



ČVUT

UCEEB

ENERGETICKÁ OPTIMALIZACE NÁVRHU TEPELNÝCH ČERPADEL VZDUCH -VODA

Daniel Adamovský, Michael Harník

Blesková nalejvárna Aktuální trendy v oboru tepelných čerpadel

18.9.2024



ÚVOD

- Co přináší a nepřináší obvyklý postup návrhu TČ vzduch-voda.
- Jak pomoci projektantovi na cestě k optimálnímu návrhu TČ – studie.
- Jak zobecnit a zjednodušit výsledky složité optimalizace.

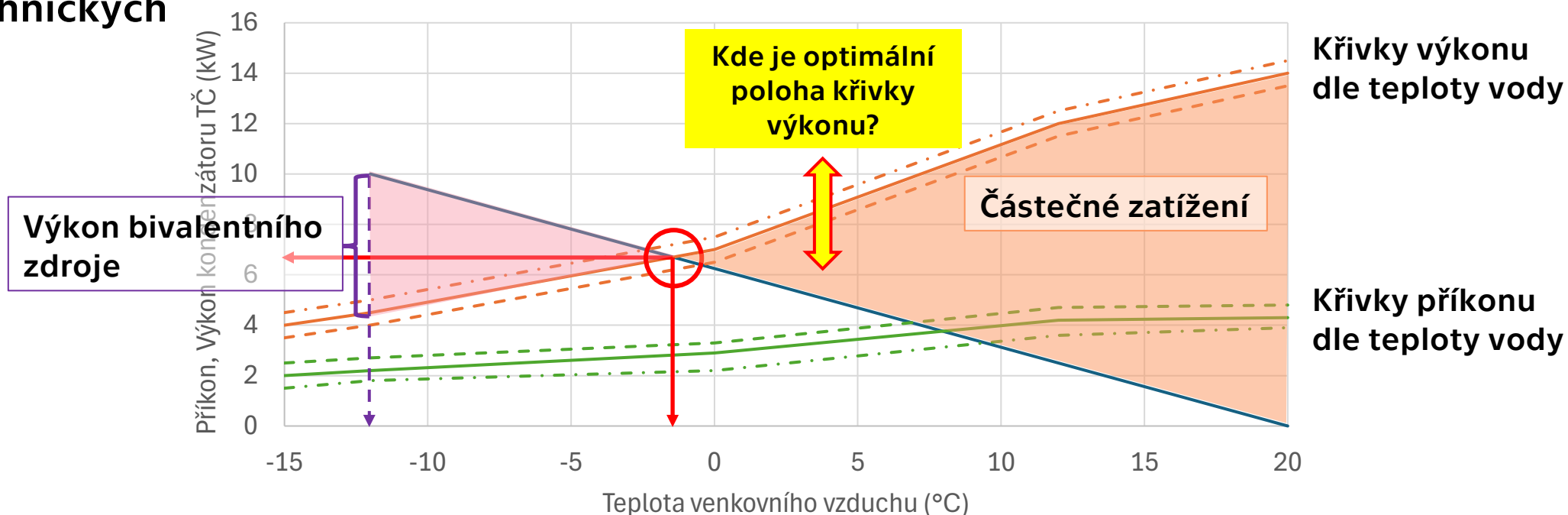
JAKÉ ZNÁME ZPŮSOBY NÁVRHU TEPELNÝCH ČERPADEL VZDUCH-VODA?

- **Jaké vstupní parametry potřebujeme?**
 - Tepelnou ztrátu budovy při výpočtové teplotě I a E.
 - Výkon pro přípravu teplé vody.
 - Výkon pro vzduchotechniku.
 - Teplotní spád otopné soustavy.
 - Dostupný výkon nízkopotenciálního tepla
- **Jaké technické parametry je třeba určit?**
 - Výkon tepelného čerpadla na kondenzátoru.
 - Výkon bivalentního zdroje (pokud není provoz uvažován monovalentní).
 - Teplotu bivalence.

JAKÉ ZNÁME ZPŮSOBY NÁVRHU TEPELNÝCH ČERPADEL VZDUCH-VODA?

- Zohlednění proměnlivosti tepelné ztráty (potřeby tepla) a výkonu zdroje.
- Znalost závislosti výkonu TČ na teplotě vzduchu a topné vody

Lepší stav technických
podkladů

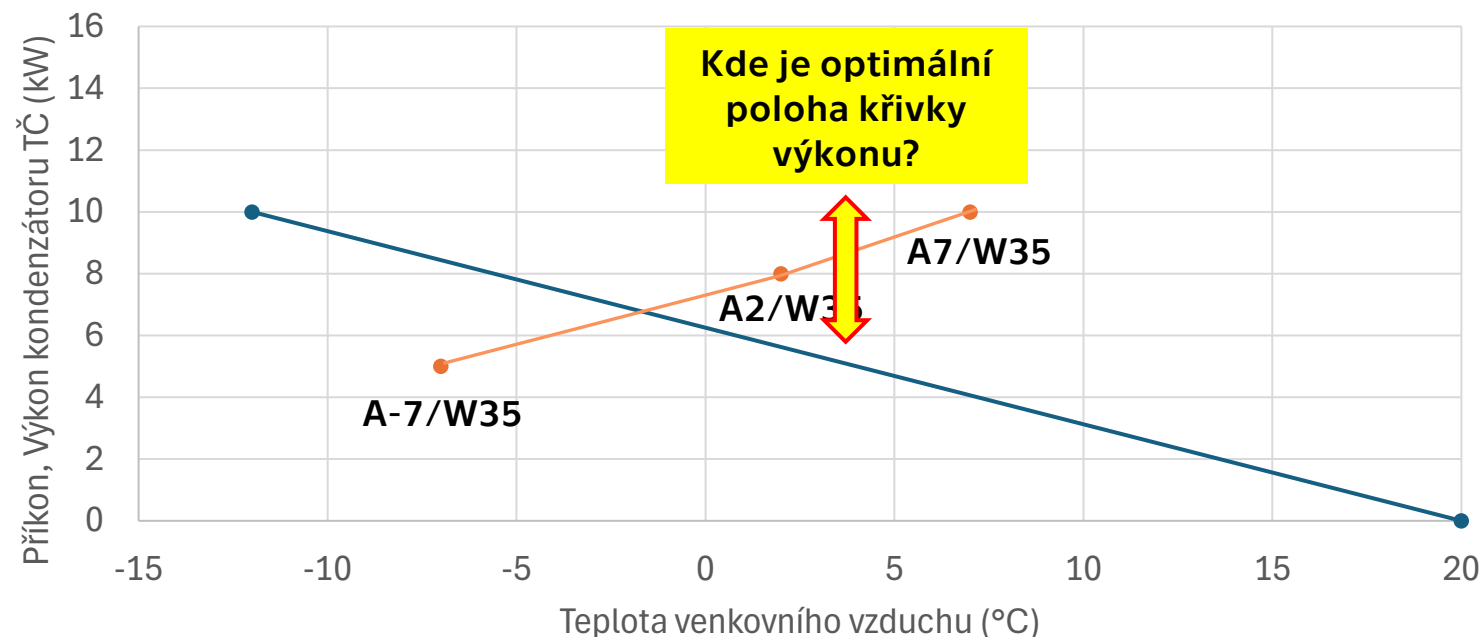




JAKÉ ZNÁME ZPŮSOBY NÁVRHU TEPELNÝCH ČERPADEL VZDUCH-VODA?

