



**ČVUT**

ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE

**UCEEB**

UNIVERZITNÍ CENTRUM  
ENERGETICKY EFEKTIVNÍCH  
BUDOV

# **KOMBINACE FV SYSTÉMU A TEPELNÉHO ČERPADLA (PRO TÉMĚŘ NULOVOU BUDOVU)**

**Tomáš Matuška, Bořivoj Šourek, Jan Sedlář, Yauheni Kachalouski**

**Energetické systémy budov**

**Univerzitní centrum energeticky efektivních budov**

**ČVUT v Praze**



# VIZE VÝSTAVBY V EU PO ROCE 2020

- **Směrnice 2010/31/ES o energetické náročnosti budov**
  - vize výstavby po roce 2020
  - budovy s téměř nulovou spotřebou energie
  
- **definice**
  - **nízká** energetická náročnost
  - spotřeba ve **značném** rozsahu kryta z OZE
  - **v místě** či v jeho okolí



# IMPLEMENTACE DO LEGISLATIVY ČR

- **Zákon 406/2000 Sb. ve znění pozdějších předpisů**
  - převzetí definice „téměř nulové budovy“
- **Vyhláška 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov, MPO ČR**
  - nastavení hodnocení
- **zavedeny 3 ukazatele energetické náročnosti budov**
  - kvalita obálky budovy – průměrný součinitel prostupu tepla
  - účinnost systémů – dodaná energie
  - neobnovitelná primární energie



# PRIMÁRNÍ ENERGIE JAKO MĚŘÍTKO

- **neobnovitelná primární energie**
  - energie z neobnovitelných zdrojů užitá k „výrobě a dodávce“ energie (energonositelů) dodané do budovy
  - umožňuje sčítání různých energonositelů na společném základě, vyjadřujícím **zjednodušeně** míru vlivu na životní prostředí, vyčerpávání zásob, atd.
- **konverzní faktory**
  - definované v legislativě (vyhláška 78/2013 Sb.)
  - vyjadřují míru náročnosti energonositele na nPE
  - vycházejí ze statistik, politických motivací, mění se ...



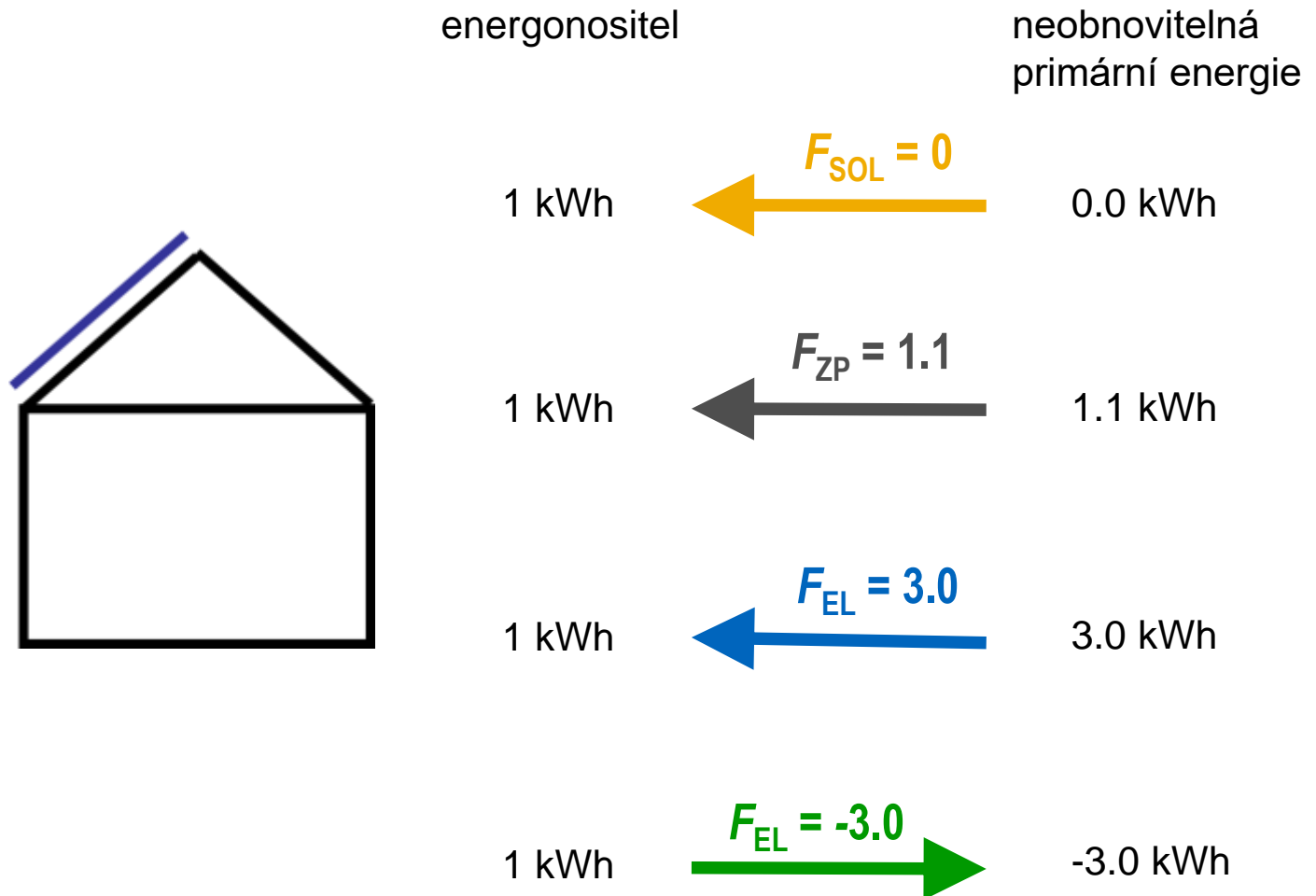
# KONVERZNÍ FAKTORY

| Energonositel   | <i>F</i><br>[kWh/kWh] |
|---|-----------------------|
| Zemní plyn, černé uhlí, hnědé uhlí                        | 1,1                   |
| Propan-butan, LPG, topný olej                             | 1,2                   |
| <b>Elektrická energie</b>                                 | <b>3,0</b>            |
| Dřevo, ostatní biomasa                                    | 0,1                   |
| Dřevěné peletky   | 0,2                   |
| <b>Energie okolní prostředí (elektřina, teplo)</b>        | <b>0</b>              |
| Elektřina – dodávka mimo budovu                           | -3,0                  |
| Teplo – dodávka mimo budovu                               | -1,0                  |
| Soustava zásobování teplem s podílem OZE < 50 %           | 1,0                   |
| Soustava zásobování teplem s podílem OZE mezi 50 % a 80 % | 0,3                   |
| Soustava zásobování teplem s podílem OZE > 50 %           | 0,1                   |

Vyhláška 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov, MPO ČR



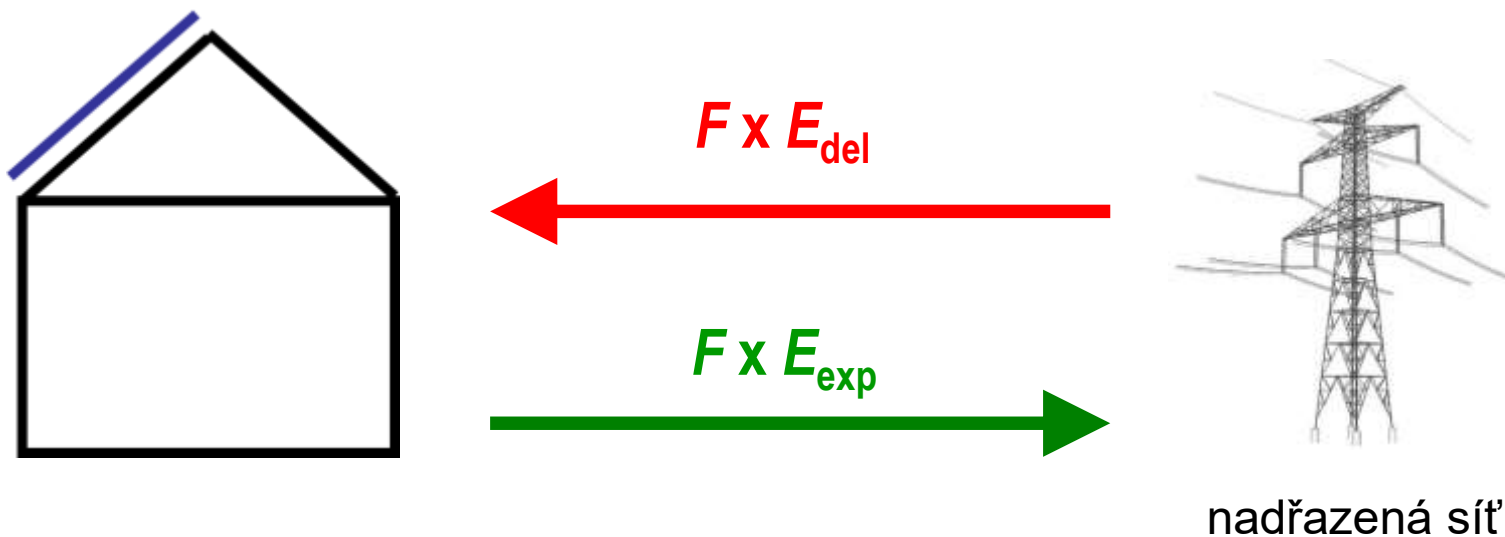
# VÝPOČET PRIMÁRNÍ ENERGIE





# BILANČNÍ VÝPOČET

- bilanční hodnocení budovy
  - vypočet z dodané (delivered) a vydané (exported) energie jednotlivých energonositelů a konverzních faktorů
  - bilance primární neobnovitelné energie **na základě ročního úhrnu**





# TÉMĚŘ NULOVÉ BUDOVY: SOUČASNÝ STAV V ČR

- nastavení hodnocení ve Vyhlášce 78/2013 Sb.
  - zcela **neodpovídá** definici „téměř nulových budov“ v zákoně
- **téměř nulový rodinný dům, téměř nulový bytový dům**
  - dobře zaizolovaný, plynový kondenzační kotel, **žádné OZE** [1]
- **téměř nulová administrativní budova**
  - dobře zaizolovaná, elektrické vytápění, **žádné OZE** [2]

[1] URBAN, M., KABELE, K. Vliv legislativních požadavků kladených na energetickou náročnost budov vzhledem k využití alternativních zdrojů energie. Sborník konference Alternativní zdroje energie 2014, str. 213-219, 2014.

[2] URBAN, M., BEJČEK, M., WOLF, P., VODIČKA, A. Koncept administrativní budovy jako budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Sborník konference Alternativní zdroje energie 2016, str. 193-200, 2016.





# TÉMĚŘ NULOVÉ BUDOVY: SOUČASNÝ STAV V EU

- **Doporučení Komise (EU) 2016/1318 ze dne 29.7.2016**
  - o pokynech na podporu budov s téměř nulovou spotřebou energie a osvědčených postupů k zajištění, aby do roku 2020 byly všechny nové budovy budovami s téměř nulovou spotřebou energie
  
- **pro rodinné domy v kontinentální oblasti (ČR) se doporučuje**
  - neobnovitelná primární energie **20 až 40 kWh/m<sup>2</sup>.rok**
  - vytápění, teplá voda, větrání, osvětlení, (vlhčení, chlazení)



# TÉMĚŘ NULOVÉ BUDOVY: DŘÍVĚJŠÍ POKUSY V ČR

- ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky, ÚNMZ 2011
  - informativní příloha
  - budova blízka nulové **nPE < 30 kWh/m<sup>2</sup>.rok**
  - vytápění (včetně větrání), teplá voda, pomocná energie, (chlazení)
- poloviční hodnota (českého) požadavku pro pasivní domy
- hodnota odpovídající vizi evropské směrnice a doporučení (již v roce 2011!)



# CO JSOU OPRAVDU (!) TÉMĚŘ NULOVÉ BUDOVY

- ambice pro „nové“ systémy vytápění
  - splnění kritéria dané doporučením Komise: 20 až 40 kWh/m<sup>2</sup>.rok
  - osvětlení – není součástí systému TZB budovy
  - cca 5 kWh/m<sup>2</sup>.rok elektrické energie ~ 15 kWh/m<sup>2</sup>.rok primární energie
  - vytápění, teplá voda, pomocná energie
  - budova blízka nulové **nPE < 5 až 25 kWh/m<sup>2</sup>.rok**
  - dnešní výstavba nPE = 120 až 200 kWh/m<sup>2</sup>.rok
  - dnešní nZEB v ČR **nPE = 100 až 160 kWh/m<sup>2</sup>.rok**



# PŘÍKLAD (VÝPOČTU) ZCELA NULOVÉHO BYTOVÉHO DOMU



- **dosažení bilanční nuly**
  - kotel na pelety, FV systém na celé ploše střechy
- **provozní náklady**
  - nákup pelet, prodej FV do sítě (0.5 Kč/kWh)  
pouze o 30% nižší oproti variantě s plynovým kotlem = **nejsou nulové**
- **investiční náklady do TZB 7x vyšší**



# ZPŮSOB HODNOCENÍ?

- **roční bilanční výpočet**
  - splnění dáno pouze o velikostí FV systému a velikostí střechy (dostupné plochy)
  - „téměř nulová budova“ **nebude** mít „téměř nulové náklady na provoz“
- **realistický (simulační) výpočet**
  - bilance systému v každém okamžiku, reálné využití místní produkce z OZE pro krytí potřeby, akumulace energie z OZE
  - „téměř nulová budova“ **bude** mít nízkou potřebu externí energie a tedy nízké náklady na provoz



# JAKÝ SYSTEM?

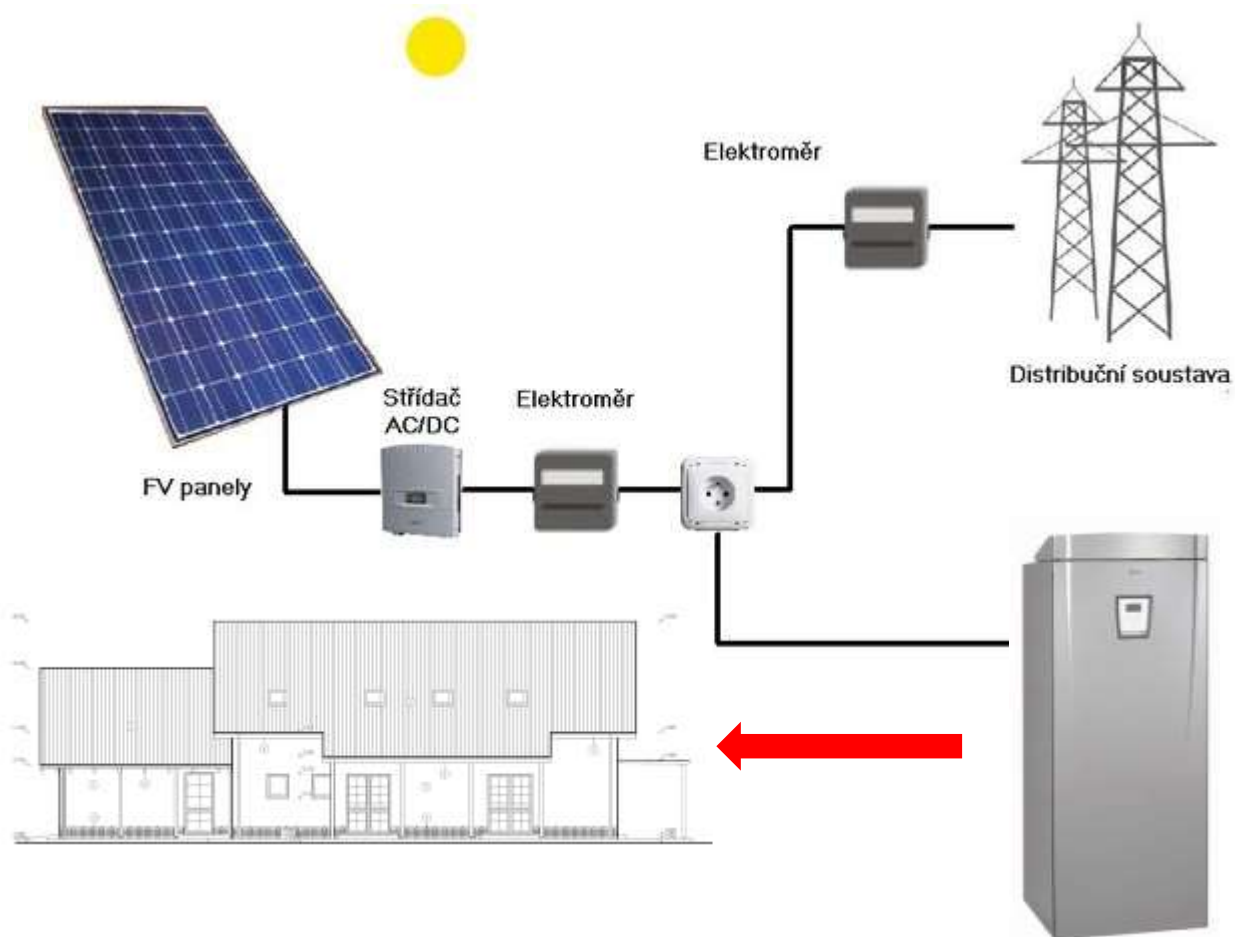


# KOMBINACE FV SYSTÉMU A TEPELNÉHO ČERPADLA

- **elektricky poháněná tepelná čerpadla**
  - nízké provozní topné faktory pro přípravu teplé vody
  - v úsporných domech je vysoký podíl tepla na ohřev vody
  - náročná na primární neobnovitelnou energii
  - náročná na emise CO<sub>2</sub>
  
