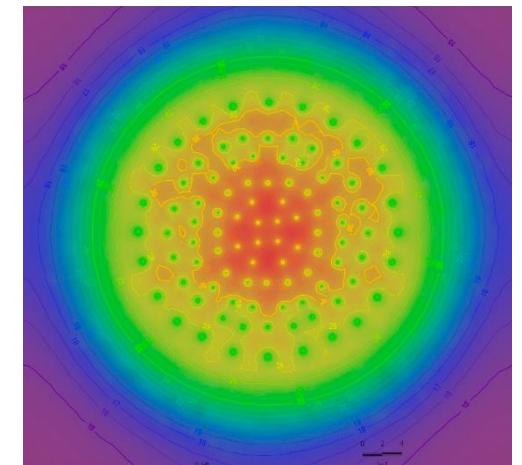
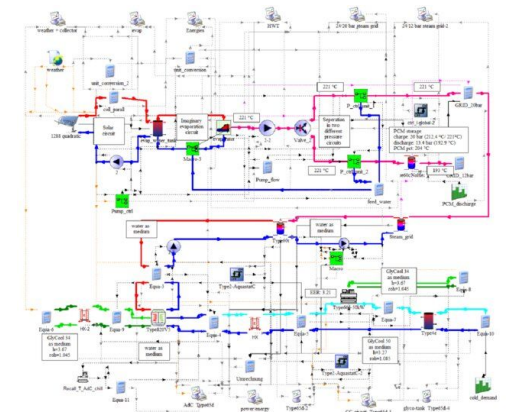
ENERGETICKÝ KONCEPT



www.synergys.cz

SIMULACE POLE ZEMNÍCH VRTŮ

- **TRNSYS (18.06)**
 - modelování komplexních energetických systémů, elektrické, tepelné, vodíkové technologie, budovy, akumulace, ..., **zemní vrty (pole vrtů)**
 - modulární propojování rozmanitých modelů, dynamický model
 - **krátký výpočetní čas, snadná změna parametrů**
- **FEFLOW (6.2)**
 - pokročilý nástroj pro podrobné modelování, teplotní profily, proudění vody
 - 3D síť, lokální zjemnění sítě, metoda konečných prvků
 - **časová náročnost, obtížná změna konfigurace**, simulace pro ustálené podmínky (dodávka tepla, odběr tepla)



MODEL VRTNÉHO POLE V TRNSYS

- **model v TRNSYS - type 557**
 - model vertikálního výměníku tepla (G. Hellstrom a kol.), metoda konečných diferencí
 - možnost definice pole vrtů: počet vrtů, délka vrtů, rozteč
 - konfigurace **U-smyčka** nebo **trubka v trubce**, geometrie (průměr)
 - materiálové vlastnosti potrubí, výplně, teplonosné látky, podloží ve vrstvách
 - model nezávisle rozvrhuje konfiguraci vrtů, pole jako válec, akumulární objem
 - **bez proudění vody**, modelování pouze přenosu tepla **vedením**
 - **bez vizualizace**, jediná teplota celého akumulárního objemu (teplotní pole není výstupem)
 - možnost napojování na další komponenty (systémové modely)
 - relativně rychlý výpočet



OTÁZKA

- reprezentuje model v TRNSYS type 557 dostatečně přesně vrtné pole pro sezónní akumulaci ?
- lze provádět spolehlivé analýzy pro návrh pole ?
- jak model ověřit ?

