

2022

Energetiniai centrai (energy hubs) ir jų optimizavimas:
įvadas į idėją + modeliavimo pavyzdys ir kainos signalo paradoksas
(link nacionalinio šilumos taupymo instrumento)



Raimondas Kuodis

LB, VU

[Versija 1.0, 2022.09.22, pastaboms/papildymui]

Turinys

Aplinka: karas ir energijos krizė.....	2
Energetinis centras: idėjos esmė.....	3
Energetinis centras: ištakos.....	4
Energetinės sistemos: paradigmos kaita.....	6
Energetinės sistemos: paradigmos kaita grafiškai	9
Daugybiniai energetinio centro poreikiai.....	13
Energetinio centro modeliavimo problema	14
Energetinio centro optimizavimo modelio pavyzdys	16
Modelis #1: minimizuojam išlaidas	25
Modelis #2: minimizuojam energijos vartojimą – paradoksas/neparadoksas.....	30
Modelis #0 (status quo): neoptimizuojam iš viso	35
Išvada: optimizavimas jums apsimoka (smarkiai)	37
Link nacionalinio instrumento.....	39

Aplinka: karas ir energijos krizė

- **Karas** ir susijusi ES **energijos krizė** verčia greitai ieškoti energijos **taupymo** sprendimų.
- Galimai ES ir toliau judės į (kontraversišką) **valandinę kainodarą** energetikoje ir pan.
- Šioje prezentacijoje aprašomas vienas iš (nacionalinio) energijos vartojimo valdymo **sprendimų tokioje aplinkoje**.

Energetinis centras: idėjos esmė

- Pasaulis senai žino, kas yra **systeminis mąstymas, sinergija** ir pan.
- Pasaulis ne taip senai įvaldė **matematinį modeliavimą, optimizavimo metodus**, įmantrius **matavimo** metodus, **daiktų internetą** (IoT), visą eilę „išmaniųjų“ (*smart*) daiktų ir netgi politikų.
- **Energetinėse sistemose** rimtesnis **proveržis šia kryptim** atėjo dar vėliau – prieš maždaug 15 metų.

Energetinis centras: ištakos

■ In 2002, a research project entitled “Vision of Future Energy Networks (VoFEN)” was introduced, with the purpose of creating an **optimal energy infrastructure** for the target year of 2050. The project focused on developing a generic model and an analysis framework. In **2005**, the same team introduced the **concept of energy hubs**:

- Geidl, M.; Koepfel, G.; Favre-Perrod, P.; Klöckl, B.; Andersson, G.; Fröhlich, K. **The Energy Hub—A Powerful Concept for Future Energy Systems**. In Proceedings of the Third Annual Carnegie Mellon Conference on the Electricity Industry, [Pittsburgh, PA, USA, 13–14 March 2007; pp. 1–10.
- Geidl, M.; Favre-Perrod, P.; Klöckl, B.; Koepfel, G. **A greenfield approach for future power systems**. In Proceedings of the 41st CIGRE Session 2006, Paris, France, 27 August–1 September 2006; p. 10.

- Favre-Perrod, P. **A vision of future energy networks.** In Proceedings of the 2005 IEEE Power Engineering Society Inaugural Conference and Exposition in Africa, Durban, South Africa, 11–15 July 2005.
- Geidl, M.; Koepfel, G.; Favre-Perrod, P.; Klockl, B.; Andersson, G.; Frohlich, K. **Energy hubs for the future.** IEEE Power Energy Mag. 2007, 5, 24–30.

Energetinės sistemos: paradigmos kaita

- In the **past**, different **energy systems** were **planned and managed independently**. But nowadays the development of technologies such as efficient **multi-generation system**, lead to realizing the **benefits of integrated energy infrastructure** such as electricity, natural gas, and district heating (DH) networks, and thus a rapid movement toward multi-energy systems (MES).
- In such systems, different **energy carriers and systems interact together in a synergistic way**. However, consideration of such a concept requires a **suitable tool for integrated management** of the system components.

■ **Energy hub** (EH) that can be defined as the **place where the production, conversion, storage and consumption of different energy carriers takes place**, is a promising option for integrated management of MES.

...

■ Energetinių centrų tema yra gana nauja, bet tai yra **labai netolima ateitis**, tad šioje prezentacijoje trumpai pažiūrėsime į idėjos naudą visuomenei.