- **kombinace s FV systémem**
  - snížení spotřeby elektrické energie ze sítě
  - snížení energetické náročnosti systému
  - zvýšení místního využití produkce FV systému



# KOMBINACE FV SYSTÉMU A TEPELNÉHO ČERPADLA







# MODELOVÝ DŮM

- **energeticky pasivní rodinný dům Hamry u Hlinska**
  - tepelná ztráta 4.5 kW, vytápěná plocha 190 m<sup>2</sup>, objem 935 m<sup>3</sup>
  - podlahové vytápění 40/35 °C, větrací jednotka, atd.
  - 4 osoby á 50 l/os.den (45 °C)



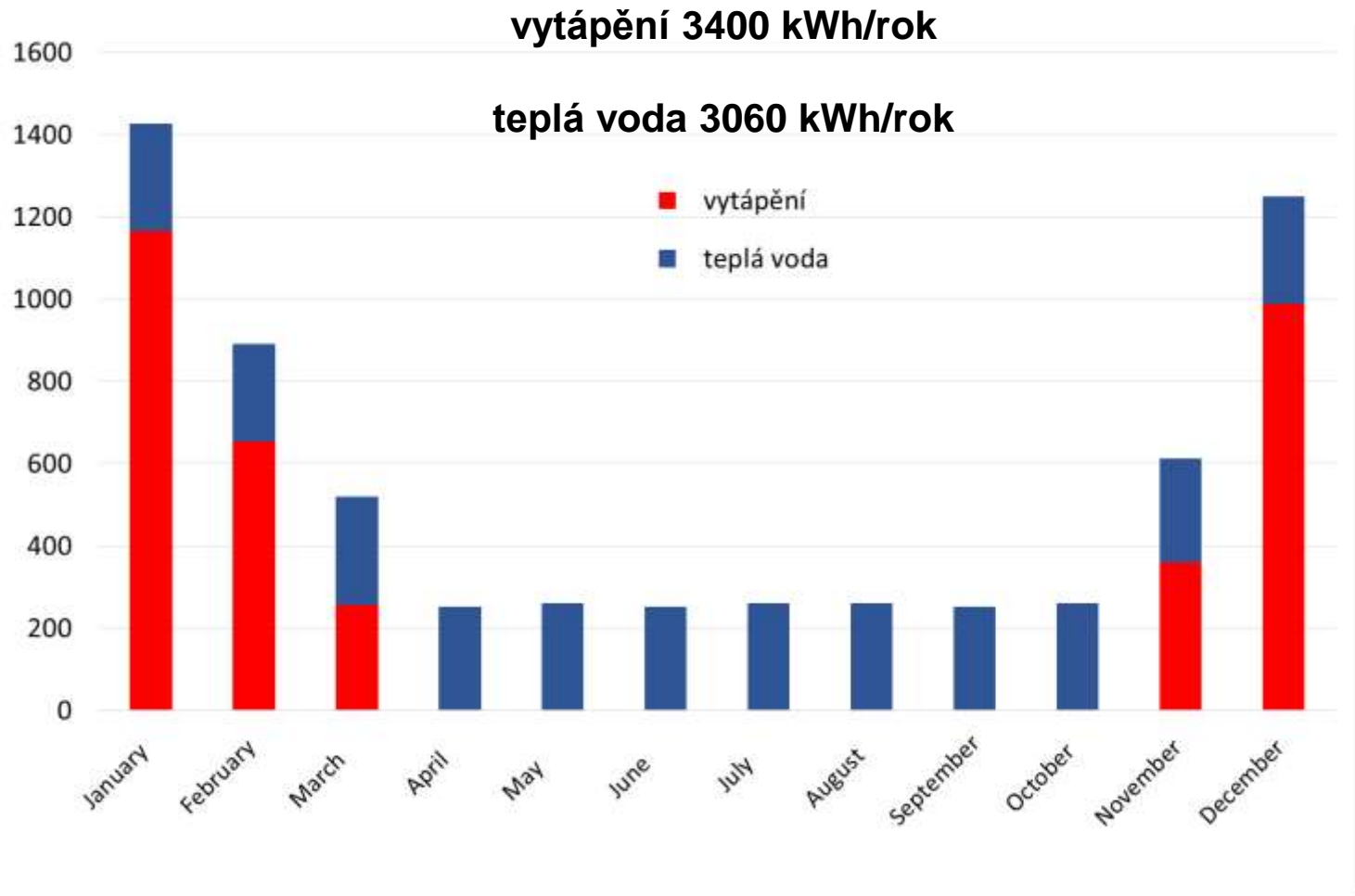


# MODELOVÝ DŮM





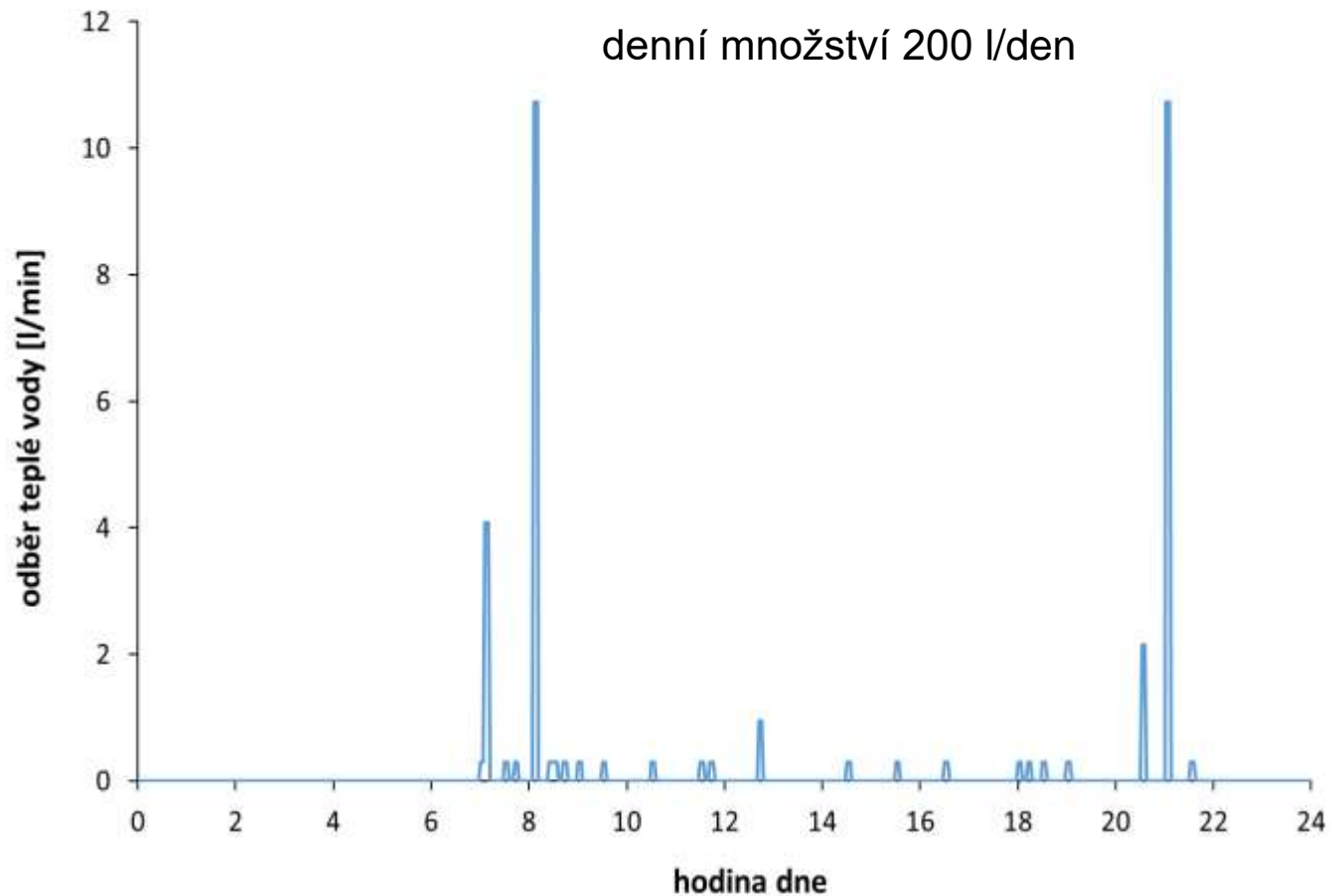
# BILANCE POTŘEBY TEPLA





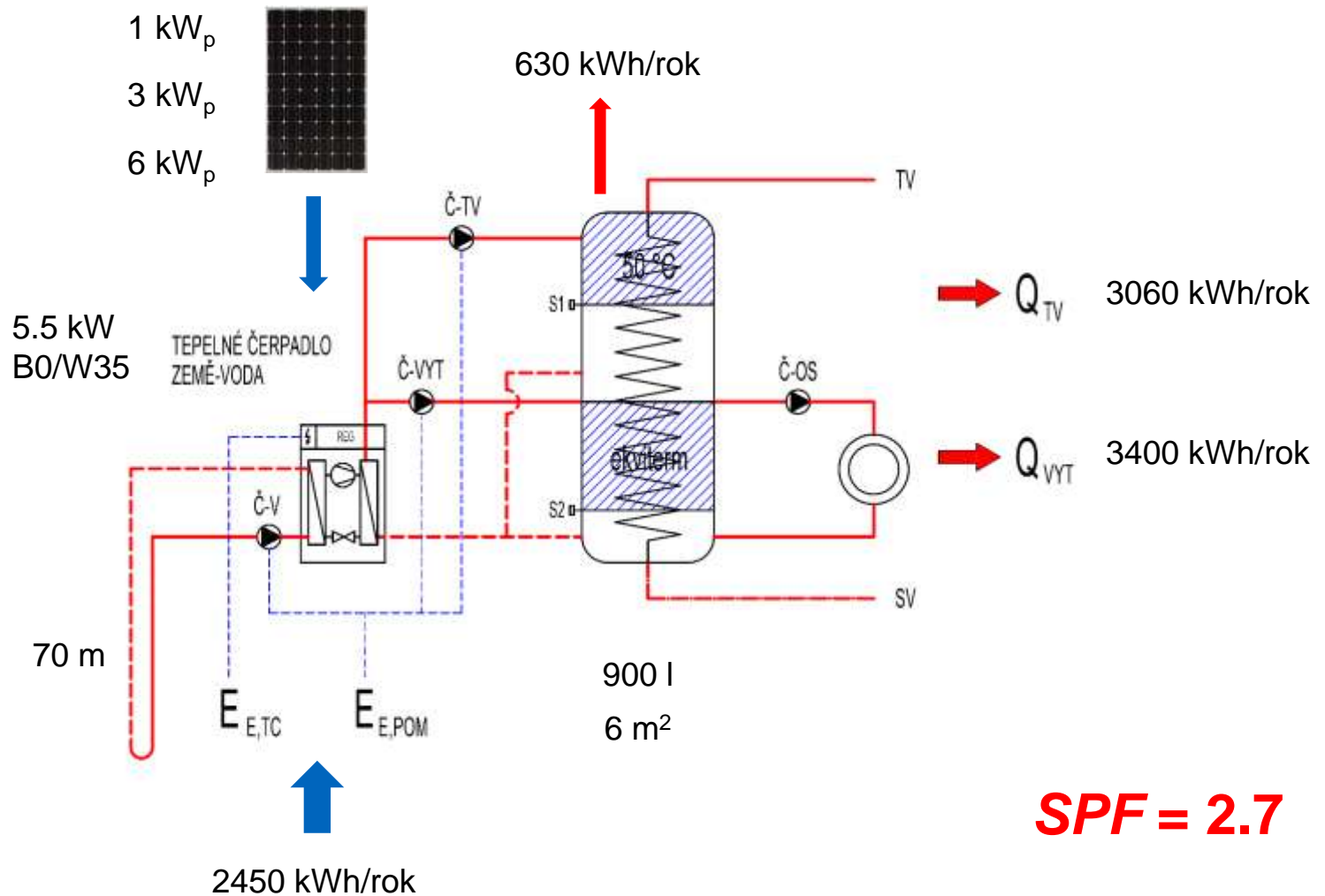
# ODBĚROVÉ CHARAKTERISTIKY – TEPLÁ VODA

teplota odběru 45 °C  
denní množství 200 l/den





# KONVENČNÍ KOMBINACE PRO VYTÁPĚNÍ A PŘÍPRAVU TEPLÉ VODY





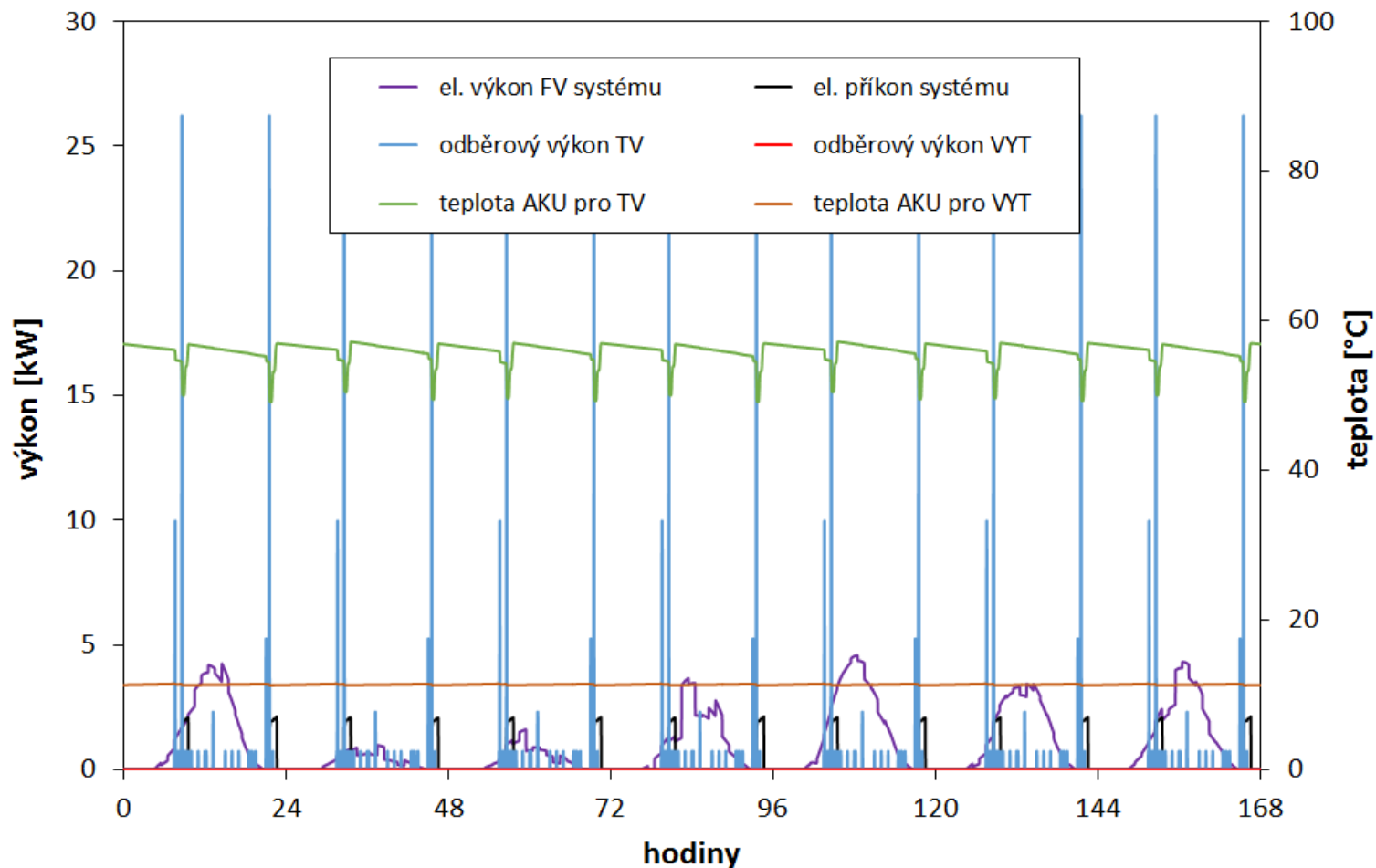
# ANALÝZA

| Parametr                      | Varianta bez FV | Varianta 1 kW <sub>p</sub> | Varianta 3 kW <sub>p</sub> | Varianta 6 kW <sub>p</sub> |
|-------------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| $W_{el}$ [kWh/rok]            | 2446            | 2370                       | 2217                       | 2061                       |
| SPF systému [-]               | 2.7             | 2.7                        | 2.9                        | 3.1                        |
| Solární pokrytí $f_{FV}$ [%]  | -               | 3                          | 9                          | 16                         |
| Využití produkce $r_{FV}$ [%] | -               | 8                          | 8                          | 6                          |