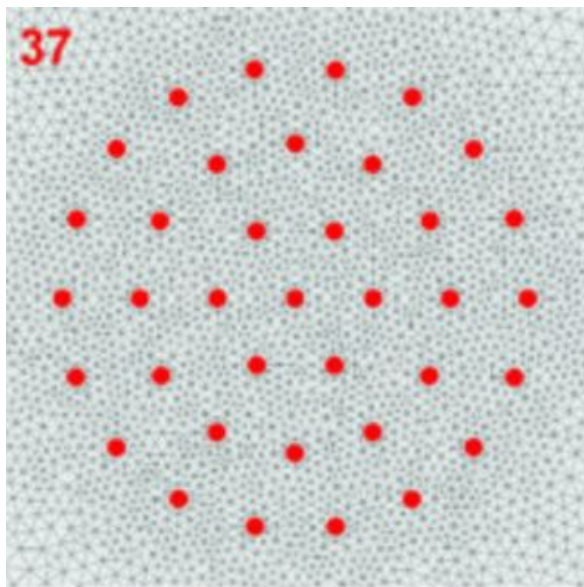


MODELOVANÝ PŘÍPAD

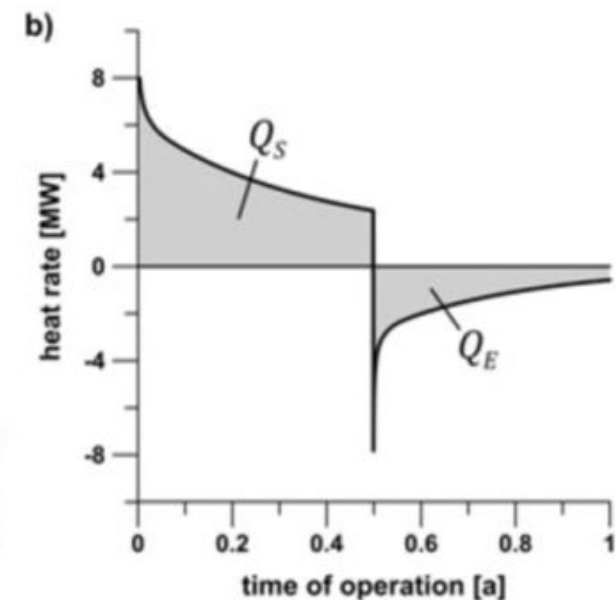
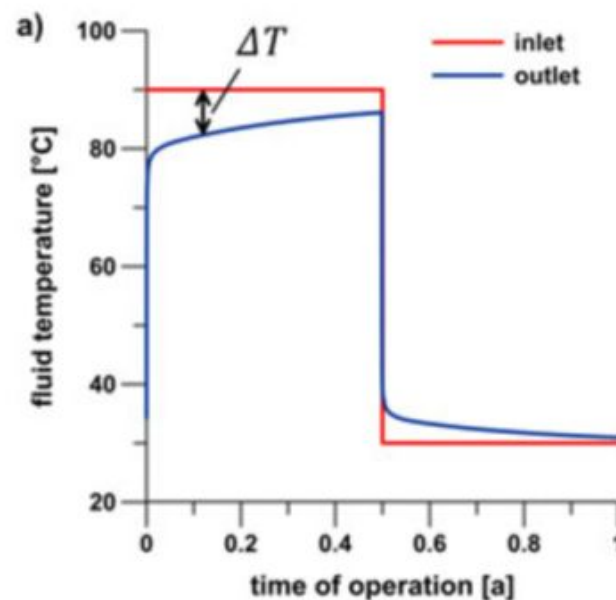
- **Welsch, B., a kol. (2016). Characteristics of medium deep borehole thermal energy storage, Int. J. Energy Res. 2016; 40:1855–1868**
 - modelování vrtného pole ve FEFLOW 6.2
 - detailní popis nastavení parametrů výměníků (konfigurace **trubka v trubce**), horninového masívu
 - statické nabíjení (6 měsíců) a vybíjení (6 měsíců)
 - vyhodnocení dodávky tepla do vrtného pole / z vrtného pole, účinnost akumulace
 - v jednotlivých letech (1 – 30)

MODELOVANÝ PŘÍPAD FEFLOW 6.2

Welsch, B., a kol. (2016). Characteristics of medium deep borehole thermal energy storage, Int. J. Energy Res. 2016; 40:1855–1868