- Zohlednění proměnlivosti tepelné ztráty (potřeby tepla) a výkonu zdroje.
- Znalost závislosti výkonu TČ na teplotě vzduchu a topné vody

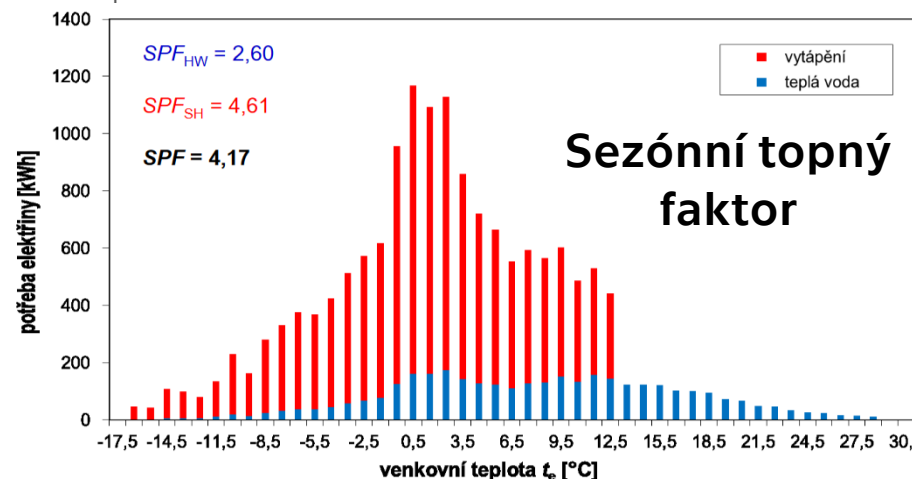
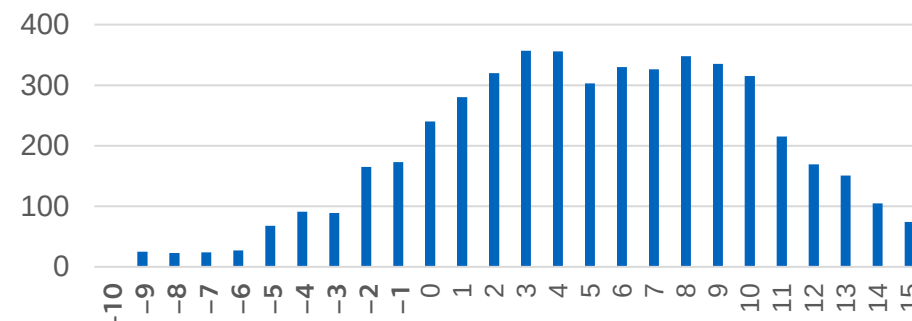
Obvyklý stav
technických podkladů



JAKÉ ZNÁME ZPŮSOBY NÁVRHU TEPELNÝCH ČERPADEL VZDUCH-VODA?

- Intervalová metoda dle ČSN EN 15316-4-2 zjednodušená v TNI 73 0351
 - Výpočet podrobné roční tepelné bilance TČ
 - Využívá četností teplot během roku v kroku 1 K
 - Pro každý interval se stanoví:
 - Potřeba tepla
 - Provozní podmínky, teploty vzduchu, vody
 - Výkon, COP, SPF
 - Dodaná energie, potřeba el. energie
 - Potřeba bivalentního zdroje tepla
 - Potřeba pomocné energie pro pohony

Počet hodin výskytu teploty vzduchu v otopném období



Matuška, T.: Navrhování a bilancování tepelných čerpadel

JAKÉ ZNÁME ZPŮSOBY NÁVRHU TEPELNÝCH ČERPADEL VZDUCH-VODA?

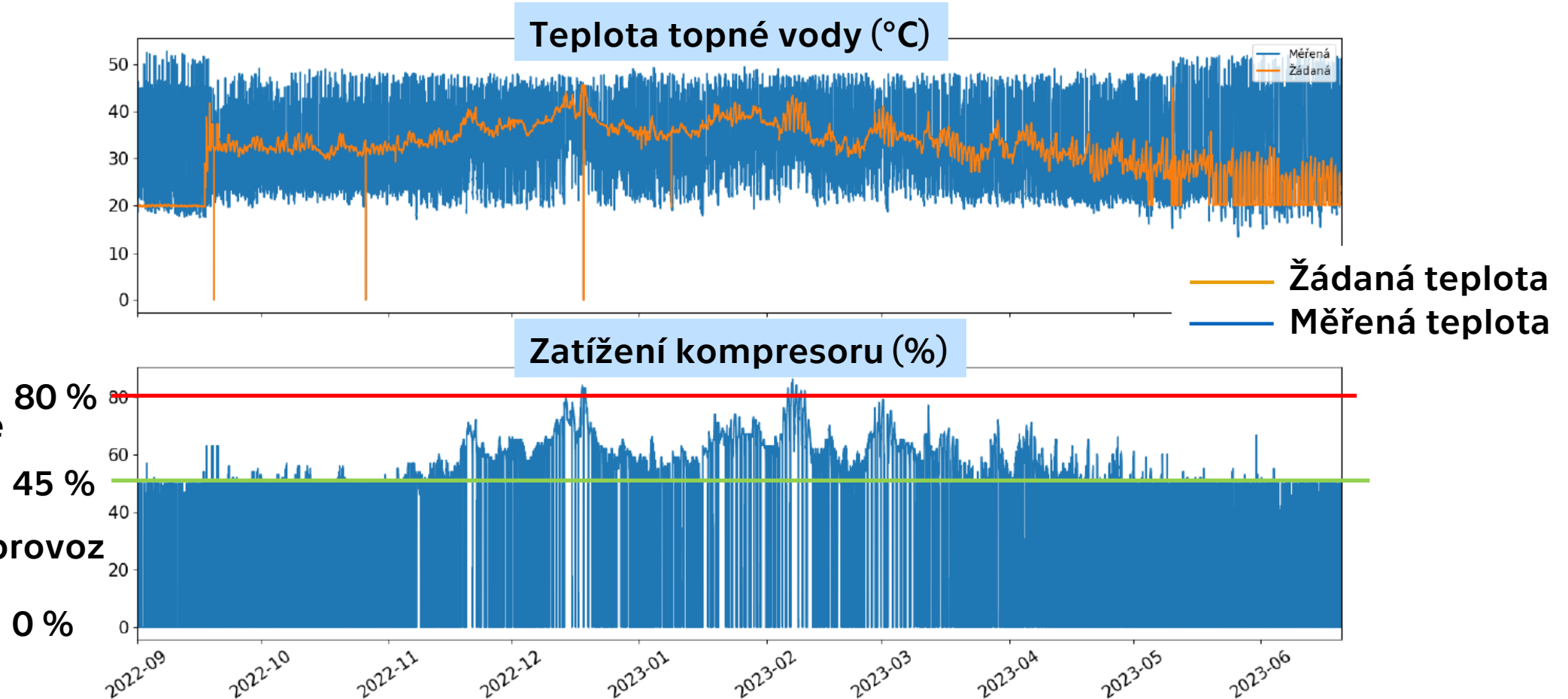
- Mnohé parametry zůstanou nezohledněné:
 - Počet motohodin kompresoru v roce
 - Četnost spínání kompresoru za hodinu
 - Provozní otáčky kompresoru u invertorových typů
 - Podíl provozu bivalentního zdroje
- **Nejen technické ...**
 - Cena tepelného čerpadla
 - Spotřeba elektrické energie
 - Akustické projevy
 - ...

Vliv na
životnost
kompresoru



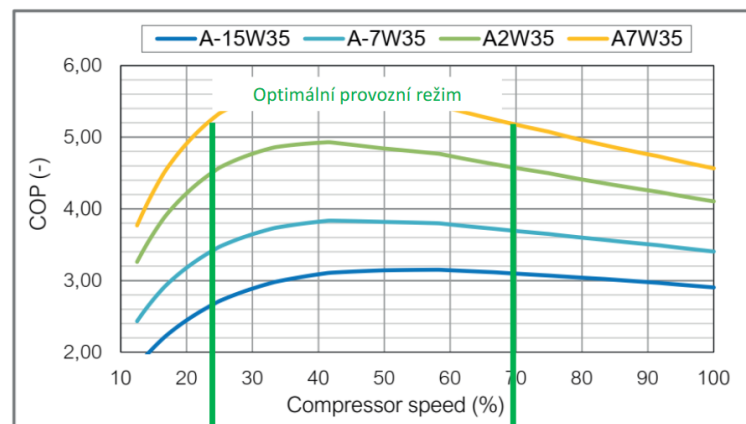
JAKÉ ZNÁME ZPŮSOBY NÁVRHU TEPELNÝCH ČERPADEL VZDUCH-VODA?