- **bez vazby běhu tepelného čerpadla na výrobu FV systému**
  - odběry teplé vody – provoz tepelného čerpadla mimo dobu produkce fotovoltaické elektřiny
  - odběry tepla pro vytápění – v zimě, v noci

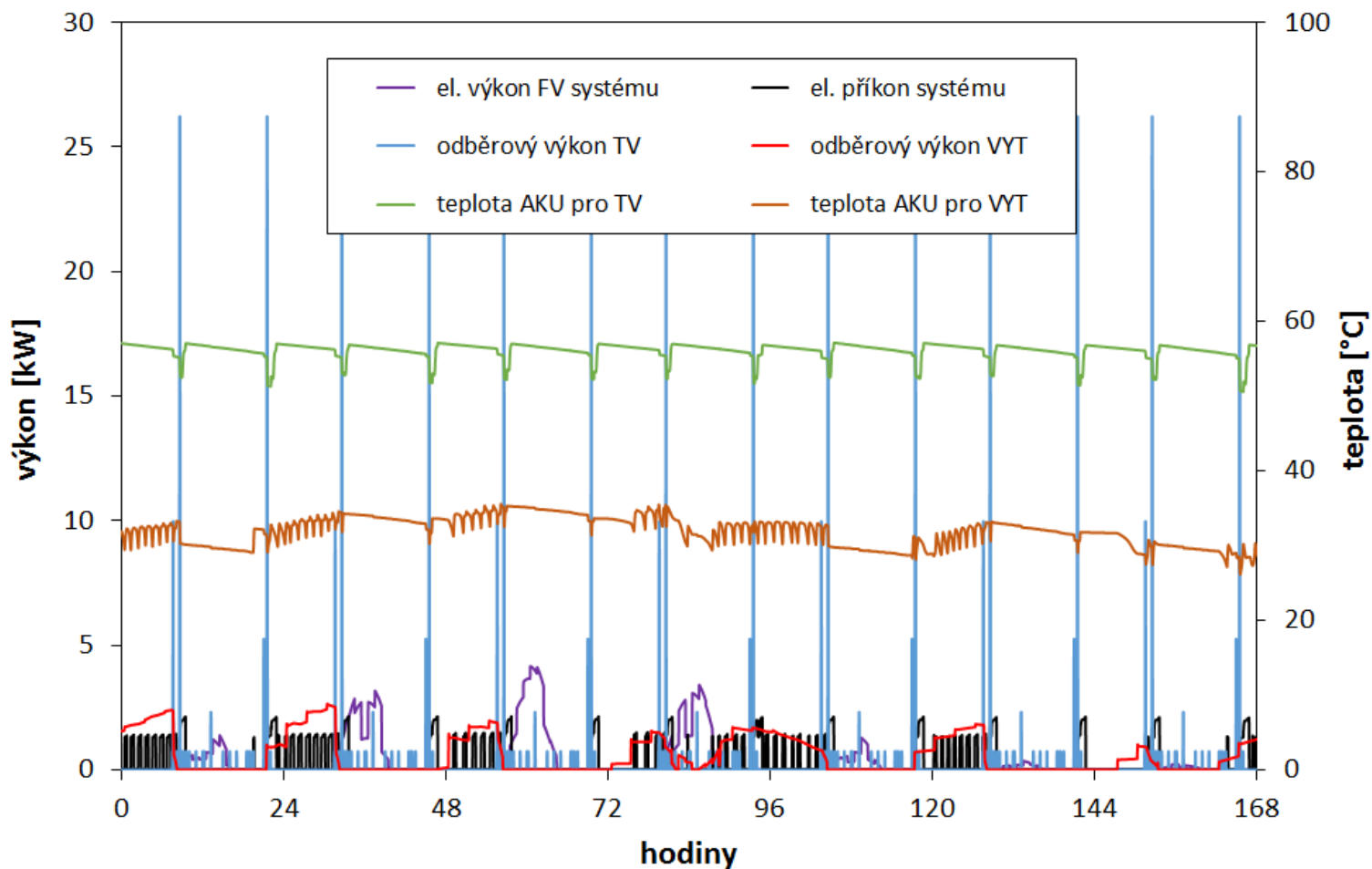


# KONVENČNÍ KOMBINACE S FV SYSTÉMEM 6 kW<sub>p</sub> - LÉTO





# KONVENČNÍ KOMBINACE S FV SYSTÉMEM 6 kW<sub>p</sub> - ZIMA

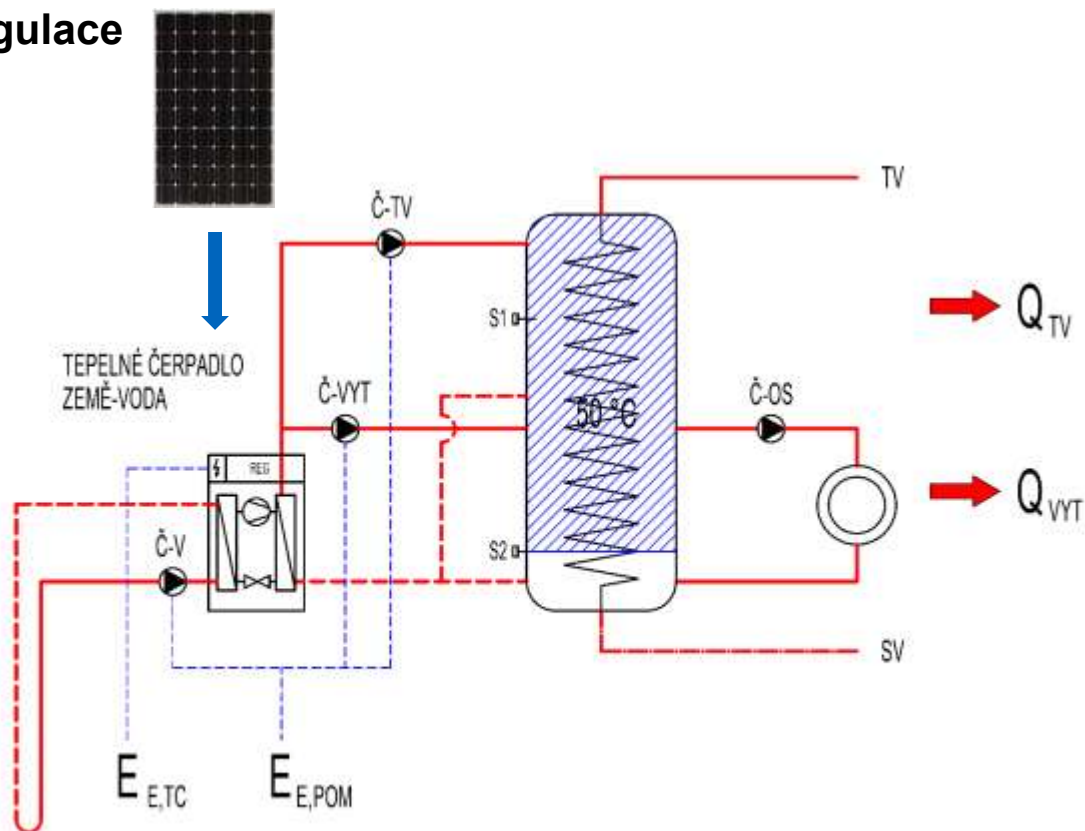






# ADAPTIVNÍ PROVOZ TEPELNÉHO ČERPADLA PODLE FV SYSTÉMU

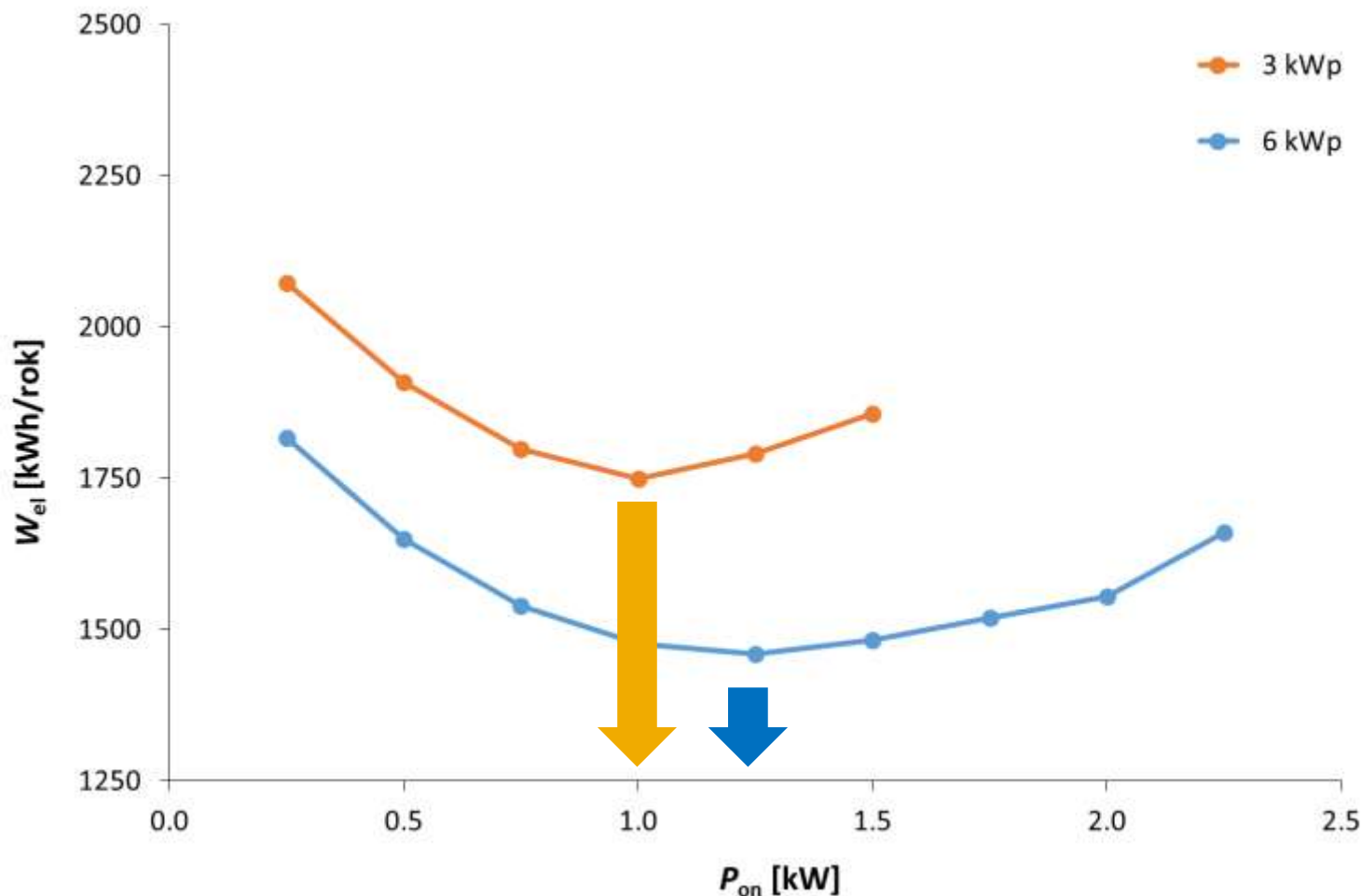
adaptivní regulace



max. příkon  $P_{TC} = 2.2 \text{ kW}$  (B0/W55)

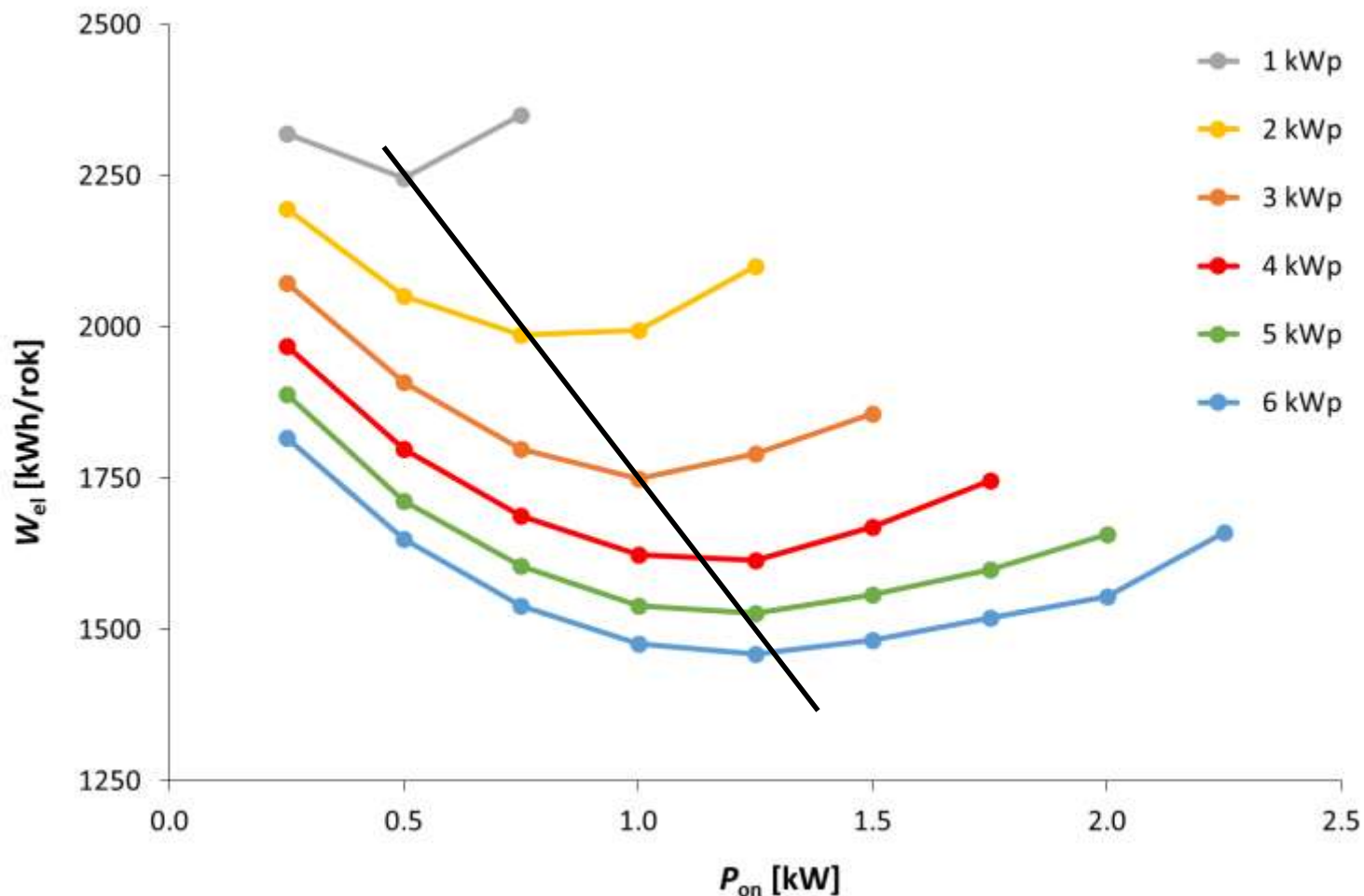


# OPTIMÁLNÍ PRAHOVÁ HODNOTA PRO NUCENÉ SPUŠTĚNÍ TČ?





# OPTIMÁLNÍ PRAHOVÁ HODNOTA PRO NUCENÉ SPUŠTĚNÍ TČ?





# VÝHODY ADAPTIVNÍ REGULACE

bez adaptace provozu TČ

| Parametr                      | Varianta bez FV | Varianta 1 kW <sub>p</sub> | Varianta 3 kW <sub>p</sub> | Varianta 6 kW <sub>p</sub> |
|-------------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| $W_{el}$ [kWh/rok]            | 2446            | 2370                       | 2217                       | 2061                       |
| SPF systému [-]               | 2.7             | 2.7                        | 2.9                        | 3.1                        |
| Solární pokrytí $f_{FV}$ [%]  | -               | 3                          | 9                          | 16                         |
| Využití produkce $r_{FV}$ [%] | -               | 8                          | 8                          | 6                          |