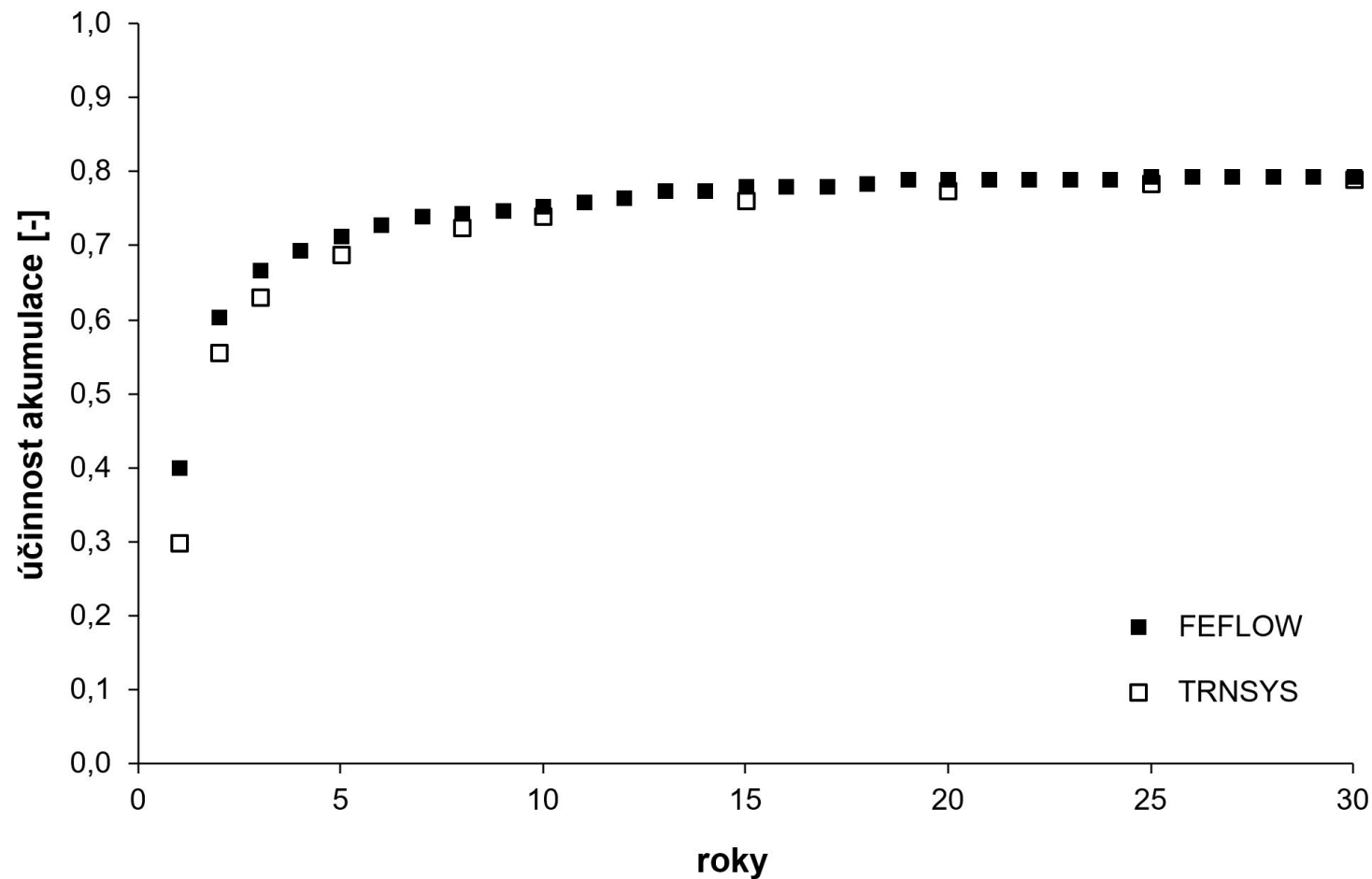
**37 vrtů, hloubka 500 m
rozteč 5 m**



6 měsíců: dodávka tepla $T_{in} = 90\text{ °C}$, průtok $532\text{ m}^3/\text{h}$
6 měsíců: odběr tepla $T_{in} = 30\text{ °C}$, průtok $532\text{ m}^3/\text{h}$

definované vlastnosti podloží, vrtů, vstrojení

POROVNÁNÍ: ÚČINNOST AKUMULACE



$$\eta = \left| \frac{Q_E}{Q_S} \right|$$

rozdíl v účinnosti po
5. roce: **1-2 %**

ZÁVĚR

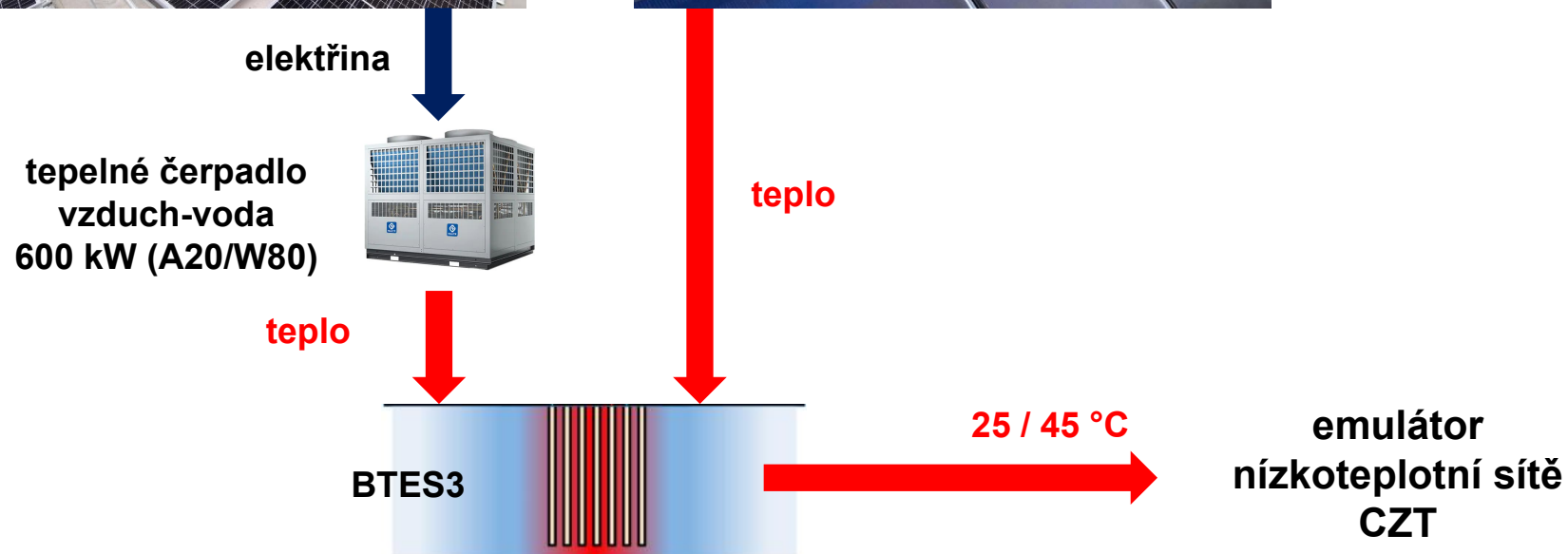
- **TRNSYS model dává uspokojivé výsledky**
 - pro návrh vrtného pole, pro sledování trendů při změně konfigurace
 - rychlost simulačního výpočtu umožňuje **rychlé parametrické a citlivostní analýzy** v komplexních energetických systémech
- **TRNSYS model neumožňuje**
 - modelování proudění vody
 - speciální konfigurace vrtů – pouze rovnoměrně rozmístěné vrty v poli
 - vizualizaci teplotního pole - výstupem pouze celková teplota pole, teplota vstupní a výstupní kapaliny