- Příklad provozní rozmanitosti TČ s ekvitermní řízenou výstupní teplotou



STUDIE ENERGETICKÉ OPTIMALIZACE NÁVRHU TČ

- Základní otázka byla:
 - Jak usnadnit projektantovi cestu k optimální volbě tepelného čerpadla vzduch-voda?
- Jakou cestou jsme šli:
 - Zkušenosti projektantů GT Energy z provozu TČ a měřených dat z instalací
 - Pokročilé výpočty využívající dynamické simulace ročního provozu



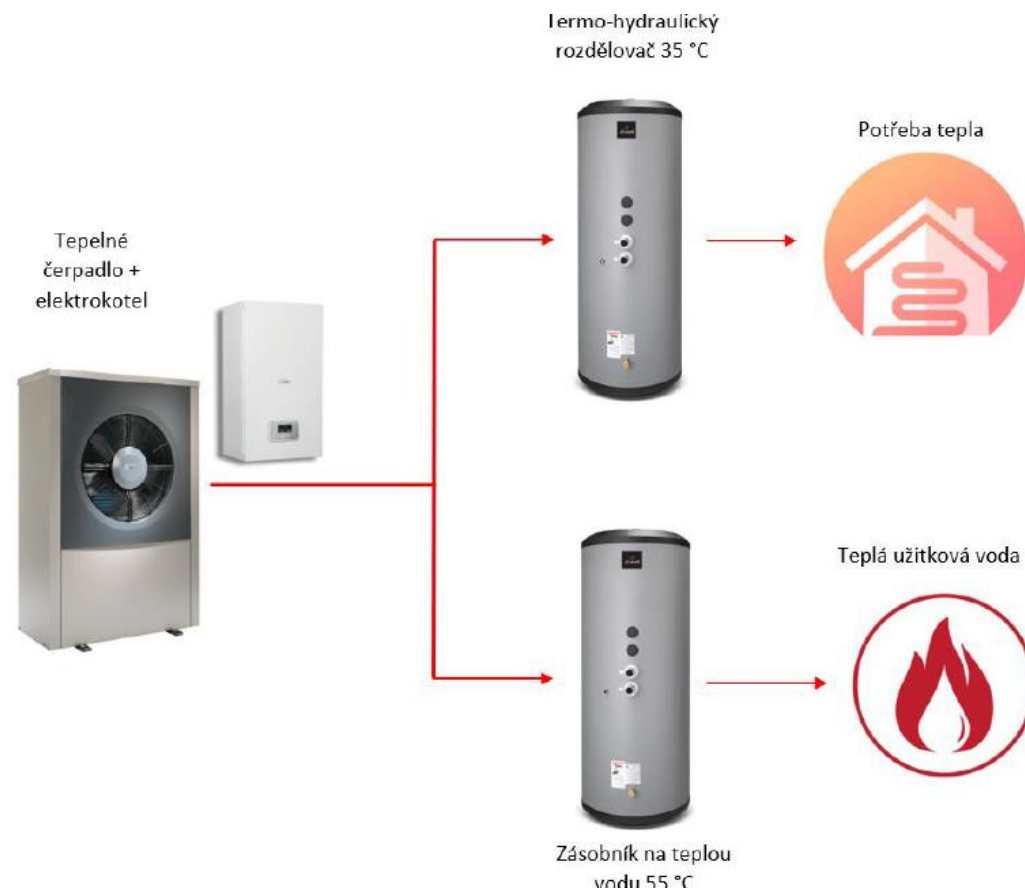
Nízké COP
Horší mazání kompresoru
Vyšší opotřebení
Cyklování kompresoru při předimenzování

Nízký COP
Vyšší hlučnost
Vyšší opotřebení

*Beber, R. Jak dimenzovat
tepelná čerpadla vzduch/voda*

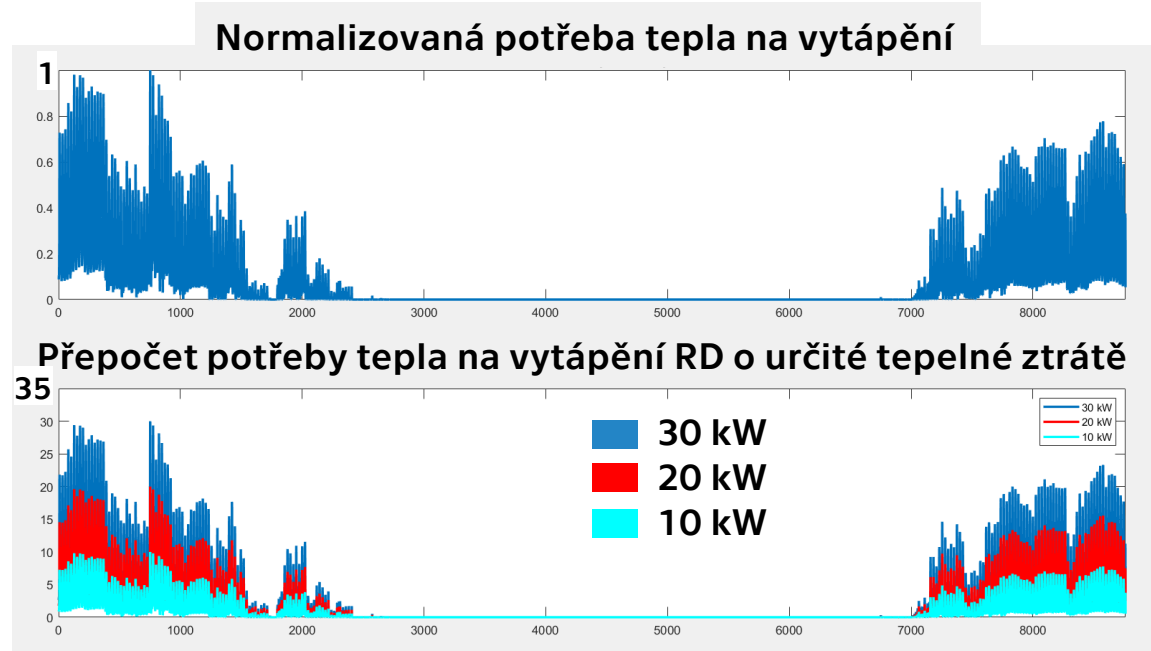
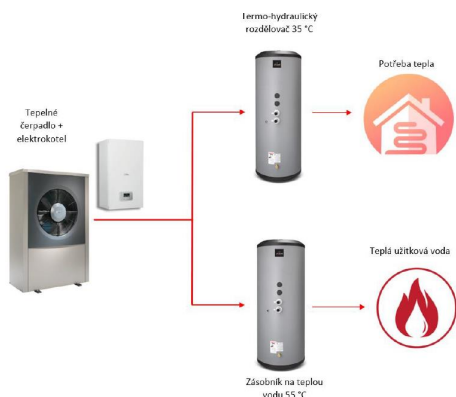
STUDIE ENERGETICKÉ OPTIMALIZACE NÁVRHU TČ

- Model v prostředí programu Trnsys
- Tepelné čerpadlo vzduch-voda
 - model pracuje s provozními daty TČ řad
 - AIR X 50, 70, 90, 130, 170
 - Heliotherm S30L-M, S40L-M, S55L-M
- ovšem pouze On/Off



STUDIE ENERGETICKÉ OPTIMALIZACE NÁVRHU TČ

- Model v prostředí programu Trnsys
- Potřeba tepla
 - normalizovaný profil na vytápění na základě simulované potřeby rodinného domu,
 - Potřeba TV pro čtyřčlennou domácnost.

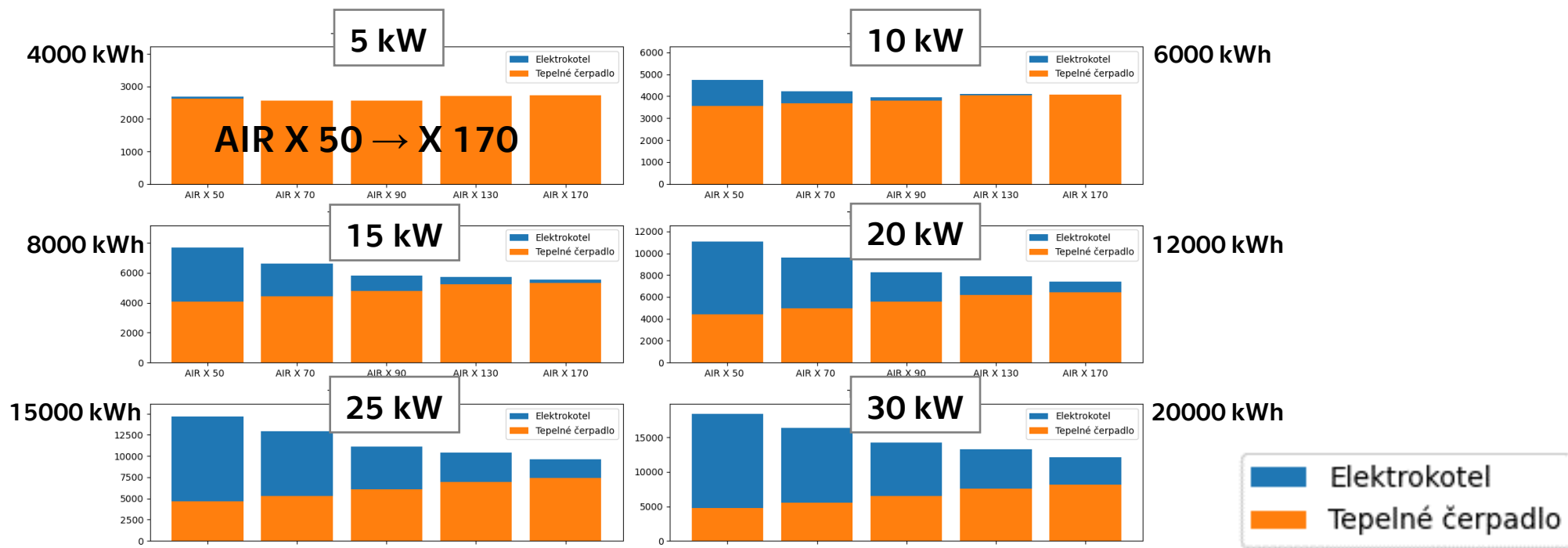


STUDIE ENERGETICKÉ OPTIMALIZACE NÁVRHU TČ

- Vypočteny tři skupiny parametrů:
 - Roční spotřeba elektrické energie
 - Roční počet motohodin
 - Investiční náklady
- Z jejich výsledků zohledněním váhy každého z parametrů vznikly dvě varianty návrhu TČ.