adaptivní provoz TČ

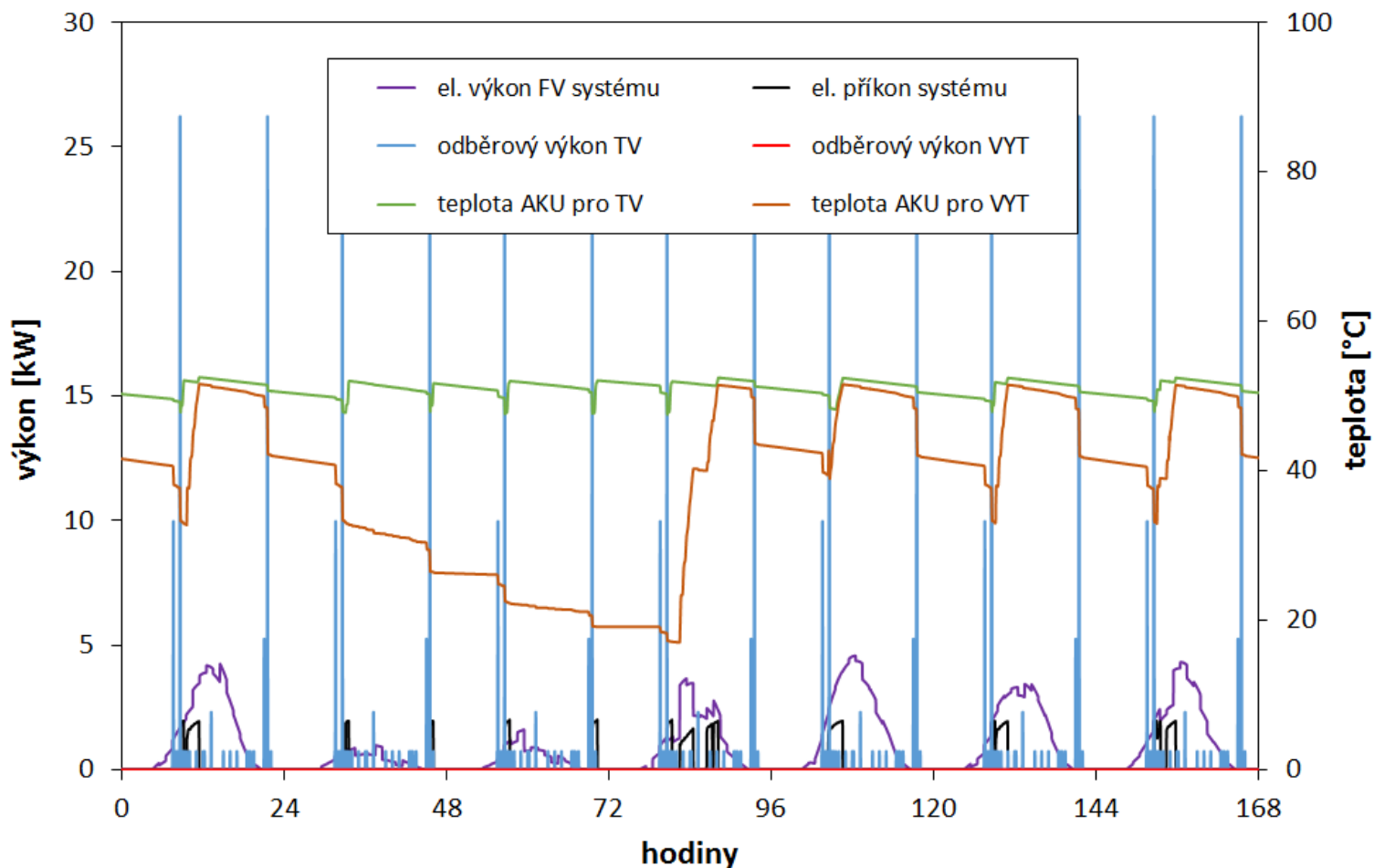
| Parametr                      | Varianta bez FV | Varianta 1 kW <sub>p</sub> | Varianta 3 kW <sub>p</sub> | Varianta 6 kW <sub>p</sub> |
|-------------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| $W_{el}$ [kWh/rok]            | 2446            | 2245                       | 1749                       | 1459                       |
| SPF systému [-]               | 2.7             | 2.9                        | 3.7                        | 4.4                        |
| Solární pokrytí $f_{FV}$ [%]  | -               | 10                         | 32                         | 44                         |
| Využití produkce $r_{FV}$ [%] | -               | 26                         | 27                         | 19                         |

-21 %

-29 %

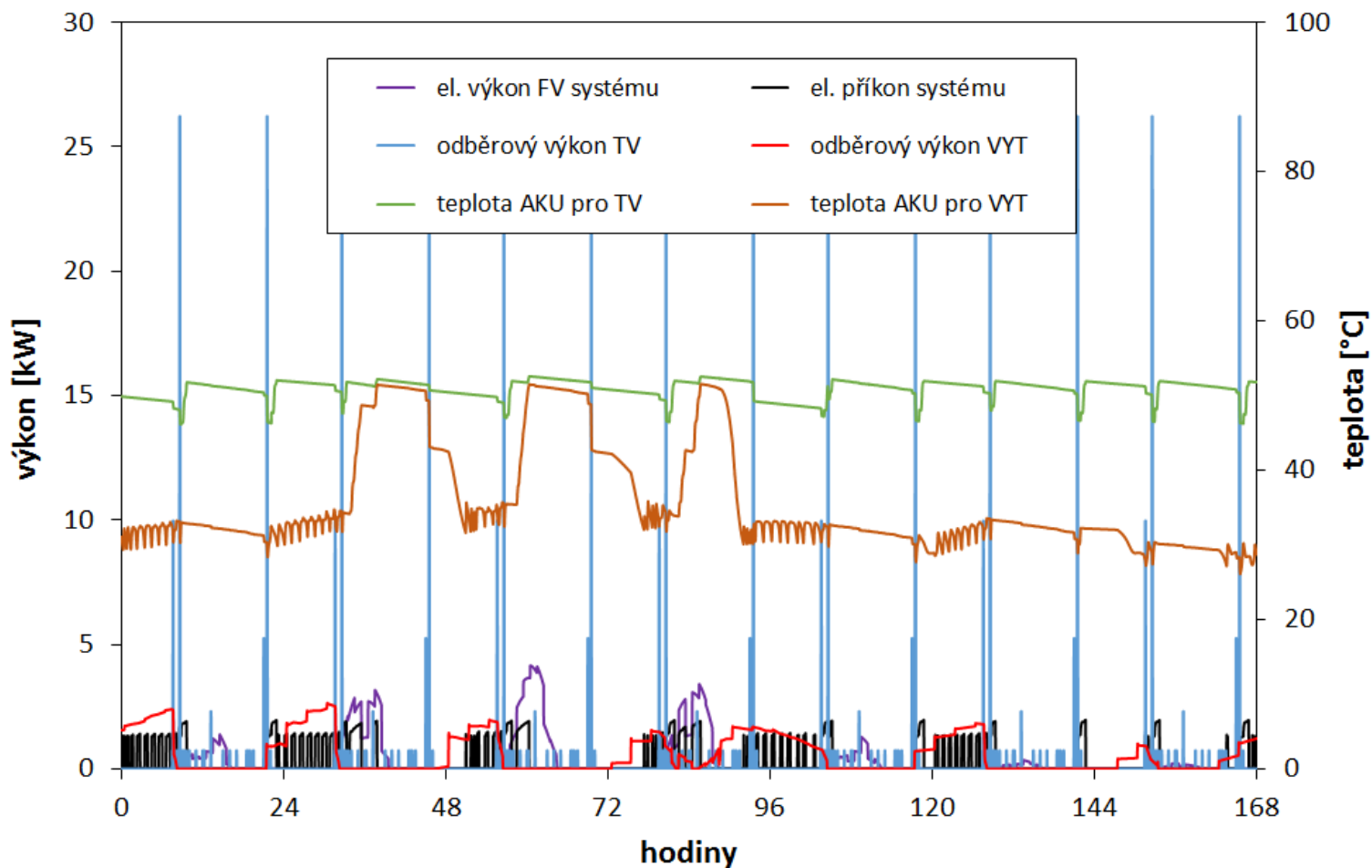


# ADAPTIVNÍ PROVOZ KOMBINACE S FV SYSTÉMEM 6 kW<sub>p</sub> - LÉTO



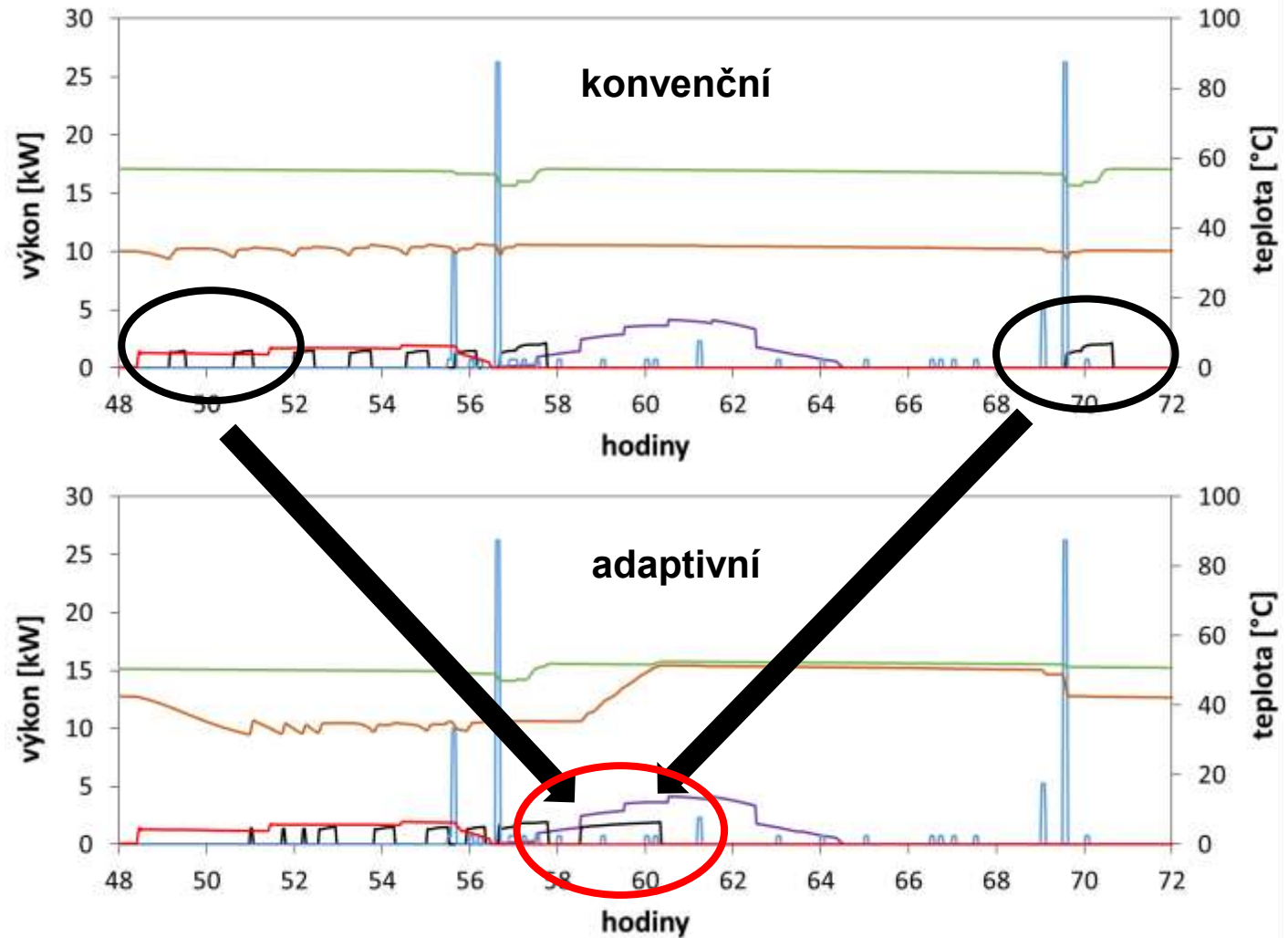


# ADAPTIVNÍ PROVOZ KOMBINACE S FV SYSTÉMEM 6 kW<sub>p</sub> - ZIMA





# ADAPTIVNÍ PROVOZ – DETAIL ZIMA





## ZÁVĚR

- **konvenční kombinace FV systému a tepelného čerpadla může uspořit elektřinu ze sítě, **ale málo ...****
  - využití produkce FV elektřiny řádově procenta
  - pokrytí spotřeby el. energie 10 až 15 %
- **adaptivní regulace výrazně snižuje spotřebu elektřiny ze sítě**
  - především u větších FV systémů: využití FV produkce 20 až 30 %
  - pokrytí spotřeby el. energie 30 až 40 %
- **prahová hodnota výkonu FV systému pro adaptivní provoz**
  - na úrovni cca 50 % max. příkonu tepelného čerpadla





# ZÁVĚR

- dopad na hodnocení domu ...
  - pouze varianta s největším FV systémem splní horní hranici kritéria neobnovitelné primární energie

| Parametr                                   | Varianta bez FV | Varianta 1 kW <sub>p</sub> | Varianta 3 kW <sub>p</sub> | Varianta 6 kW <sub>p</sub> |
|--|-----------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| $W_{el}$ [kWh/rok]                         | 2446            | 2245                       | 1749                       | 1459                       |
| SPF systému [-]                            | 2.7             | 2.9                        | 3.7                        | 4.4                        |
| Solární pokrytí $f_{FV}$ [%]               | -               | 10                         | 32                         | 44                         |
| Využití produkce $r_{FV}$ [%]              | -               | 26                         | 27                         | 19                         |
| Neobnovitelná PE [kWh/m <sup>2</sup> .rok] | 39              | 35                         | 28                         | 23                         |