SYSTÉM 3 (ZELENÉ TEPLLO)

fotovoltaický systém
400 kWp (2000 m²)



fototermický systém
2000 m²





CTU

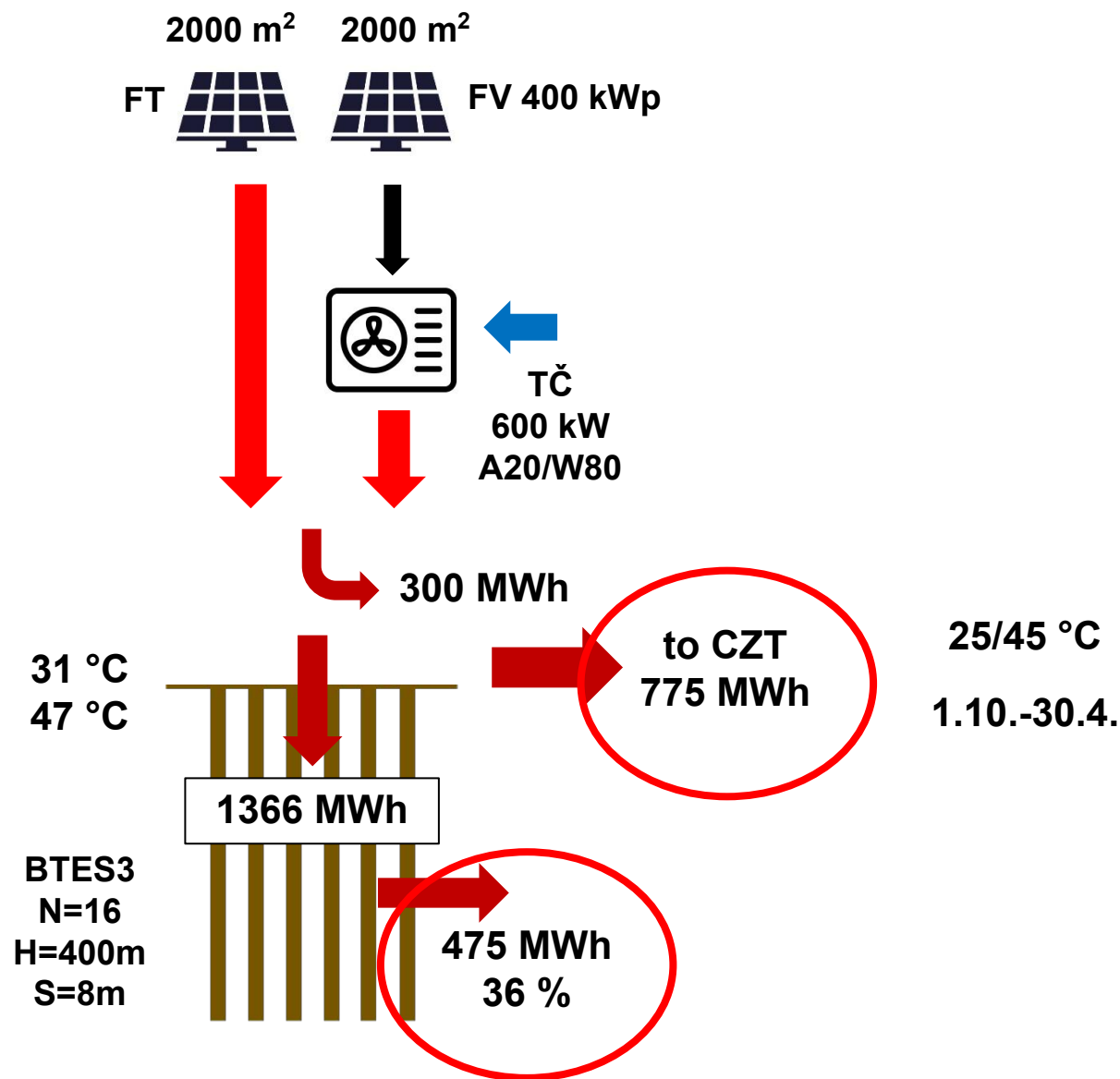
UCEEB

ANALÝZA

- **jaká je optimální konfigurace pole zemních vrtů ?**
 - z pohledu dodaného tepla do soustavy CZT (nizkoteplotní emulátor)
 - z pohledu účinnosti sezónního akumulátoru tepla (v x-tém roce provozu)
 - z praktického provádění zemních vrtů (vertikalita, cena)

- **definováno**