STUDIE ENERGETICKÉ OPTIMALIZACE NÁVRHU TČ

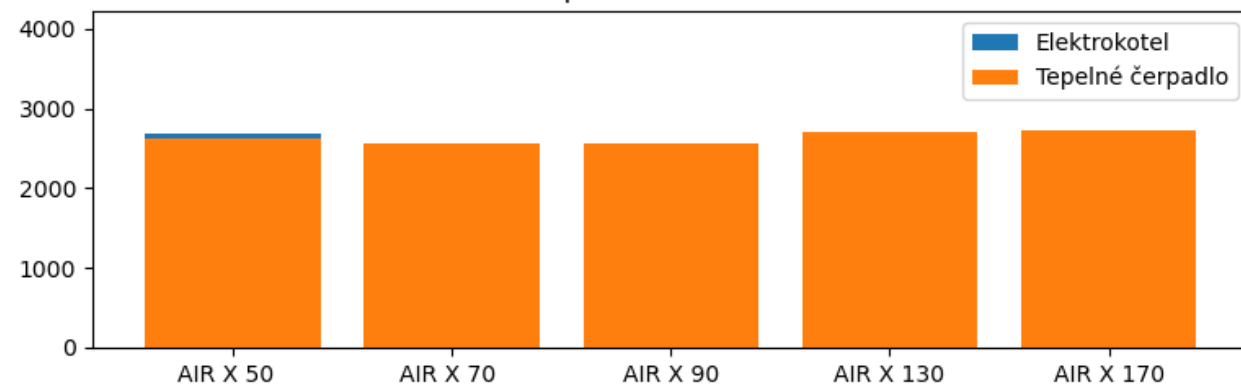
- **Roční spotřeba elektrické energie:**
 - Pro tepelné ztráty (při -12 °C): AIR X 5 až 30 kW; Heliotherm 40 až 90 kW
 - Při teplotě topné vody 35 °C
- Vypočtena spotřeba elektrické energie a zastoupení TČ a bivalentního zdroje



STUDIE ENERGETICKÉ OPTIMALIZACE NÁVRHU TČ

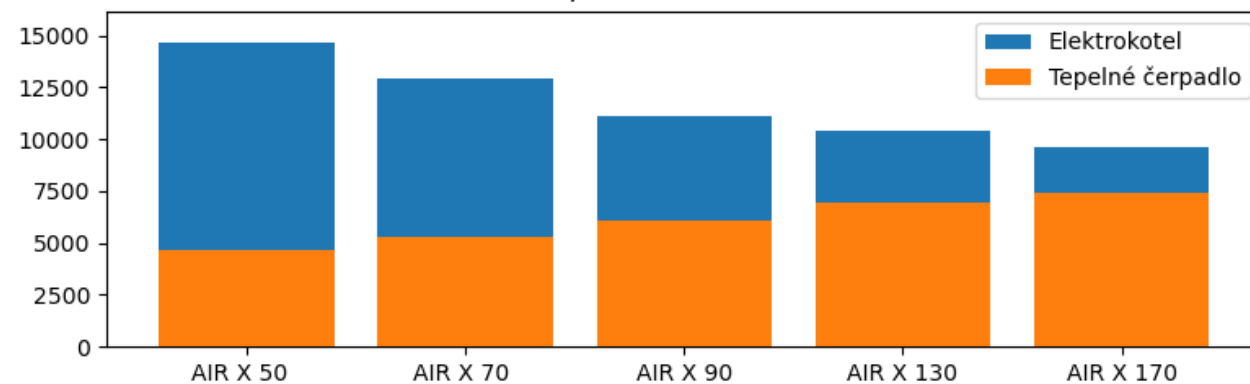
- **Roční spotřeba elektrické energie:**
 - Pro tepelné ztráty (při $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$): AIR X 5 až 30 kW; Heliotherm 40 až 90 kW
 - Při teplotě topné vody $35\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - Vypočtena spotřeba elektrické energie a zastoupení TČ a bivalentního zdroje

Tepelná ztráta 5 kW



Prakticky „stoprocentní“ pokrytí potřeby tepla při vysokém počtu sepnutí kompresoru

Tepelná ztráta 25 kW

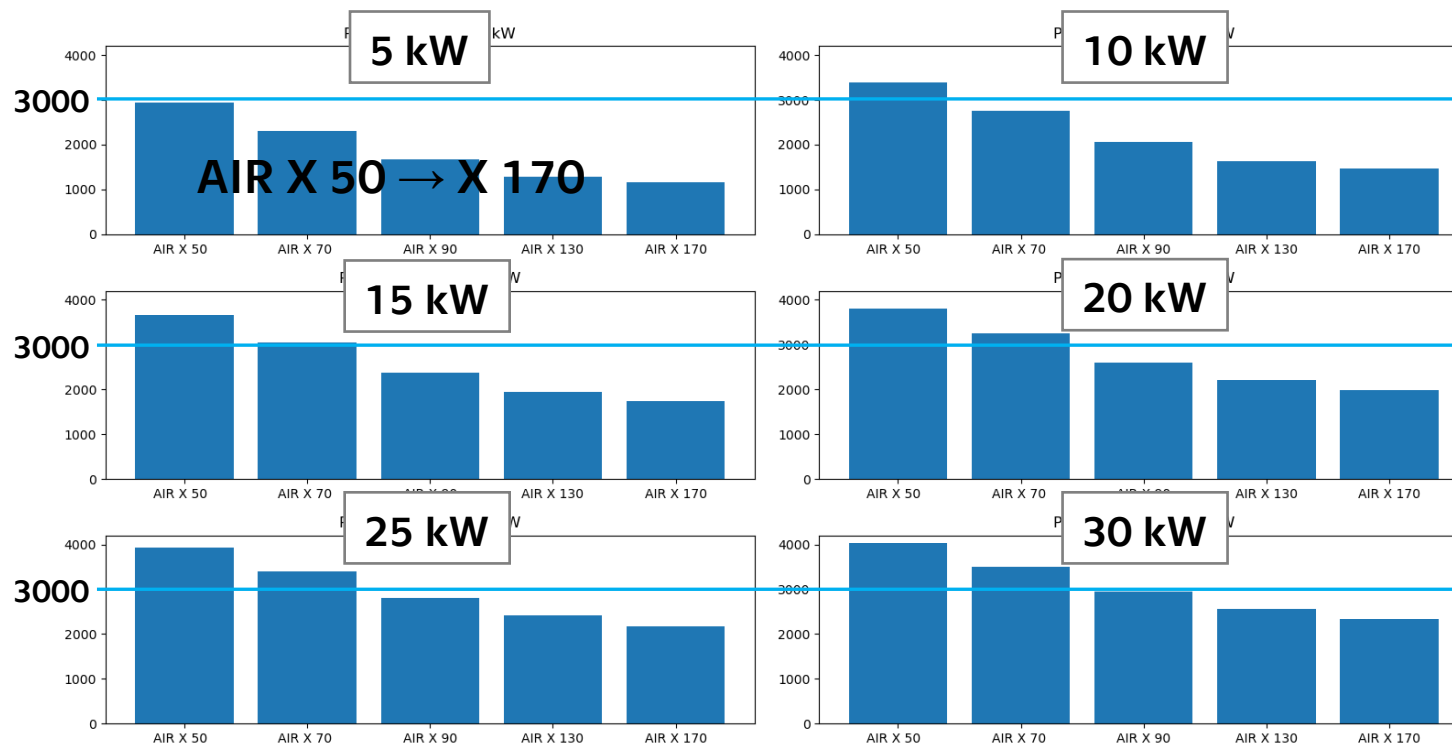


„Plné vytížení“ TČ, téměř bez zastávky s vysokým podílem bivalentního zdroje na pokrytí potřeby tepla

Měřítko spotřeby elektrické energie nemůže být jediným optimalizačním kritériem návrhu TČ.