# KUDY DÁL?

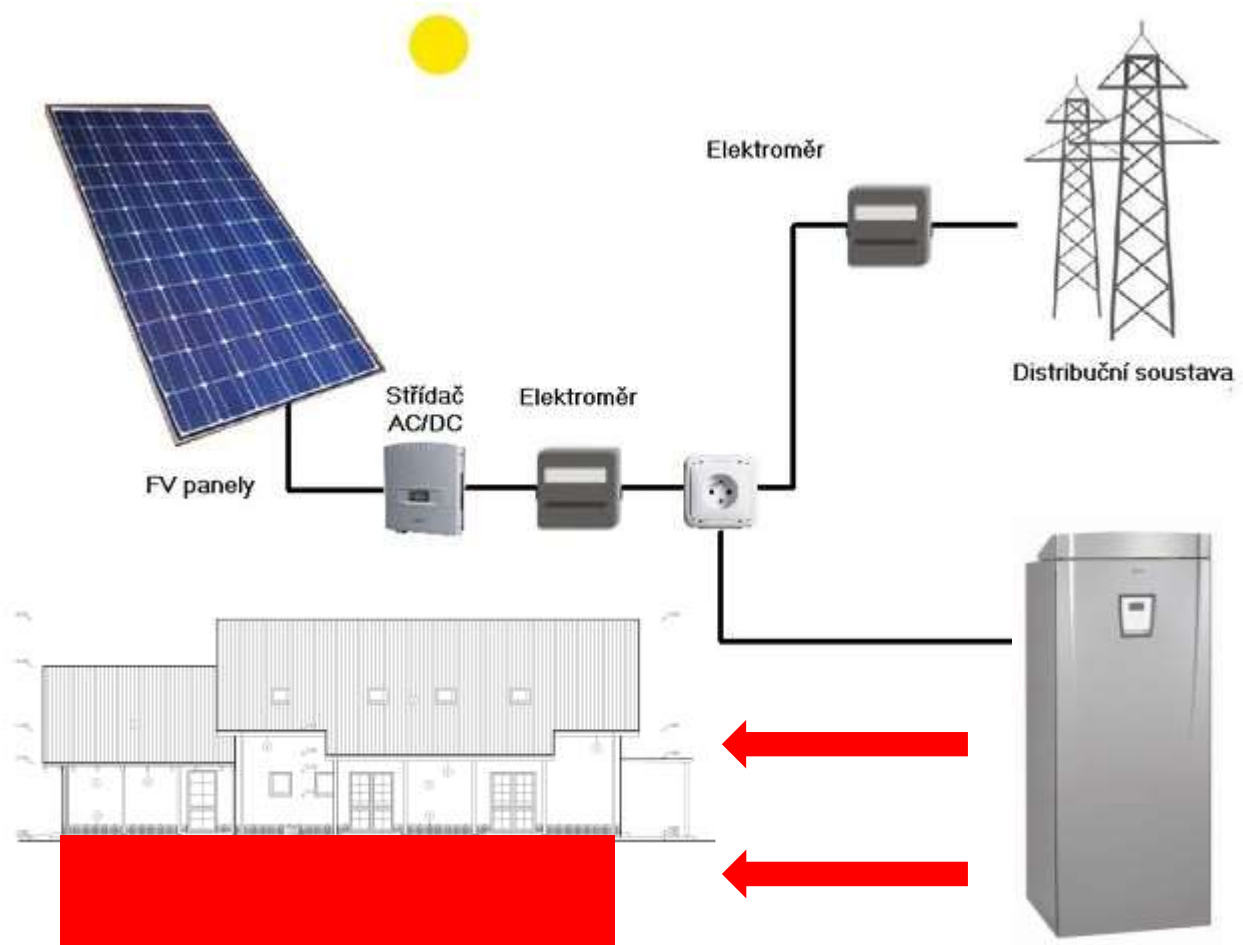




# KOMBINACE FV SYSTÉMU A TEPELNÉHO ČERPADLA A DLOUHODOBÉ AKUMULACE

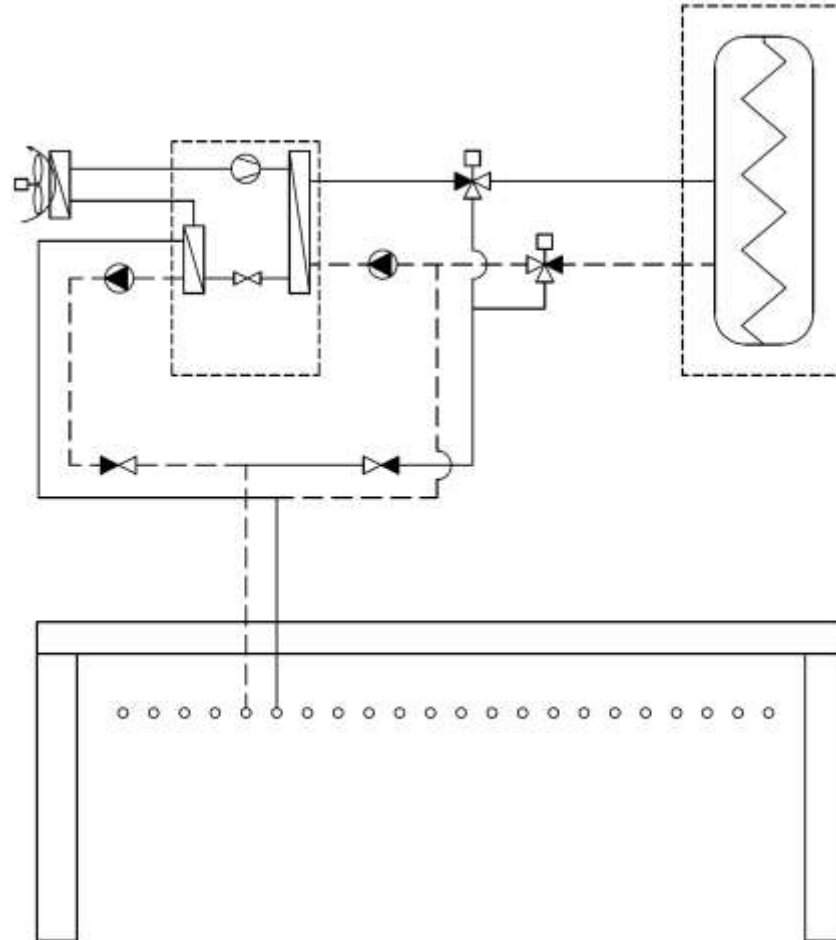
T A  
Č R

*Regulus*  
ÚSPORNÉ ŘEŠENÍ PRO VAŠE TOPENÍ





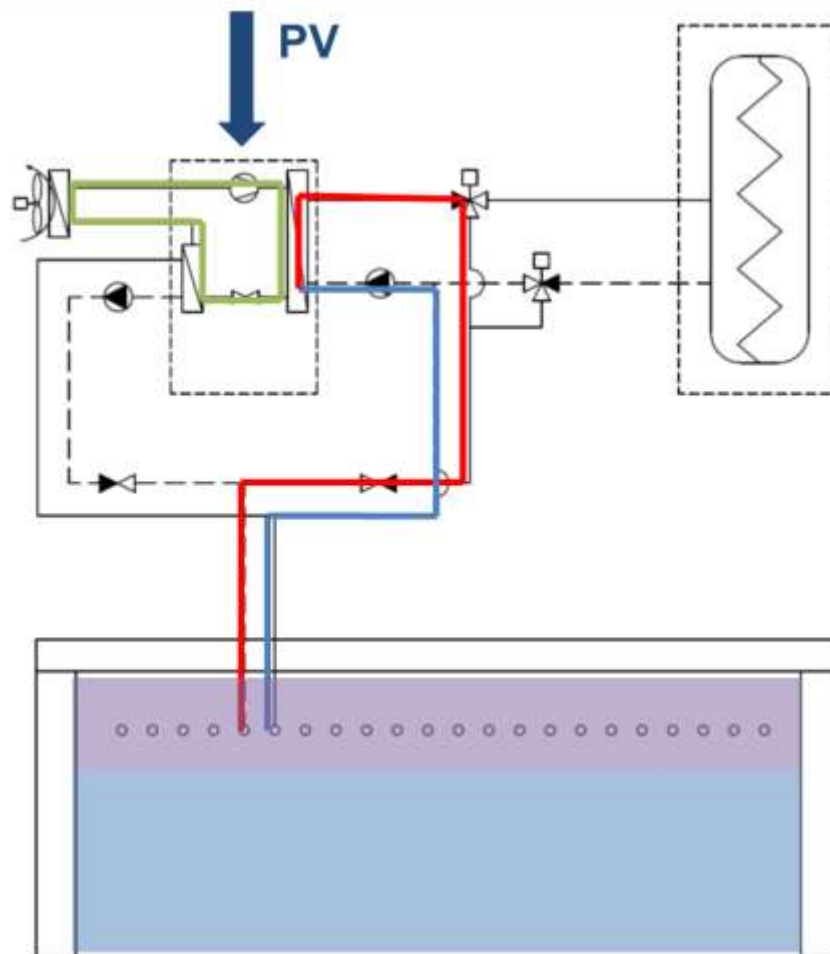
# SCHÉMA





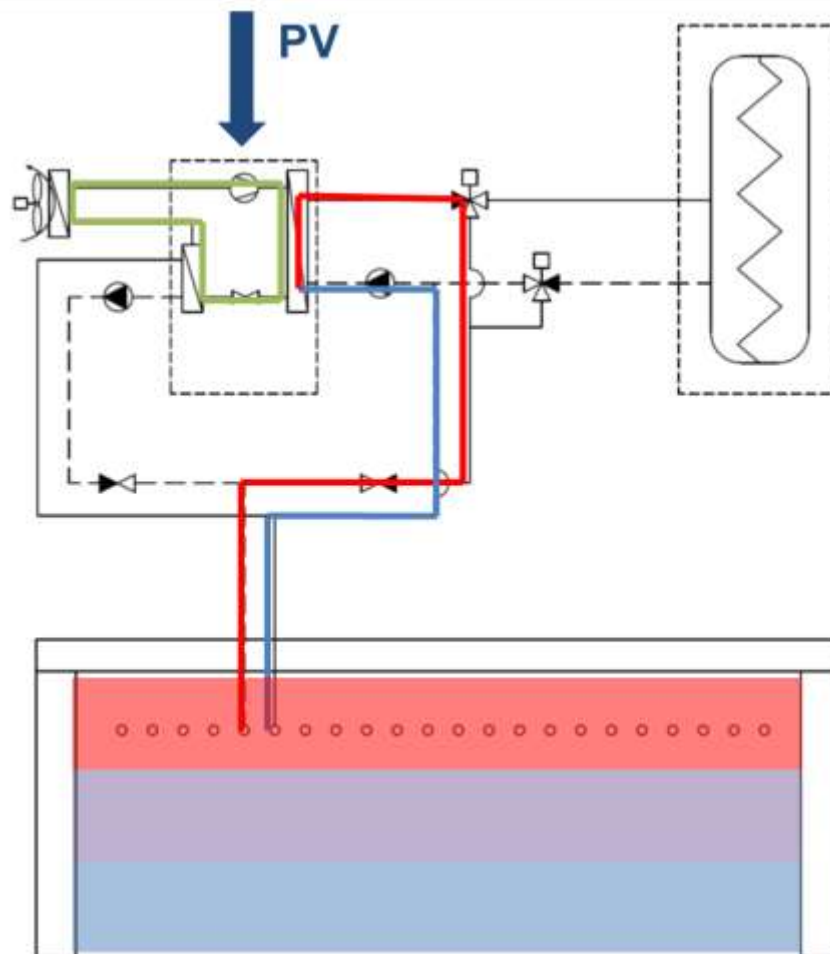


# SCHÉMA: NABÍJENÍ ZEMNÍHO ZÁSOBNÍKU (LÉTO) ZE VZDUCHU



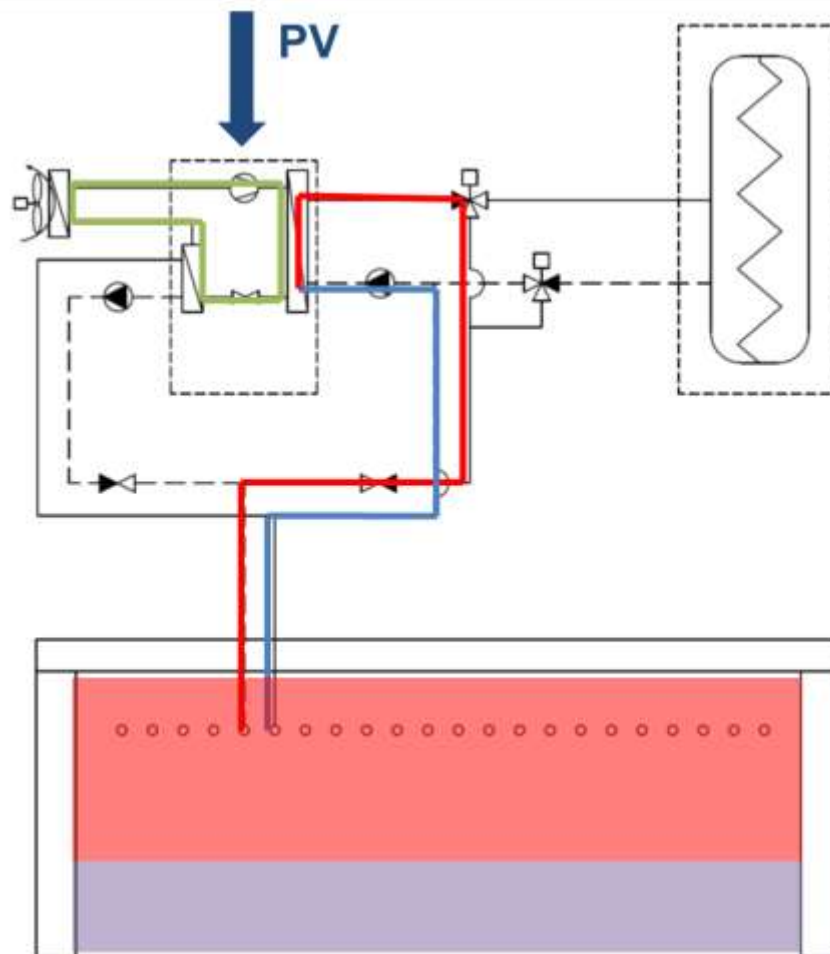


# SCHÉMA: NABÍJENÍ ZEMNÍHO ZÁSOBNÍKU (LÉTO) ZE VZDUCHU





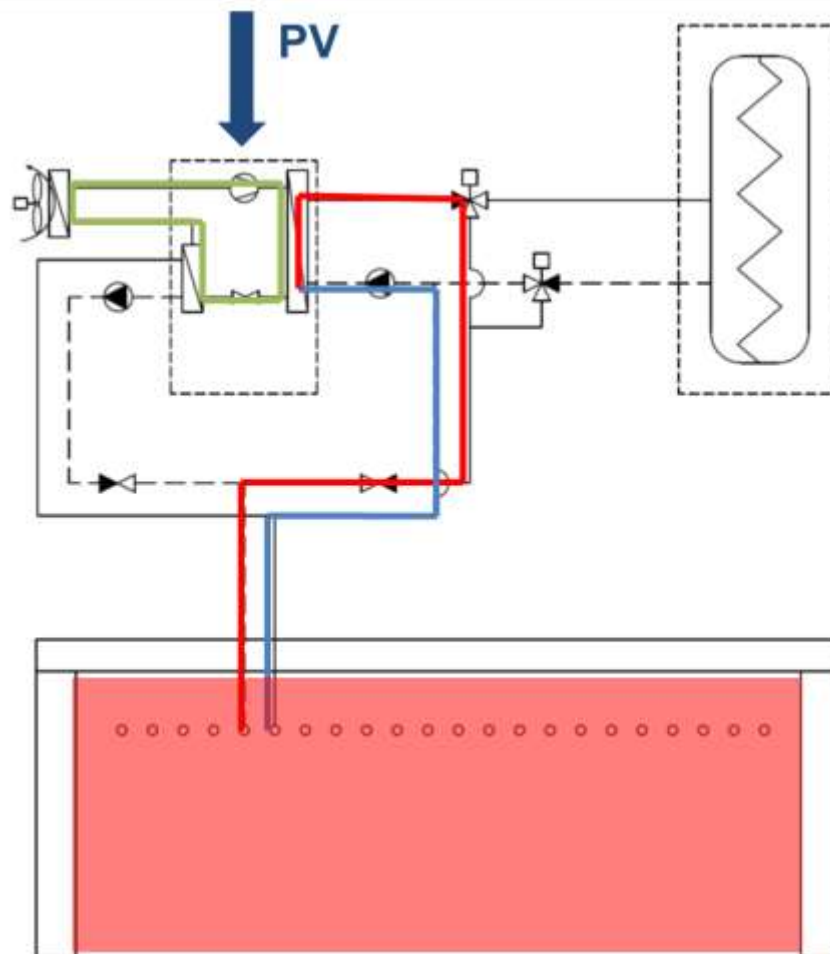
# SCHÉMA: NABÍJENÍ ZEMNÍHO ZÁSOBNÍKU (LÉTO) ZE VZDUCHU





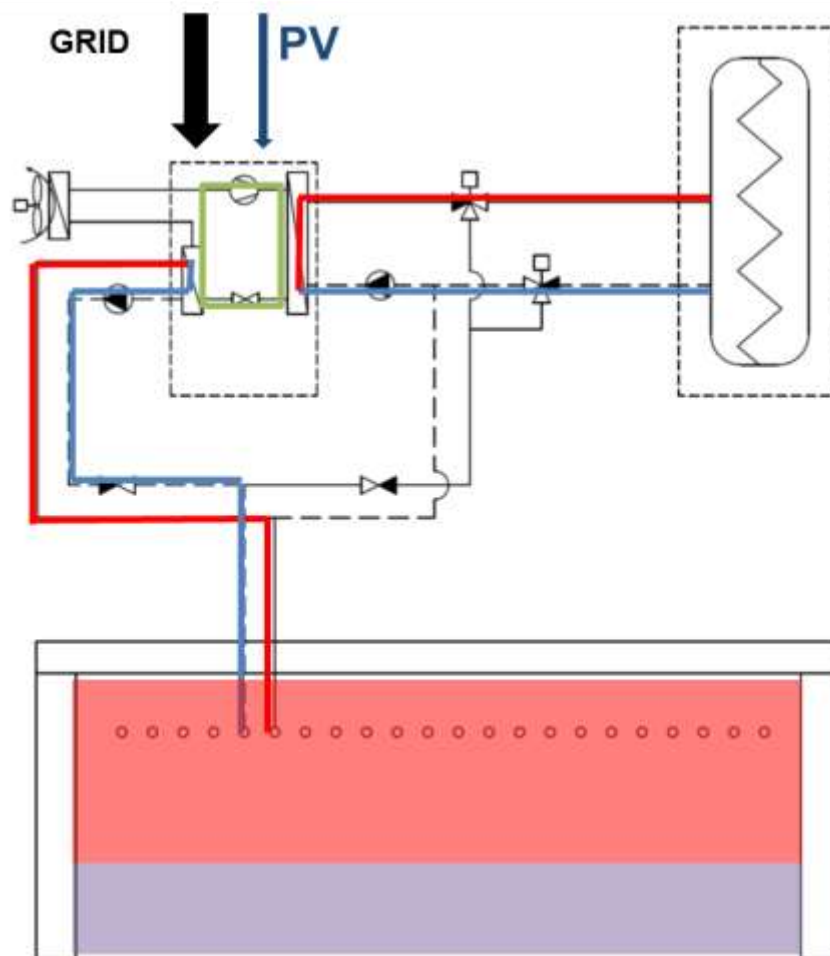


# SCHÉMA: NABÍJENÍ ZEMNÍHO ZÁSOBNÍKU (LÉTO) ZE VZDUCHU



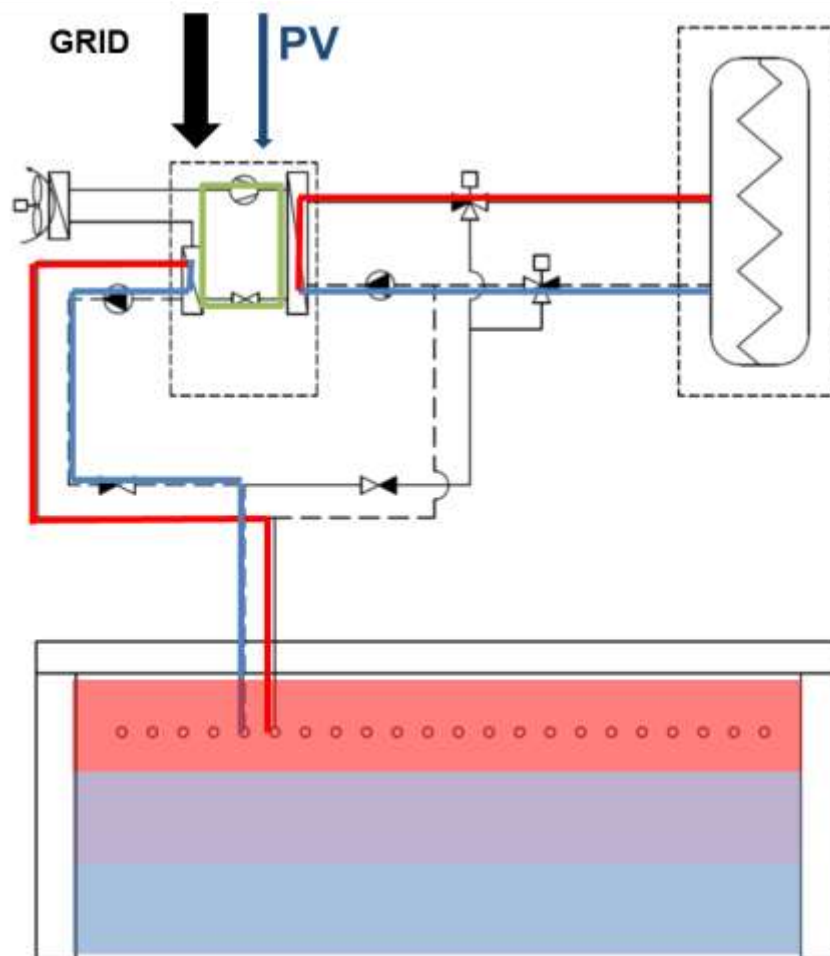


# SCHÉMA: ZEMNÍ ZÁSOBNÍK JAKO ZDROJ TEPLA PRO TČ (ŘÍJEN)



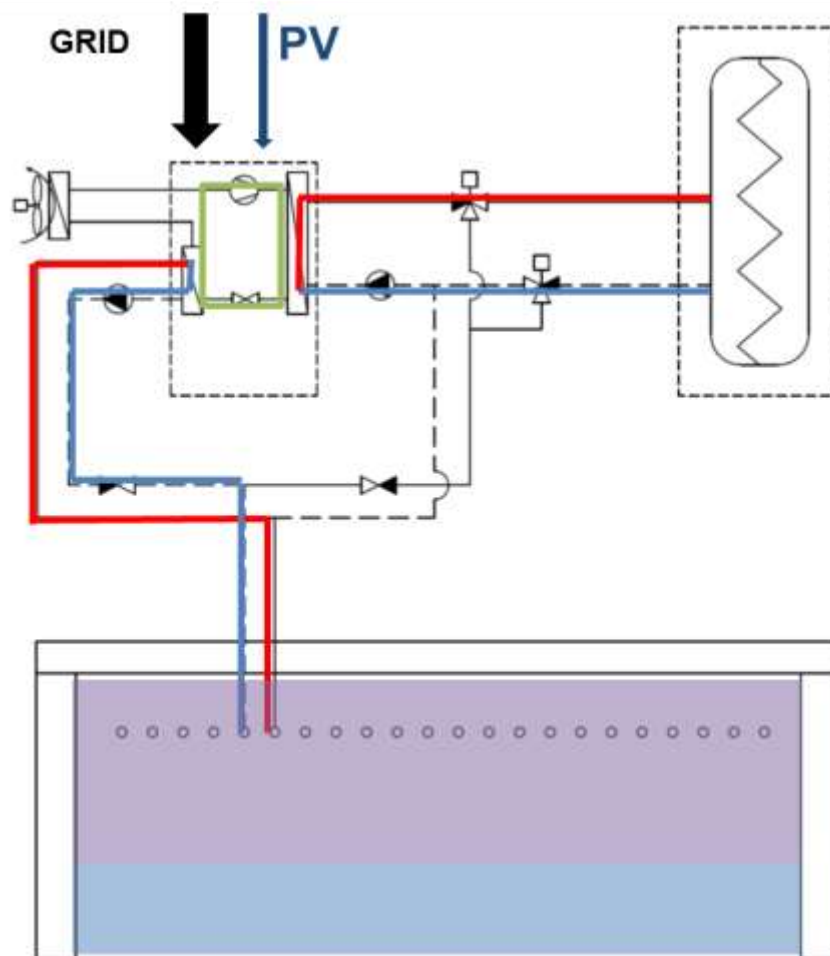