 - zdroje obnovitelného tepla (parametry kolektorů, FV, tepelného čerpadla, řízení)
 - technologie vrtů: U-smyčka, plastové trubky, výplň, izolace shora (štěrkový zásyp)
 - hydraulika: průměry, měrné průtoky vrty, paralelní větve
 - podloží (homogenní, typické průměrné pro areál)

ZÁKLADNÍ PŘÍPAD



počet: 16 vrtů
délka: 400 m
rozteč: 8 m

dlouhé štíhlé pole =
vysoké ztráty
nízká účinnost

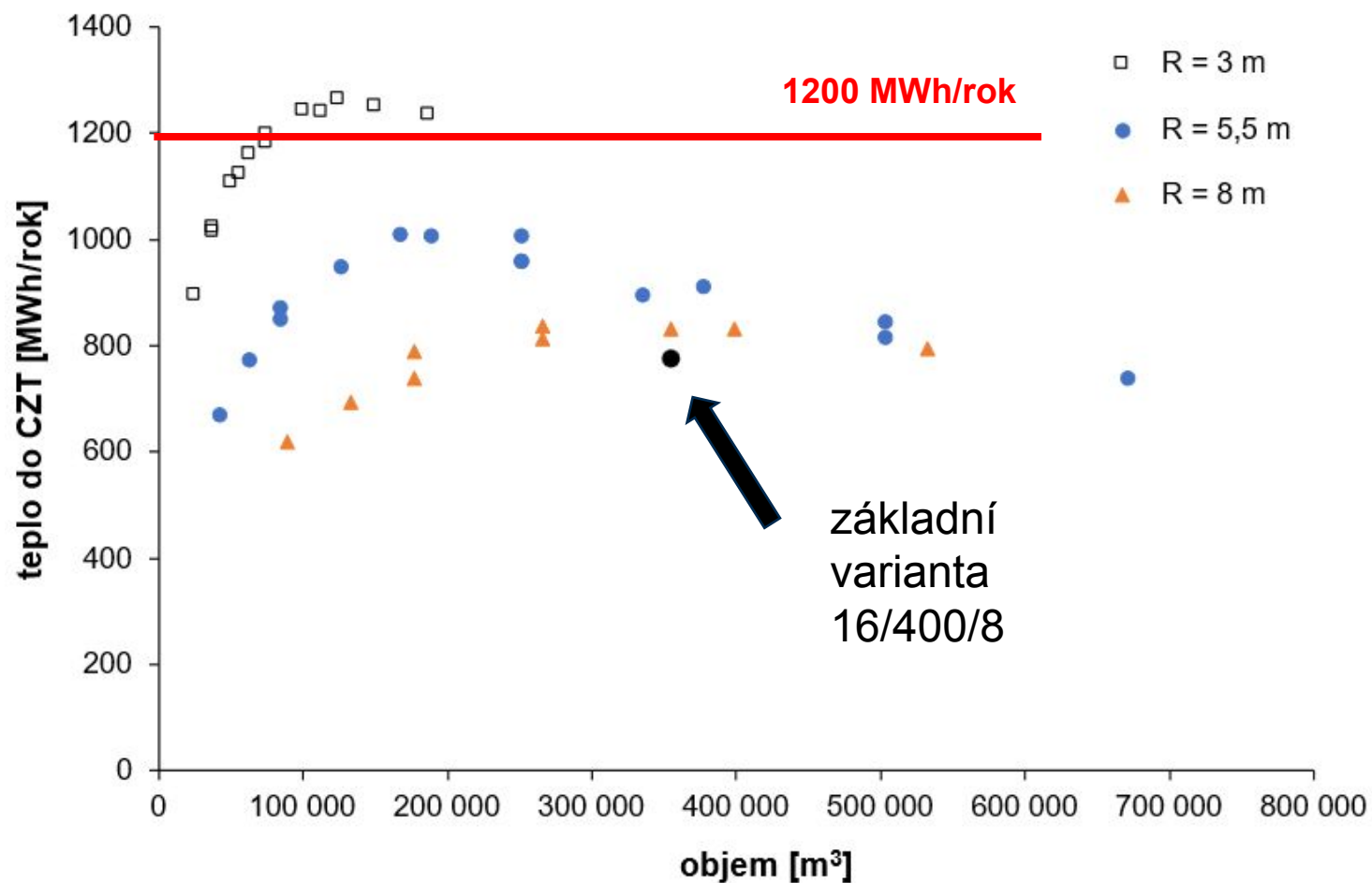
Ize jinou konfigurací navýšit
účinnost akumulace ?
teplo dodané do CZT ?