STUDIE ENERGETICKÉ OPTIMALIZACE NÁVRHU TČ

- **Roční počet motohodin**
 - Vypočteno při On/Off řízení – orientační hodnoty
 - TČ regulovaná pomocí on/off řízení jsou v provozu kratší dobu při vyšším výkonu než TČ s invertorovým řízením.



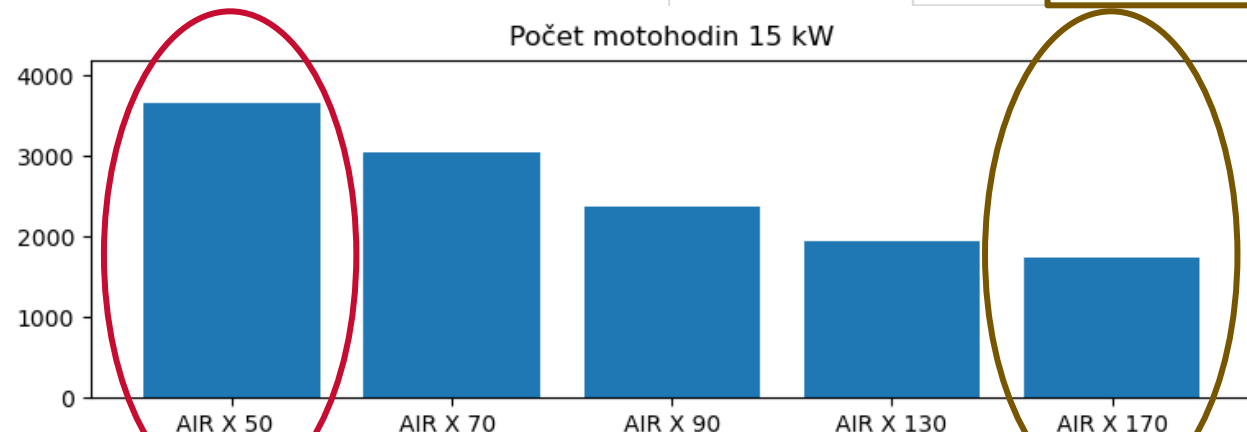
STUDIE ENERGETICKÉ OPTIMALIZACE NÁVRHU TČ

- **Roční počet motohodin**
 - Vypočteno při On/Off řízení – orientační hodnoty
 - TČ regulovaná pomocí on/off řízení jsou v provozu kratší dobu při vyšším výkonu než TČ s invertorovým řízením.

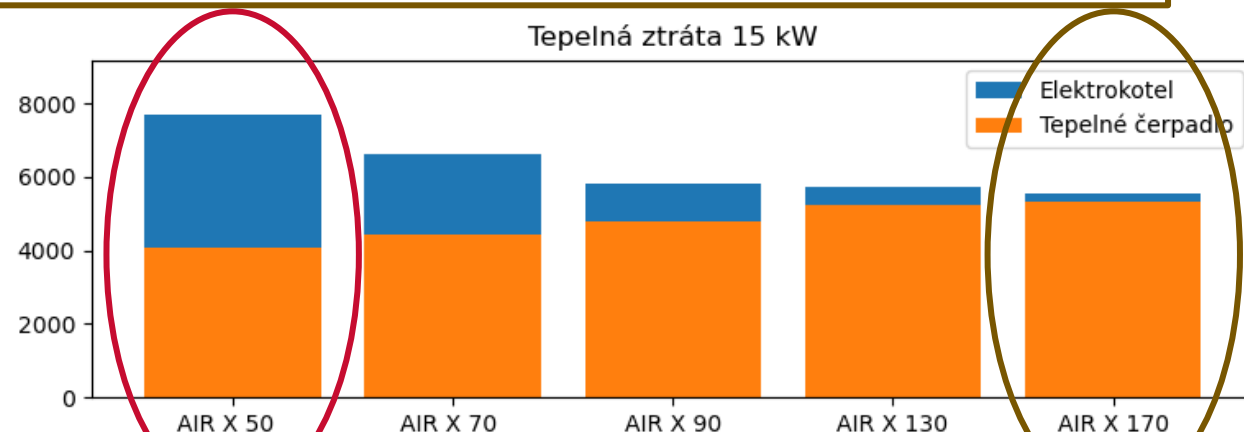
Relativně nízký počet motohodin při vysoké četnosti startů

Počet motohodin 15 kW

5 kW



Tepelná ztráta 15 kW



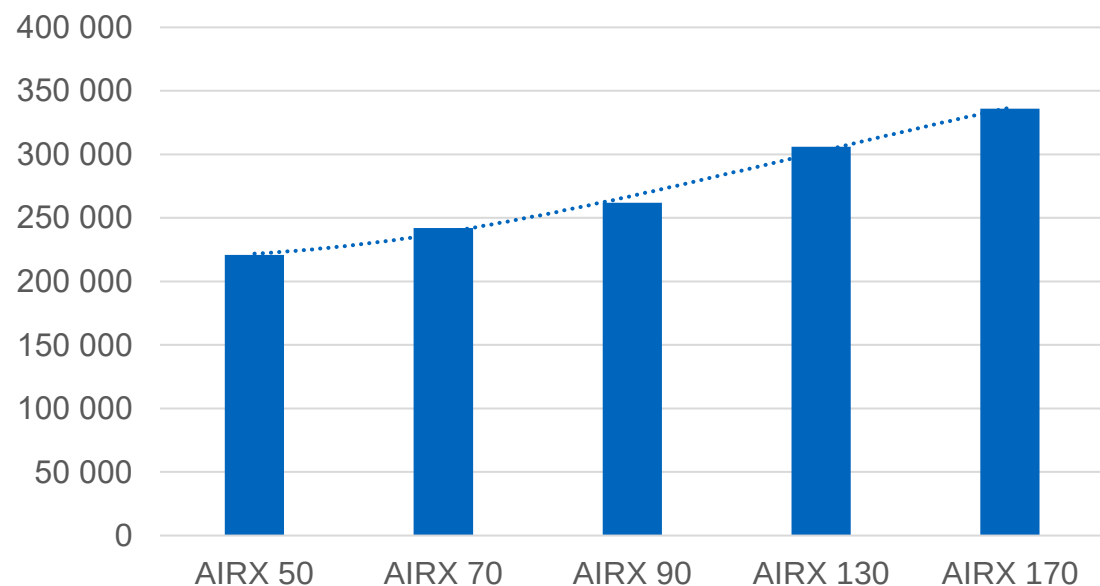
Relativně vysoký počet motohodin při nízkém podílu na spotřebě

Počtem motohodin a startů kompresoru v roce lze zúžit množinu blížíící se k optimální volbě.

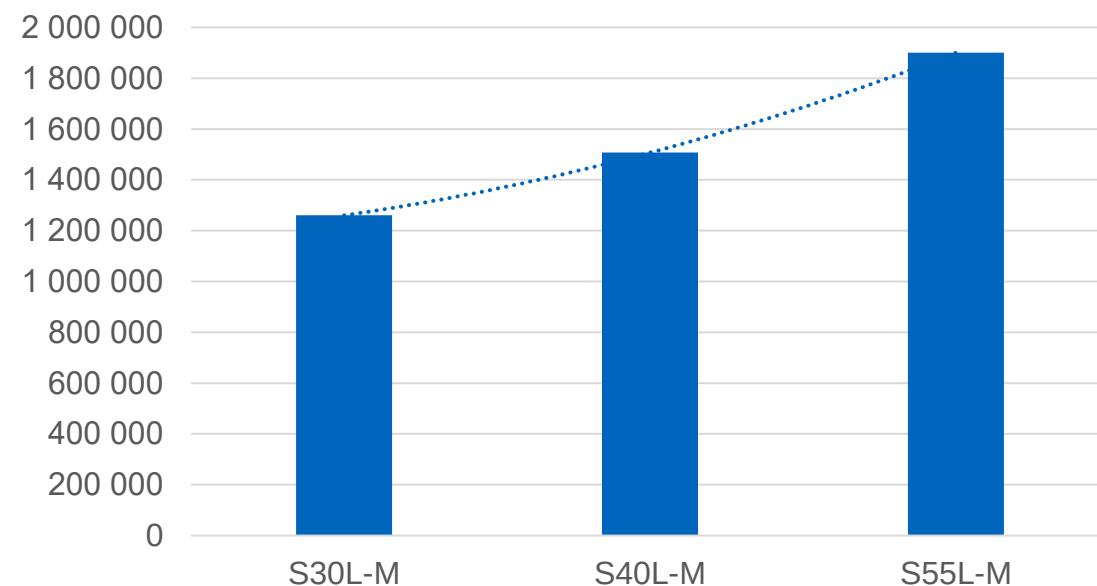
STUDIE ENERGETICKÉ OPTIMALIZACE NÁVRHU TČ

- **Investiční náklady**
 - Rozdíly v cenách mezi výkonovými typy v řadě nejsou lineární
 - Rozdíly mezi řadami mohou být násobné

Investiční náklady řady AIR X



Investiční náklady řady Heliotherm



Investiční náklady jsou velmi citlivým parametrem, který může změnit vše ...