# SCHÉMA: ZEMNÍ ZÁSOBNÍK JAKO ZDROJ TEPLA (PROSINEC)



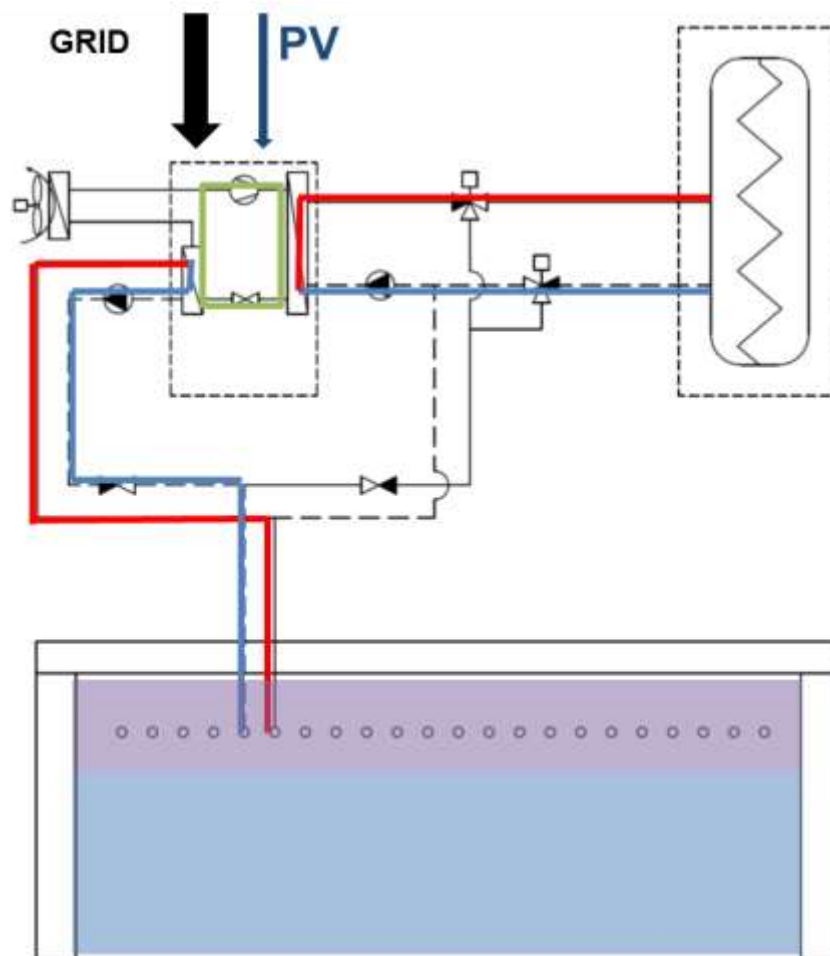


# SCHÉMA: ZEMNÍ ZÁSOBNÍK JAKO ZDROJ TEPLA (ÚNOR)





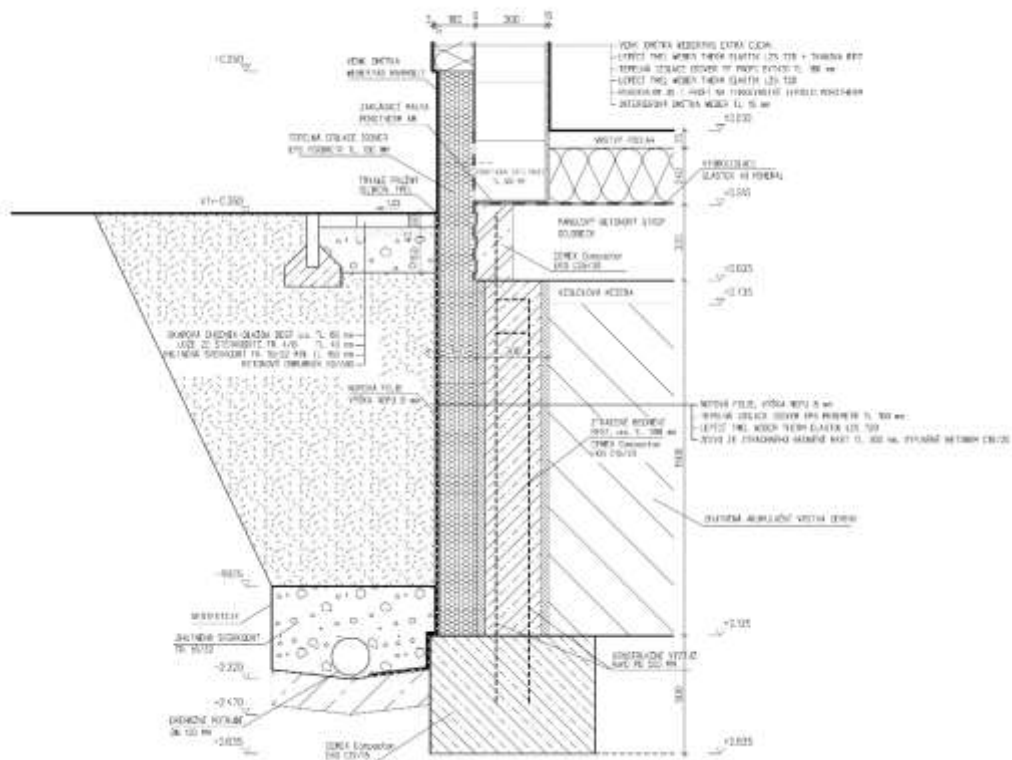
# SCHÉMA: ZEMNÍ ZÁSOBNÍK JAKO ZDROJ TEPLA (BŘEZEN)





# ZEMNÍ ZÁSOBNÍK: VÝSTAVBA

DETAIL 02 - NÁPOJENÉ STĚNY U ZÁKLADU H 1:0





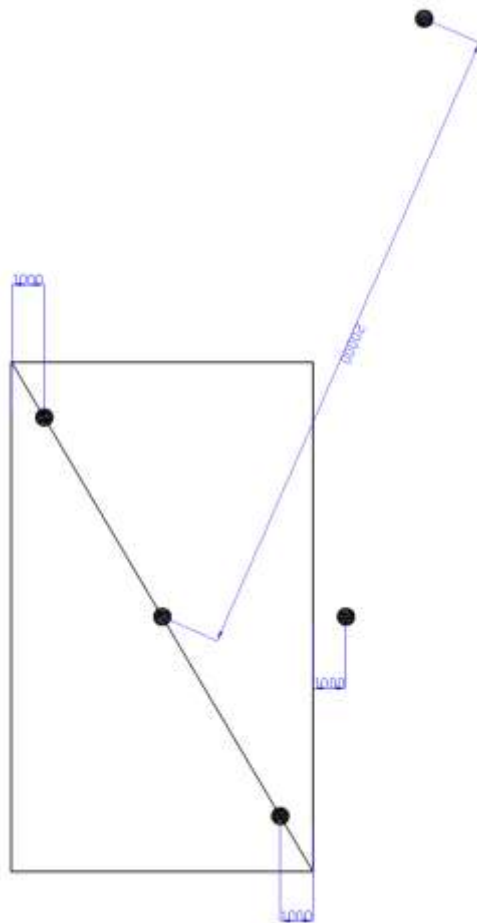


# ZEMNÍ ZÁSOBNÍK: VÝSTAVBA





# ZEMNÍ ZÁSOBNÍK: TEPLOTNÍ ČIDLA







# ZEMNÍ ZÁSOBNÍK: VÝSTAVBA





# ZEMNÍ ZÁSOBNÍK: VÝSTAVBA





# ZEMNÍ ZÁSOBNÍK: VÝSTAVBA





# TESTOVÁNÍ PRVKŮ: TEPELNÉ ČERPADLO

- tepelné čerpadlo s řízenými otáčkami
  - pro přizpůsobování elektrického příkonu výkonu FV systému
  - odběr tepla ze zemního výměníku (zásobníku) a chladiče vzduchu
  - volba chladiva: R410a (R32)

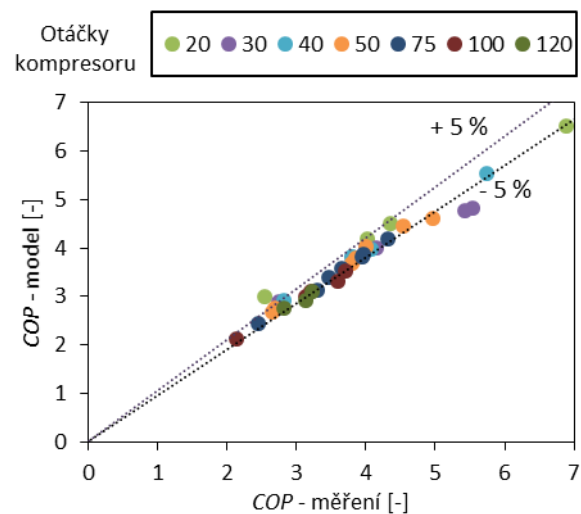
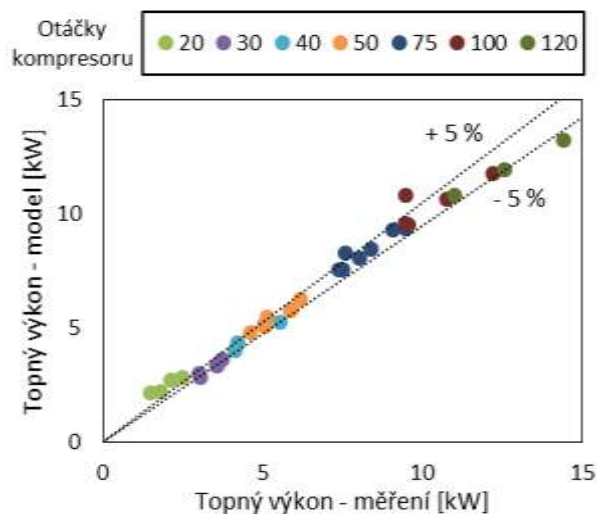