analýza
počet vrtů
délka vrtů 100 až 400m
rozteč vrtů 3 m; 5,5 m; 8 m



CTU
UCEEB

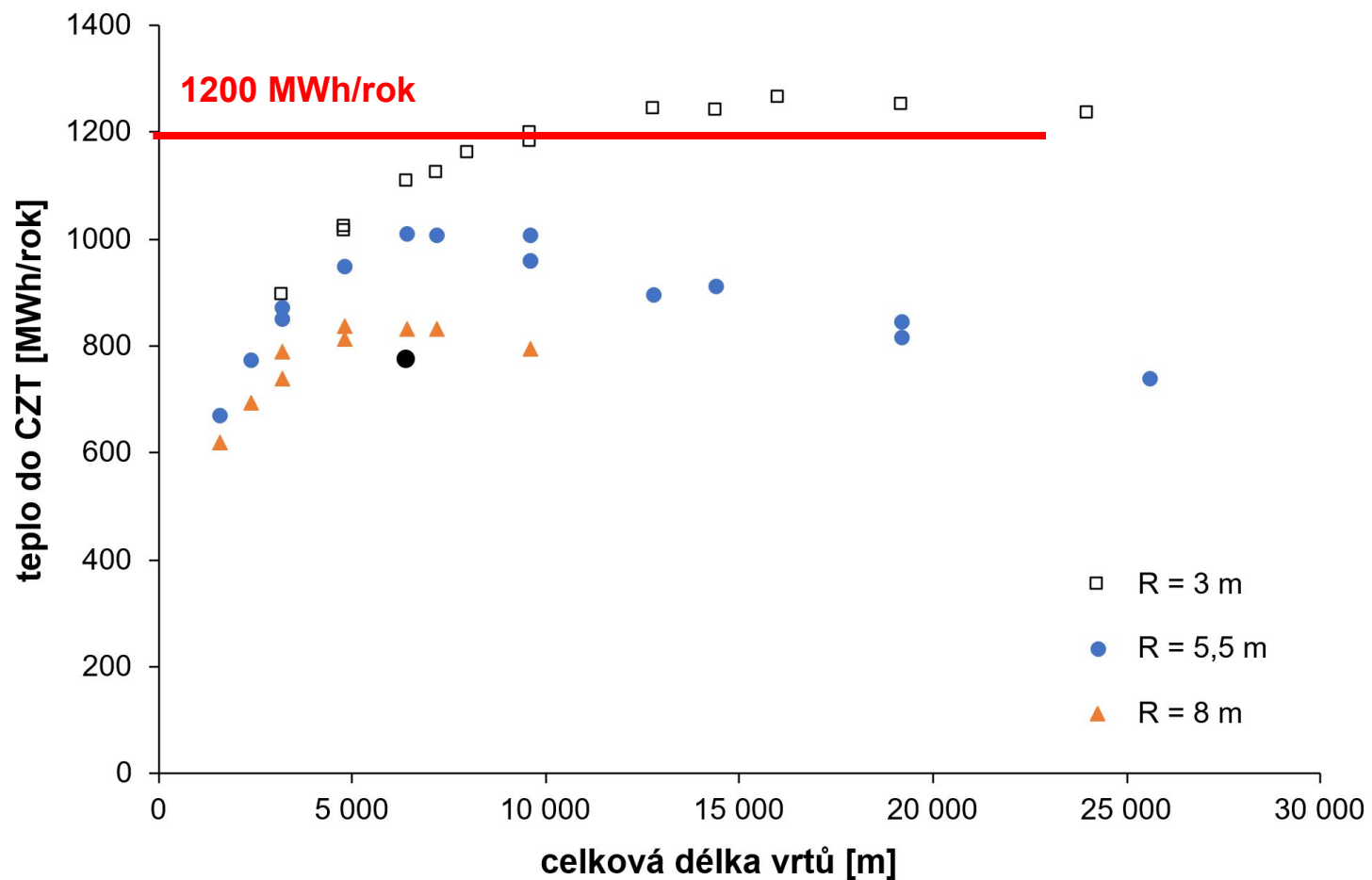
TEPLO DODANÉ DO CZT





CTU
UCEEB

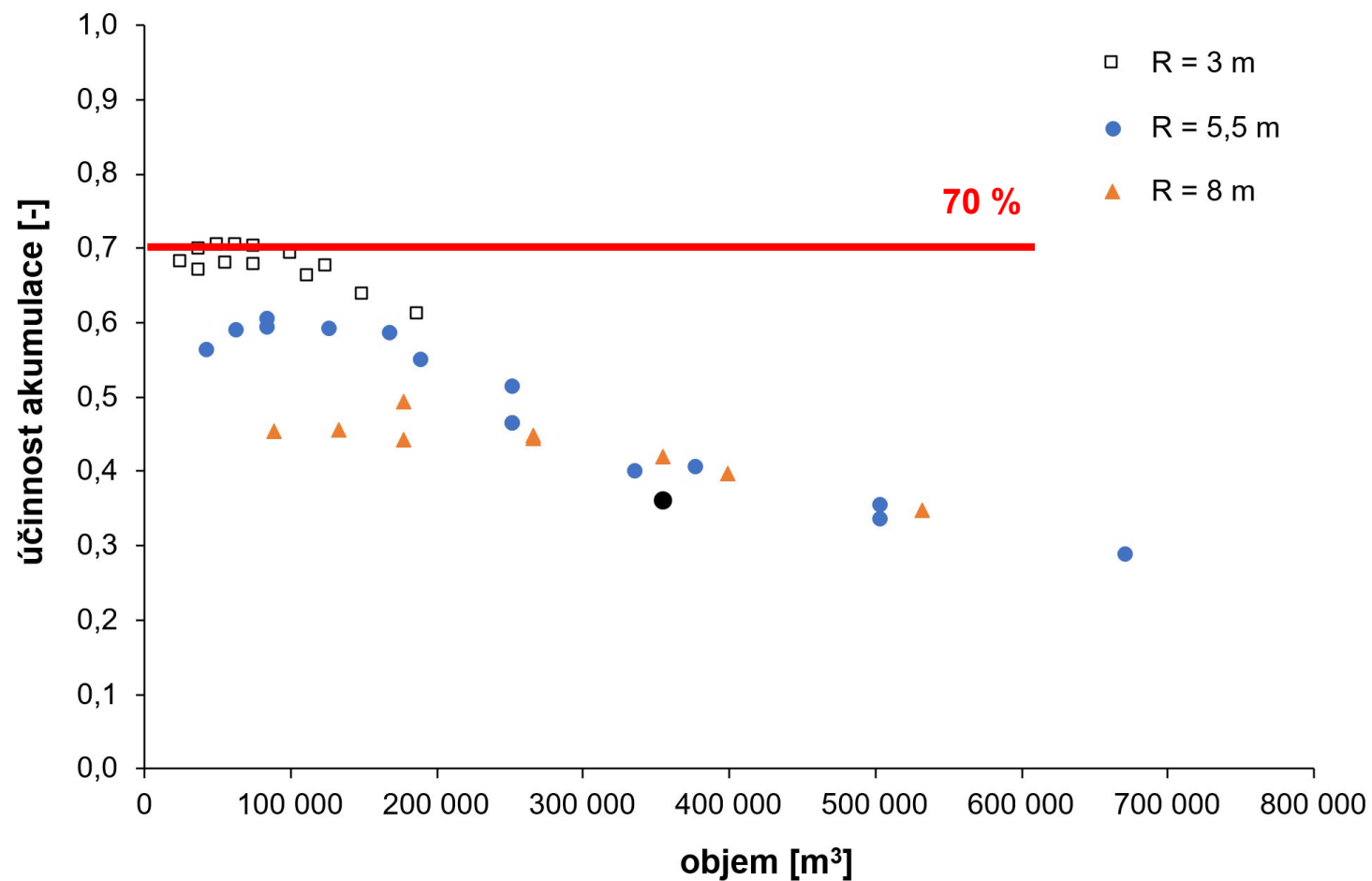
TEPLO DODANÉ DO CZT





CTU
UCEEB

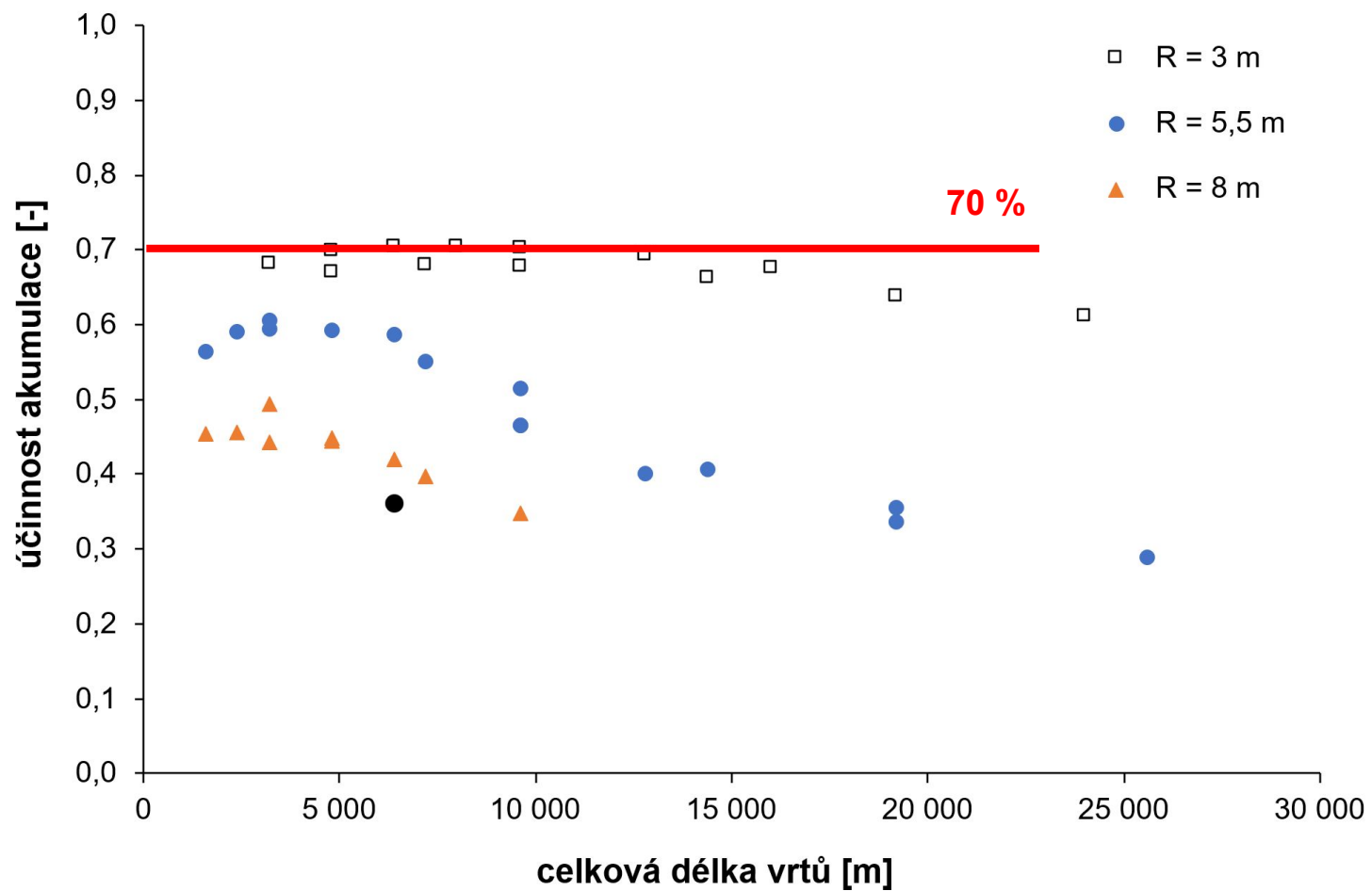
ÚČINNOST AKUMULACE





CTU
UCEEB

ÚČINNOST AKUMULACE



ZÁVĚR ANALÝZY

- **dostatečná délka vrtů:** zajišťuje teplosměnnou plochu pro dodávku a odvod potřebného výkonu bez nadměrného rozdílu teplot (efektivita SOL, efektivita FV-TČ, využitelnost pro CZT)