STUDIE ENERGETICKÉ OPTIMALIZACE NÁVRHU TČ

- **Optimalizační funkce – Varianty 1 a 2**
 - Pro výpočet optimalizační funkce byly nastaveny váhy výše zmíněným parametrům.

Varianta 1

Parametr	Váha
Spotřeba elektřiny	0,5
Počet motohodin	0,25
Investiční náklady	0,25

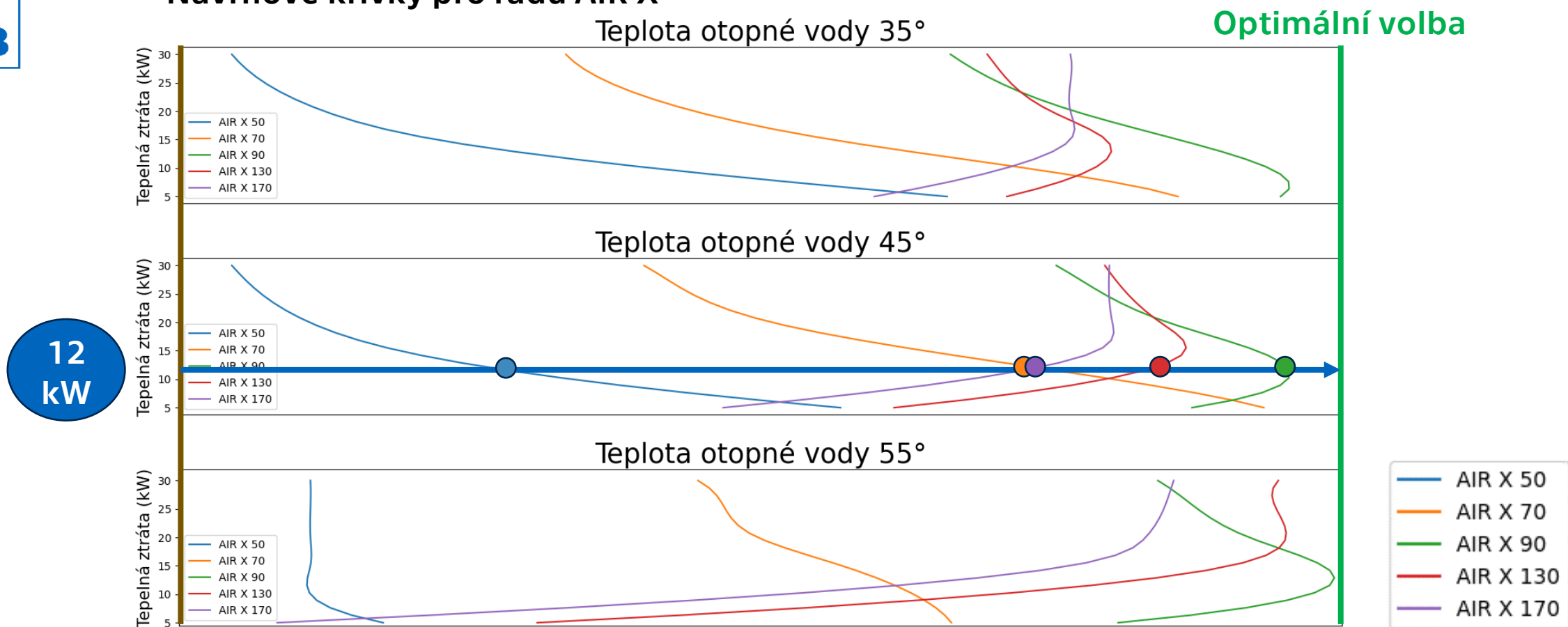
Varianta 2

Parametr	Váha
Spotřeba elektřiny	0,33
Počet motohodin	0,33
Investiční náklady	0,33