# TESTOVÁNÍ PRVKŮ: TEPELNÉ ČERPADLO

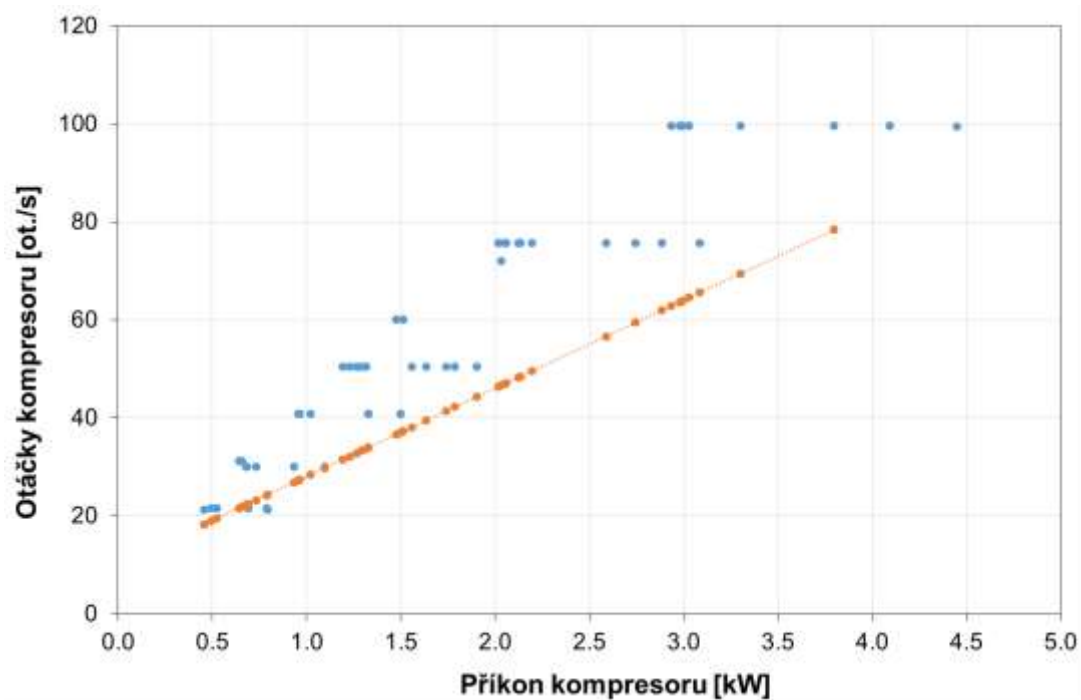
- postaveno a testováno
  - tepelný výkon a  $COP$  při změně otáček
  - chování invertoru, regulace expanzního ventilu
  - matematický model





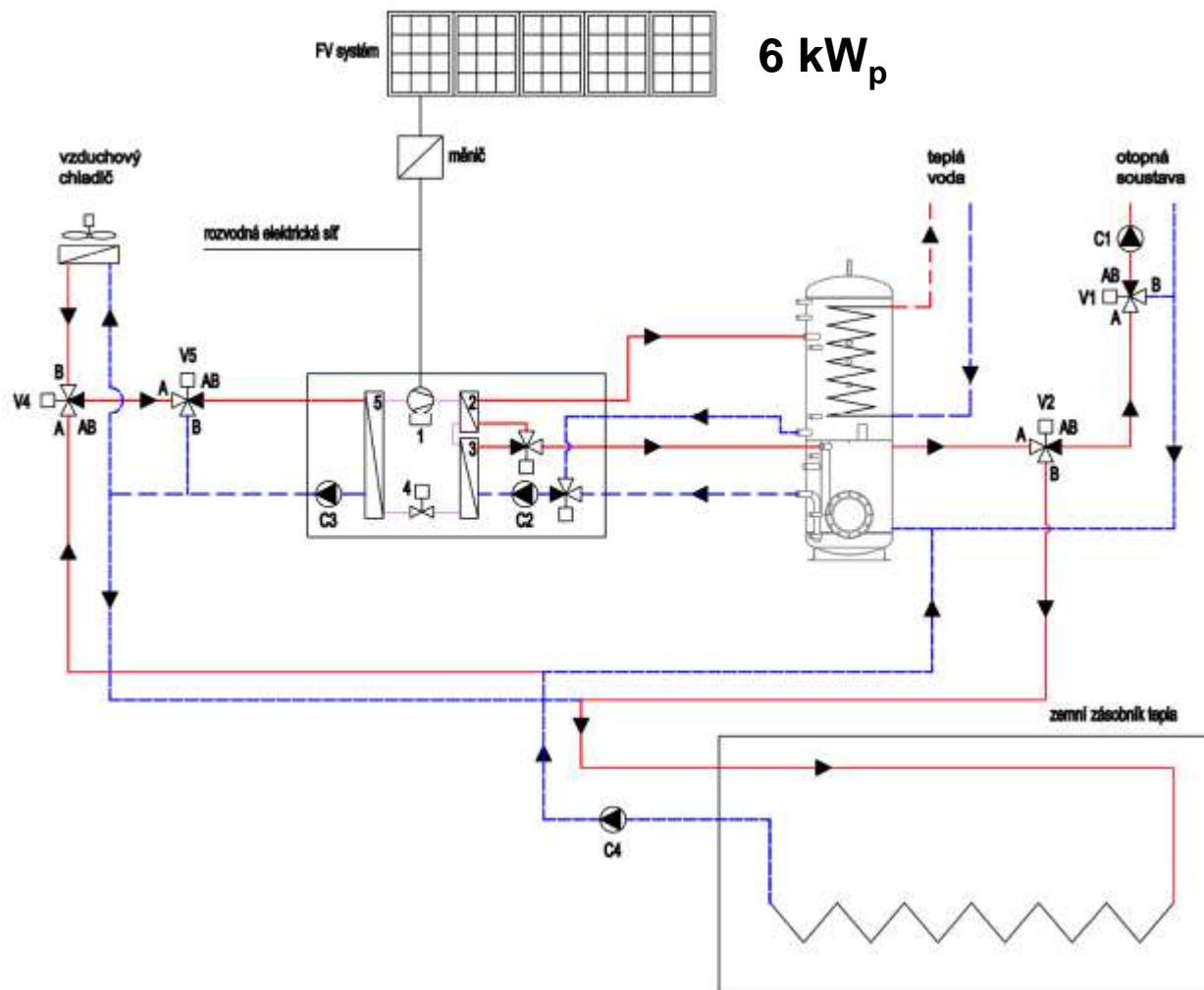
# REGULACE TEPELNÉHO ČERPADLA

- souvislost mezi příkonem a otáčkami
  - nastavení otáček kompresoru na základě aktuálního elektrického výkonu FV systému





# SIMULACE: SYSTÉM





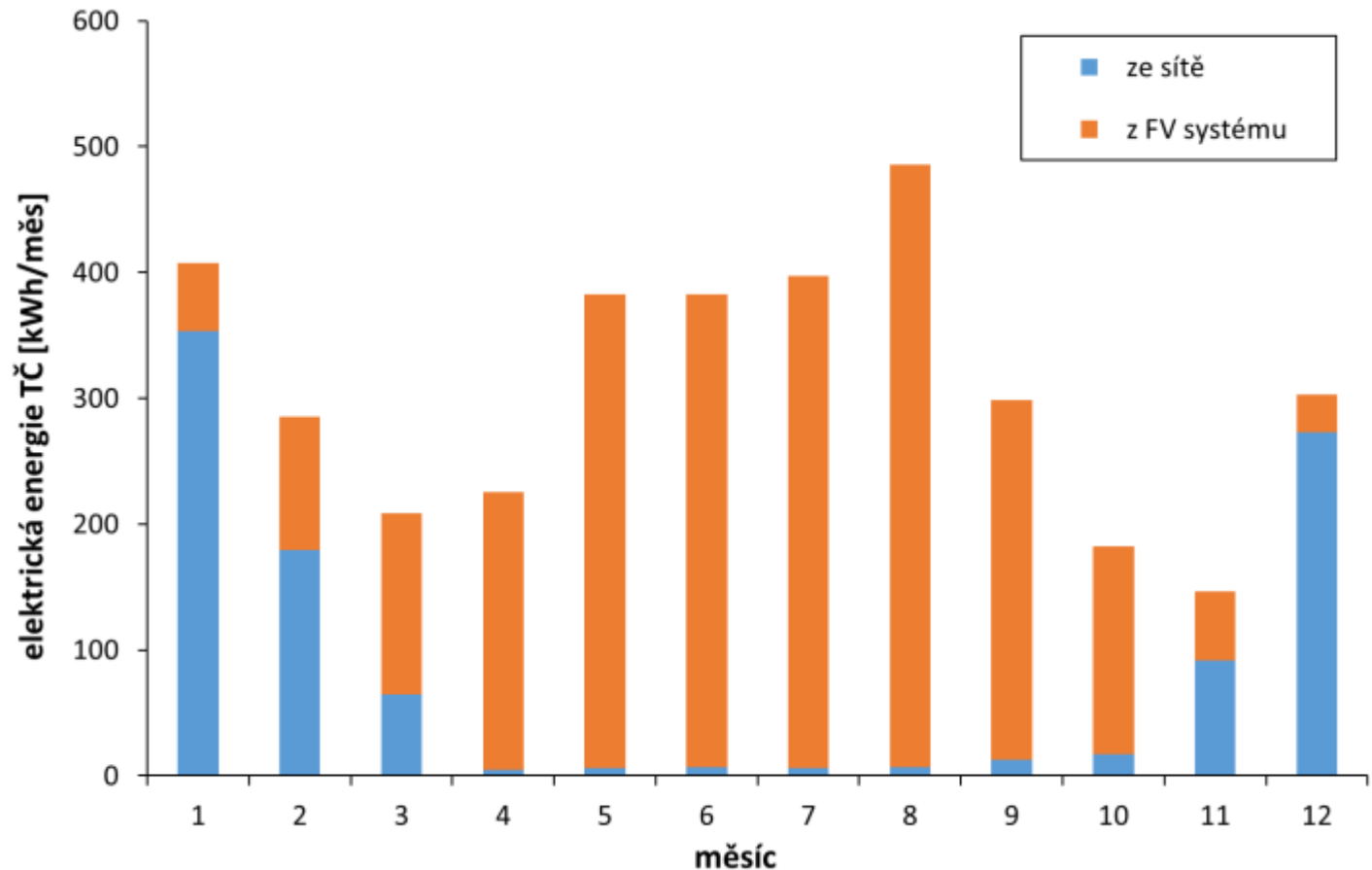
# SIMULACE: SYSTÉM

- **simulační prostředí TRNSYS**
  - časový krok simulace 2 min
  - délka simulace 2 roky pro dosažení ustáleného stavu v polomasívu
  - výsledky převzaty z 2. roku simulace