- **nízká rozteč:**
 - umožňuje teplotní homogenitu akumulčního objemu = efektivní využití objemu pro akumulaci
 - kombinace s délkou vrtů menší potřebný objem = dosažení využitelné provozní teploty akumulátoru = využitelnost pro CZT
- **celkový objem pole:** musí být optimální
 - příliš malý objem navyšuje teplotu akumulace = snižuje účinnost systémů, dodávku tepla do vrtů
 - příliš velký snižuje teplotu akumulace = nízká využitelnost tepla pro CZT, nízký odběr do CZT
 - obojí ovlivňuje také účinnost akumulace (přívod tepla, odvod tepla, ztráty)



CTU

UCEEB

ZÁVĚR ANALÝZY

- pro systém BTES3 navrhujeme
- počet 64 vrtů – hloubka 100 m – rozteč 3 m celkem **6400 m**
- investičně úsporná a přesto efektivní a produktivní
- účinnost akumulace: **70 %**
 - nejvyšší hodnota z variant
- dodávka do CZT: **1100 MWh/rok** (- 8 % oproti maximu při < 2/3 délky vrtů maxima)
 - maximum 1200 MWh je dosahované pro celkové délky vrtů > 9600 m



CTU

UCEEB

SYNERGYS

(2023 – 2027/2028)

tomas.matuska@cvut.cz