STUDIE ENERGETICKÉ OPTIMALIZACE NÁVRHU TČ

Optimalizační funkce – Varianta 1

Návrhové křivky pro řadu AIR X





ČVUT

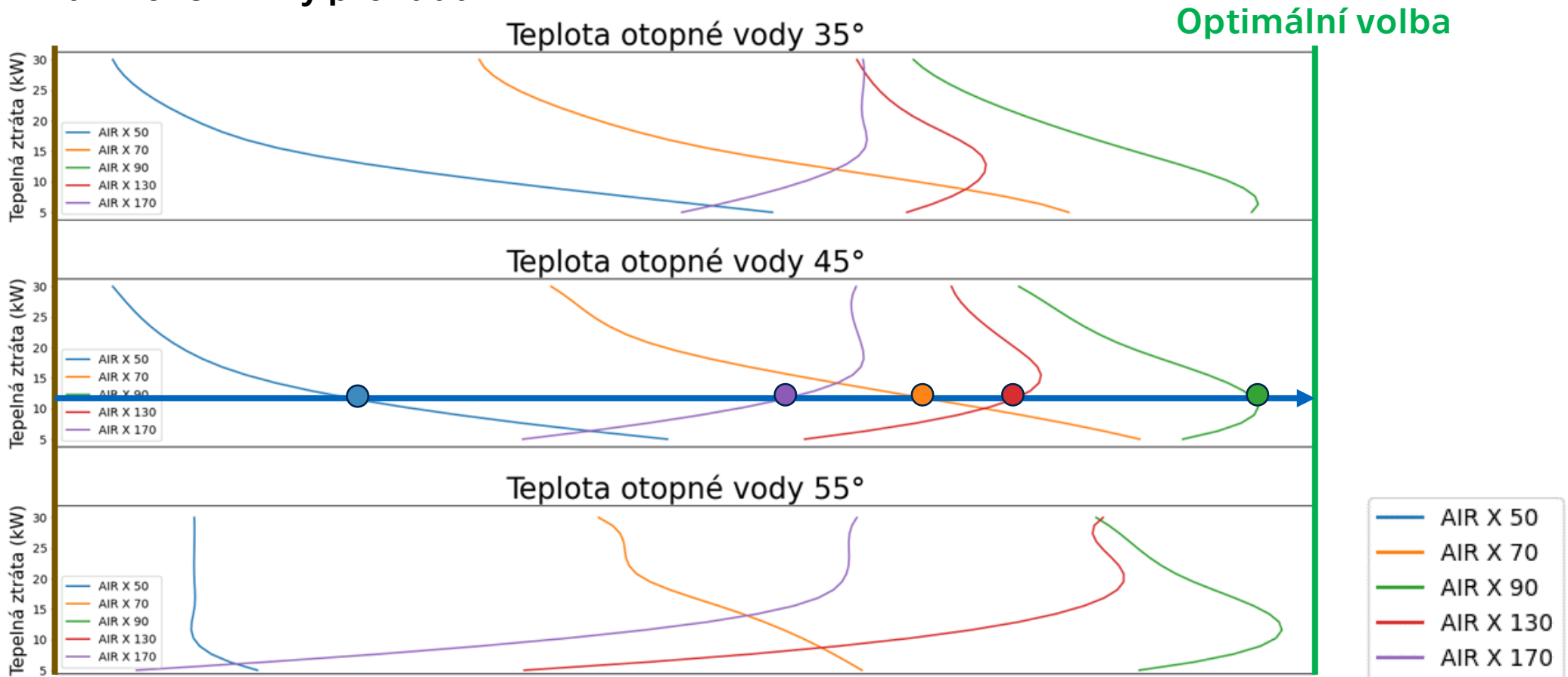
UCEEB

STUDIE ENERGETICKÉ OPTIMALIZACE NÁVRHU TČ

Optimalizační funkce – Varianta 2

Návrhové křivky pro řadu AIR X

12
kW





ČVUT

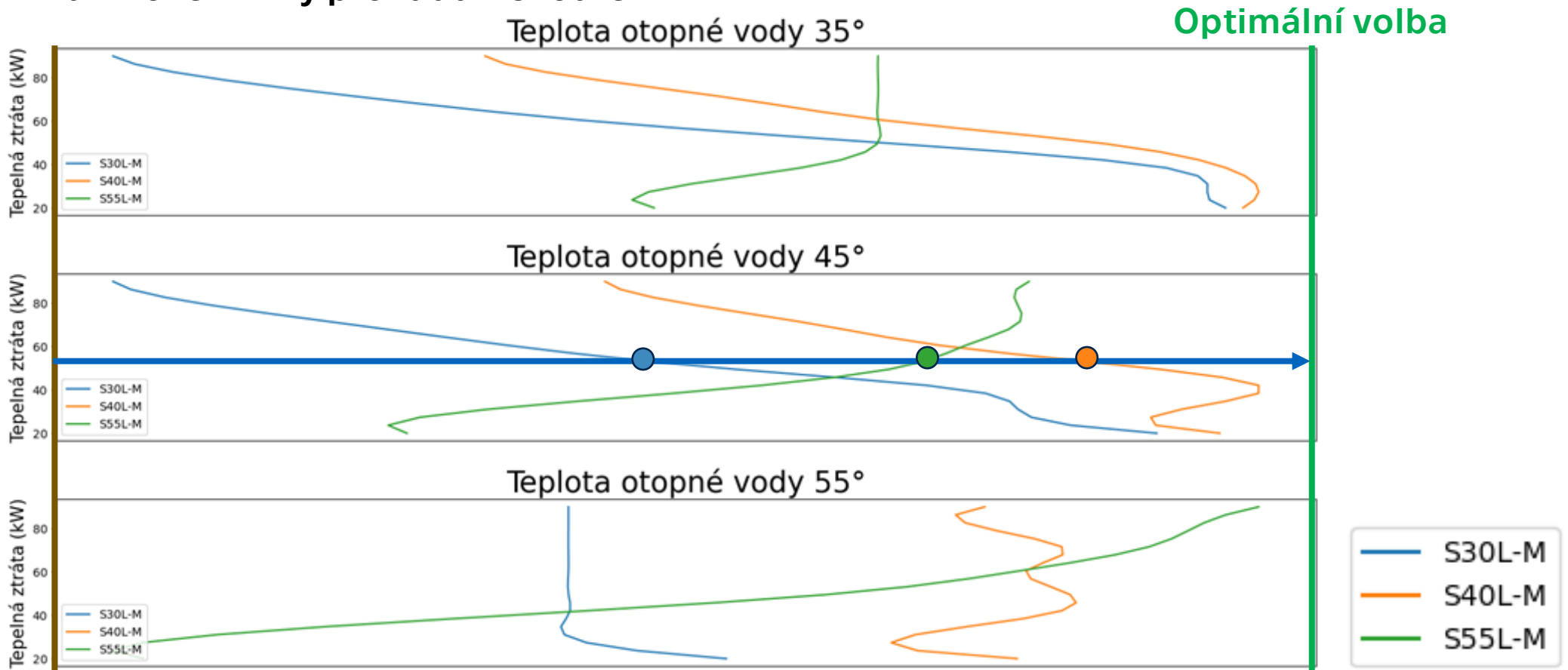
UCEEB

STUDIE ENERGETICKÉ OPTIMALIZACE NÁVRHU TČ

- Optimalizační funkce – Varianta 1

- Návrhové křivky pro řadu Heliotherm

55
kW





ČVUT

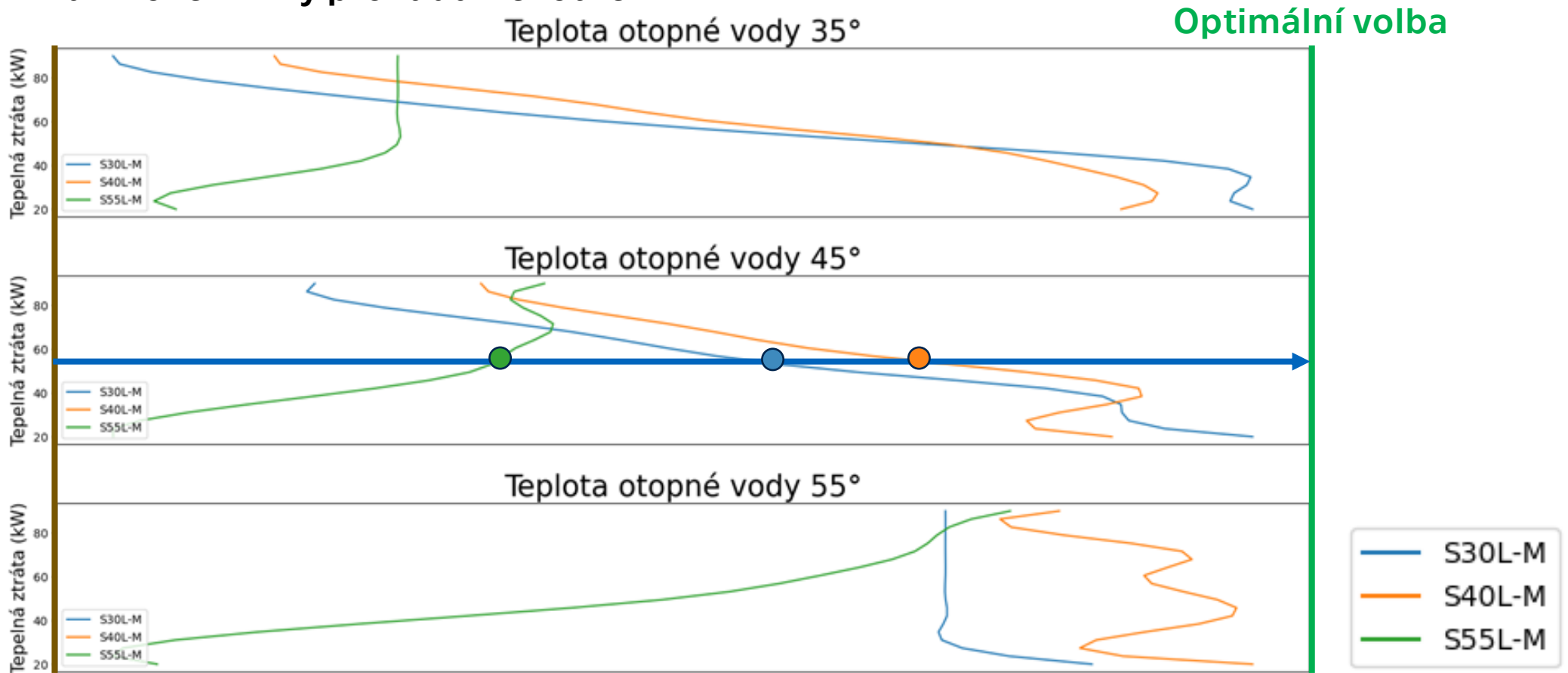
UCEEB

STUDIE ENERGETICKÉ OPTIMALIZACE NÁVRHU TČ

- Optimalizační funkce – Varianta 2

- Návrhové křivky pro řadu Heliotherm

55
kW



STUDIE ENERGETICKÉ OPTIMALIZACE NÁVRHU TČ

- **Optimalizační funkce – Varianta 1 a 2**
 - Přináší výhody škálovat optimální variantu dle priorit zadavatele.
 - Například:
 - Pokud zadavatel nemá prioritu mezi investičními náklady a provozní spotřebou energie (varianta 2),
 - dostávají se do popředí spíše středně výkonná TČ v řadě,
 - v jejichž provozu se rovnoměrně vyvažuje celková spotřeba energie, počet motohodin a investiční náklady.

STUDIE ENERGETICKÉ OPTIMALIZACE NÁVRHU TČ

- **Optimalizační funkce – Varianta 1 a 2**
 - Přináší výhody škálovat optimální variantu dle priorit zadavatele.
 - Například:
 - Pokud zadavatel upřednostňuje provozní spotřebu energie (varianta 1),
 - dostávají se do popředí spíše výkonnější TČ s menším zastoupením bivalentního zdroje v pokrytí spotřeby,
 - s nižším počtem motohodin,
 - Ale vyššími investičními náklady.
 - Zároveň přináší nevýhody počítat optimalizační funkci pro každý případ.
 - A je obtížně prezentovatelná ... ☹️.