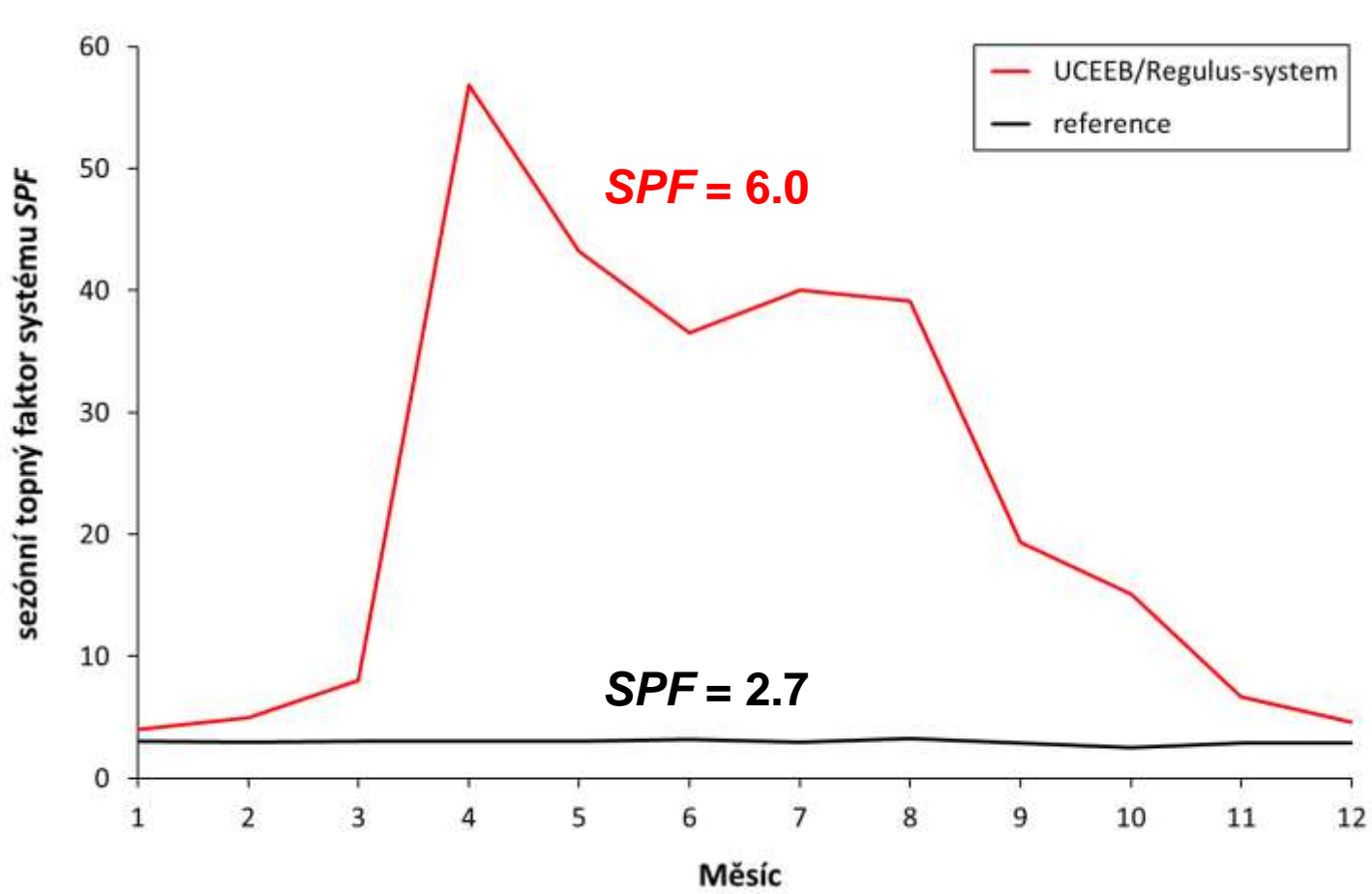


# SIMULACE: VÝSLEDKY PRO SYSTÉM



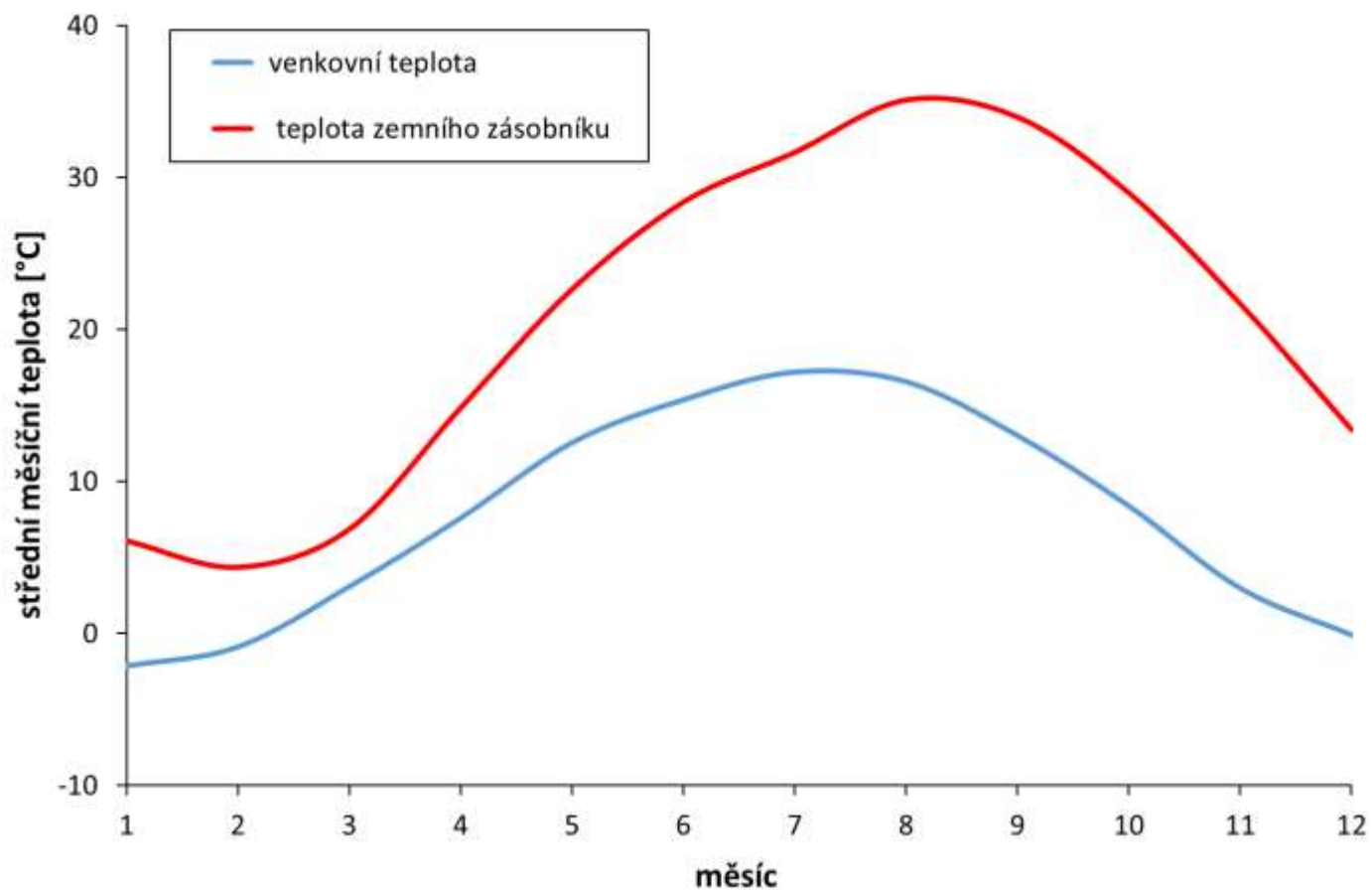


# SIMULACE: VÝSLEDKY PRO SYSTÉM





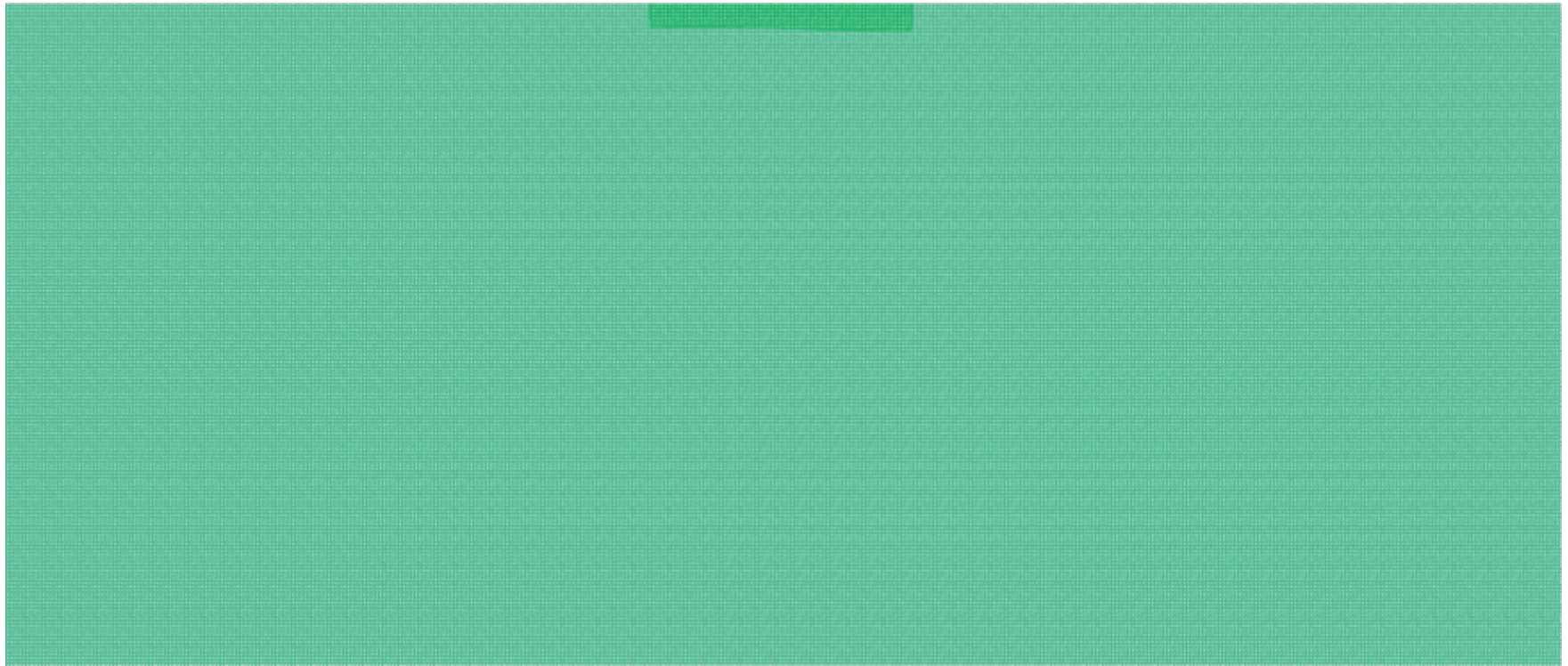
# SIMULACE: VÝSLEDKY PRO SYSTÉM





# SIMULACE: NABÍJENÍ ZEMNÍHO ZÁSOBNÍKU

březen

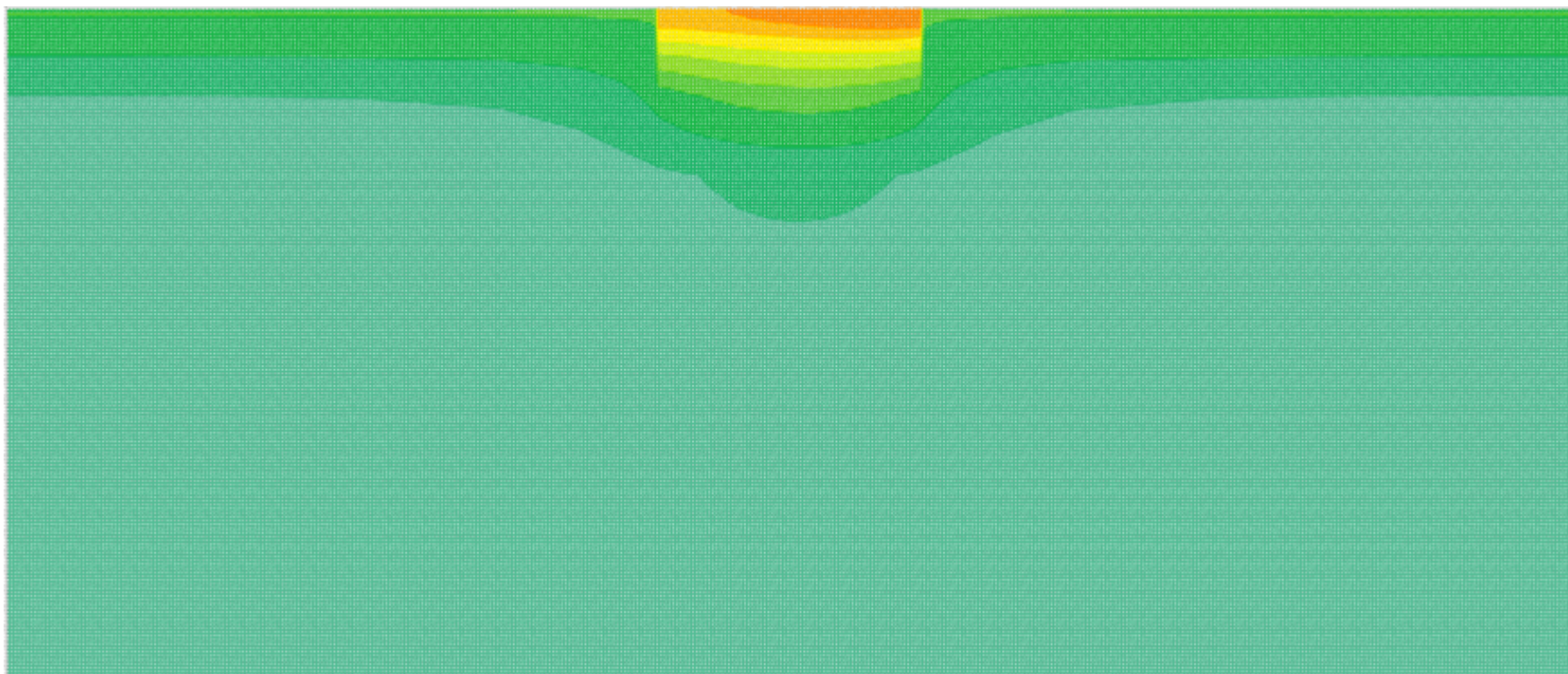


■ -5--2   ■ -2-1   ■ 1-4   ■ 4-7   ■ 7-10   ■ 10-13   ■ 13-16   ■ 16-19   ■ 19-22   ■ 22-25   ■ 25-28   ■ 28-31   ■ 31-34   ■ 34-37   ■ 37-40



# SIMULACE: NABÍJENÍ ZEMNÍHO ZÁSOBNÍKU

červen



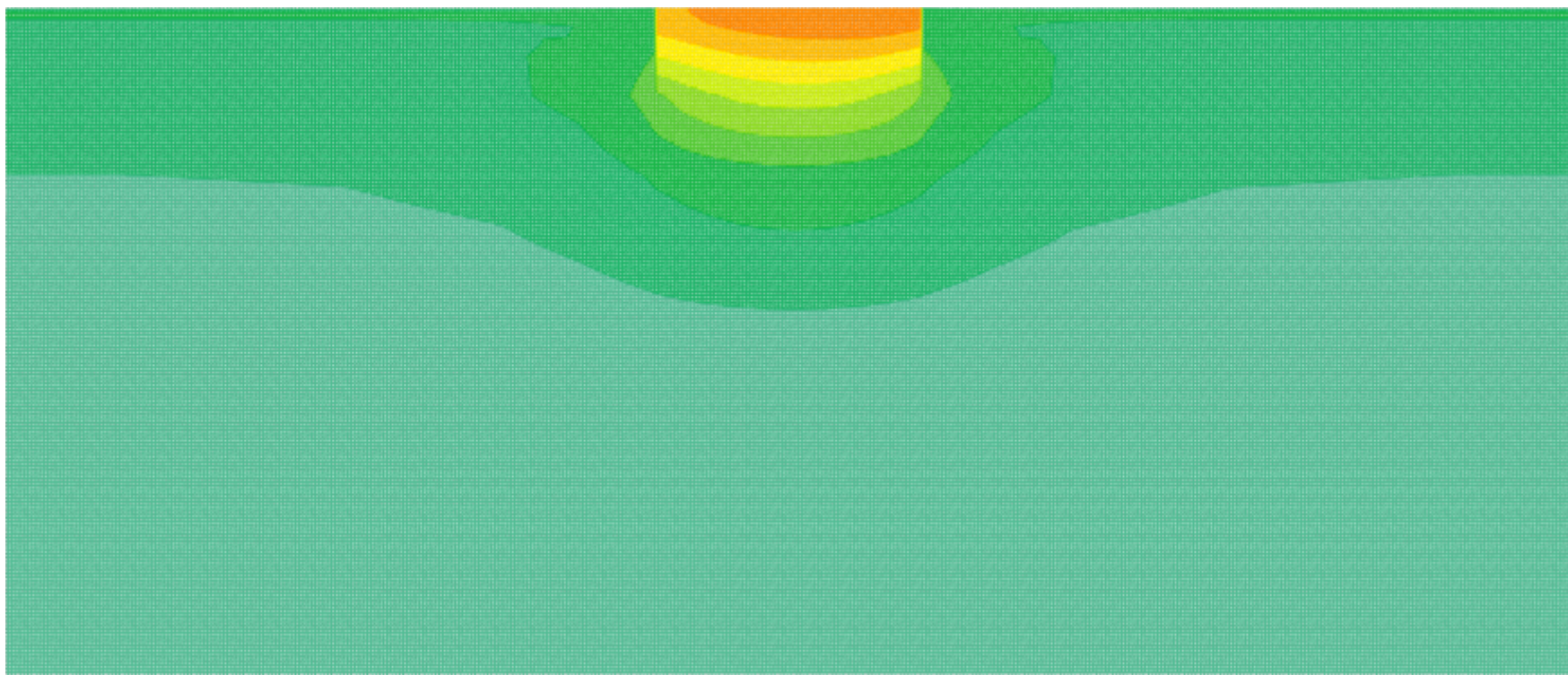
■ -5--2   ■ -2-1   ■ 1-4   ■ 4-7   ■ 7-10   ■ 10-13   ■ 13-16   ■ 16-19   ■ 19-22   ■ 22-25   ■ 25-28   ■ 28-31   ■ 31-34   ■ 34-37   ■ 37-40





# SIMULACE: NABÍJENÍ ZEMNÍHO ZÁSOBNÍKU

září

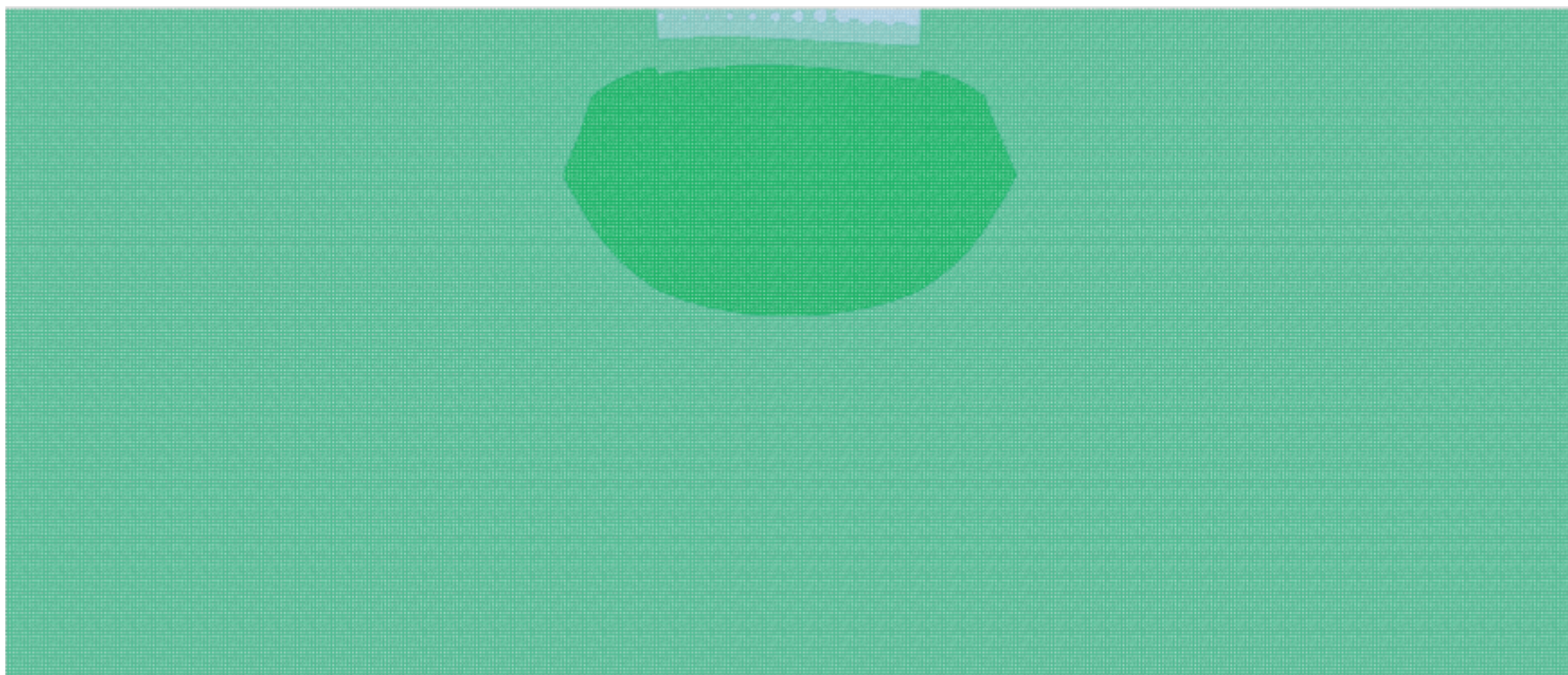


■ -5--2   ■ -2-1   ■ 1-4   ■ 4-7   ■ 7-10   ■ 10-13   ■ 13-16   ■ 16-19   ■ 19-22   ■ 22-25   ■ 25-28   ■ 28-31   ■ 31-34   ■ 34-37   ■ 37-40



# SIMULACE: NABÍJENÍ ZEMNÍHO ZÁSOBNÍKU

prosinec



■ -5--2   ■ -2-1   ■ 1-4   ■ 4-7   ■ 7-10   ■ 10-13   ■ 13-16   ■ 16-19   ■ 19-22   ■ 22-25   ■ 25-28   ■ 28-31   ■ 31-34   ■ 34-37   ■ 37-40



## SIMULACE: CELKOVÉ VÝSLEDKY

- **hodnocení budovy**
  - roční spotřeba elektrické energie **1078 kWh/rok**
  - více než 80 % energie je kryto z OZE
  - roční sezónní topný faktor celého systému  $SPF = 6.0$
  - využití produkce FV elektřiny **44 %**
- neobnovitelná primární energie **17 kWh/m<sup>2</sup>.rok**





# REALIZACE A MONITORING SYSTÉMU

- **RD Hamry u Hlinska**
  - výstavba zemního výměníku, rodinného domu (2016)
  - dokončení realizace systému + monitoringu: jaro 2017
  - monitoring (1. fáze - ověření funkce): léto – zima 2017
  - monitoring (2. fáze – ověření modelu): 2018
  
- **optimalizace**
  - nastavení regulace
  - zobecnění návrhových parametrů (výkon FV systému, výkon TČ, objem nádrže, jiné úrovně energetické náročnosti domu)



Řešeno v rámci projektu TAČR TA04021243

Program **Alfa**

Udržitelný energetický zdroj pro téměř nulové budovy

[tomas.matuska@uceeb.cz](mailto:tomas.matuska@uceeb.cz)