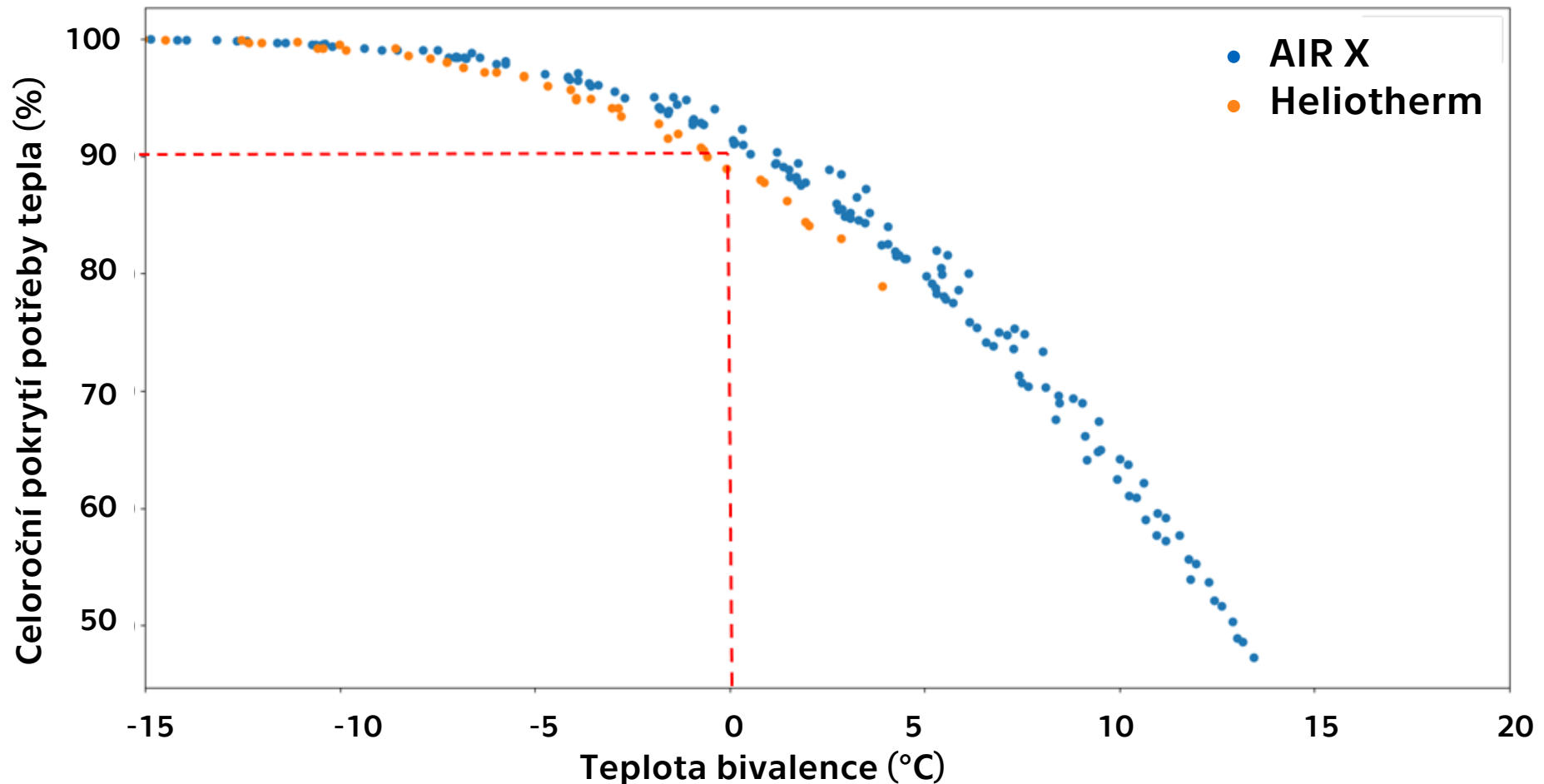


ČVUT

UCEEB

ZJEDNODUŠENÍ OPTIMALIZACE

- Vyjádření výsledků výpočtů s co nejširší aplikací.
- Závislost mezi stanovenou teplotou bivalence a celoročním pokrytím potřeby tepla



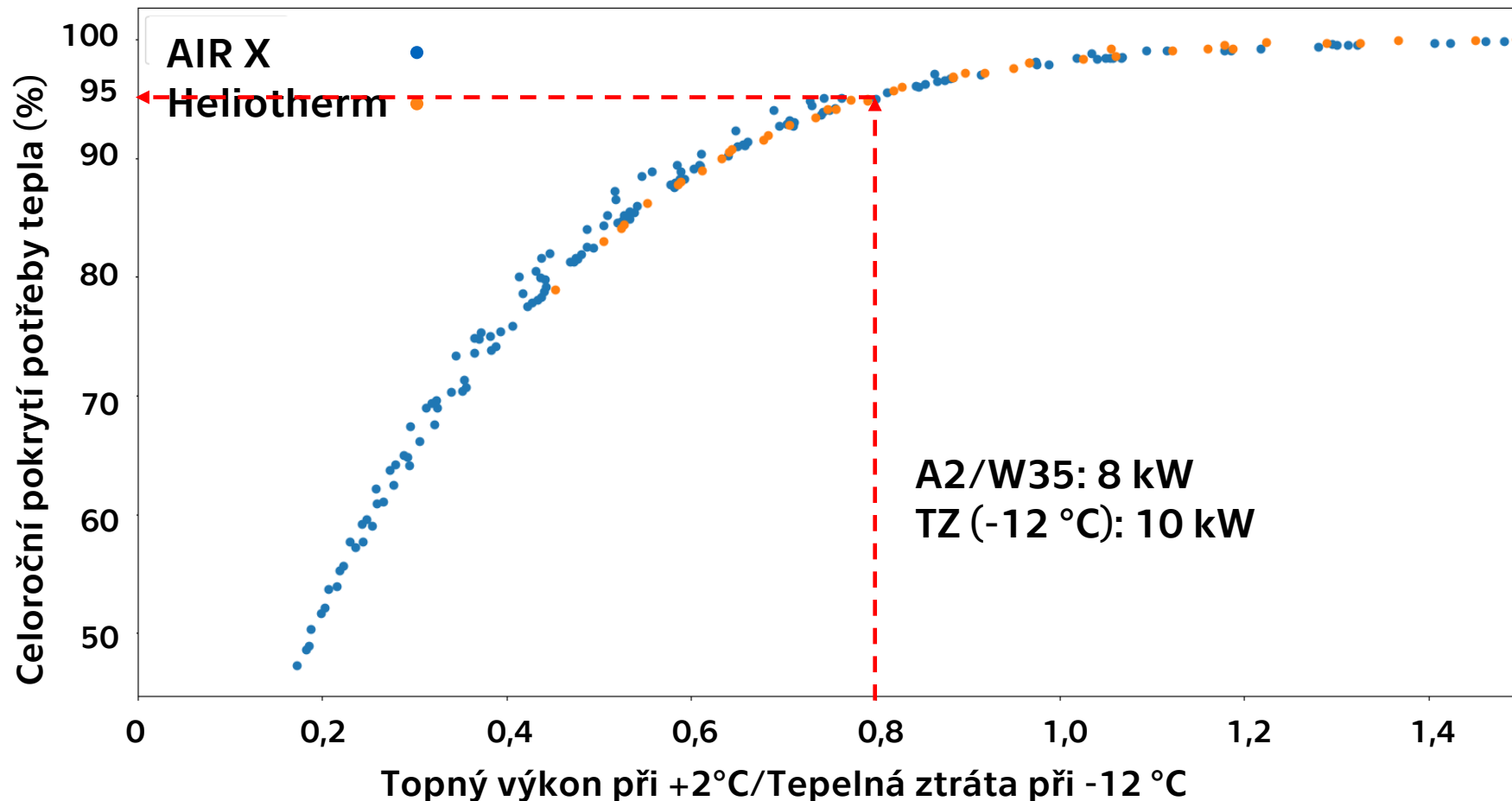


ČVUT

UCEEB

ZJEDNODUŠENÍ OPTIMALIZACE

- Vyjádření výsledků výpočtů s co nejširší aplikací.
- Závislost mezi topným výkonem/tepelnou ztrátou a celoročním pokrytím potřeby tepla



SHRNUTÍ

- Energetická optimalizace tepelného čerpadla pro jednotlivý případ je možná a lze ji udělat docela přesně dle zadání investora.
- Zobecnění napříč různými případy je obtížné.
 - Je možné při zjednodušení vlivu některých parametrů.
- Přináší však podrobný vhled do navrhované situace a zohledňuje parametry v běžném návrhu pomíjené.



DĚKUJI ZA POZORNOST

Daniel Adamovský

daniel.adamovsky@cvut.cz