■ **Atsinaujinančių energijos išteklių** (AEI), su savo **fiziniu gamybos nepastovumu** (intermittency) ir **ekonominiu nepastovumu** senajai bazinei **gamybai** plėtra irgi reikalauja **požiūrio keitimo**. Gal ne tokiu mastu kaip kalbama („visi turės tapt optimizuotojais“), bet...

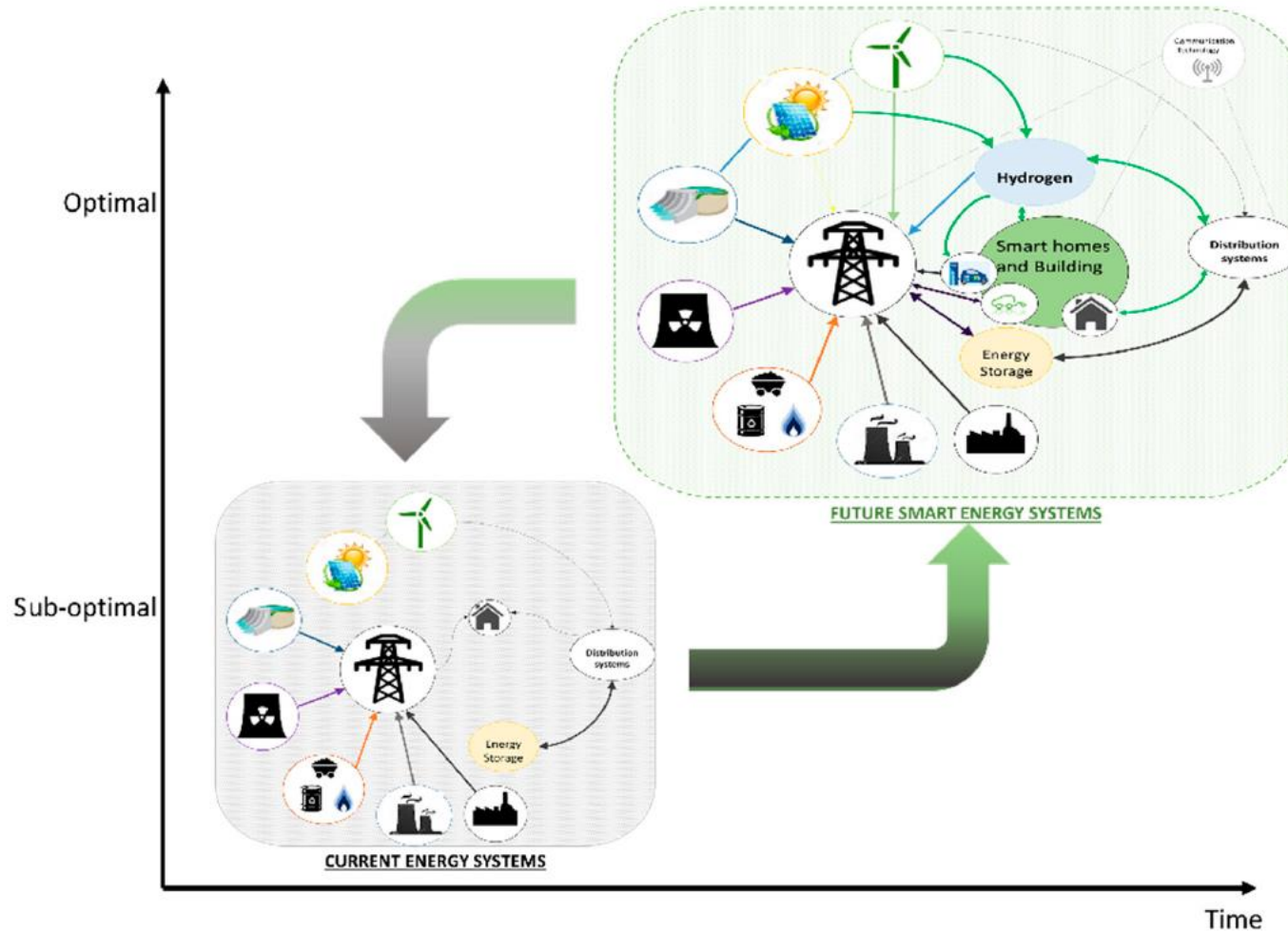
Aptarimui: laisvės paradoksas, kognityviniai/informaciniai apribojimai

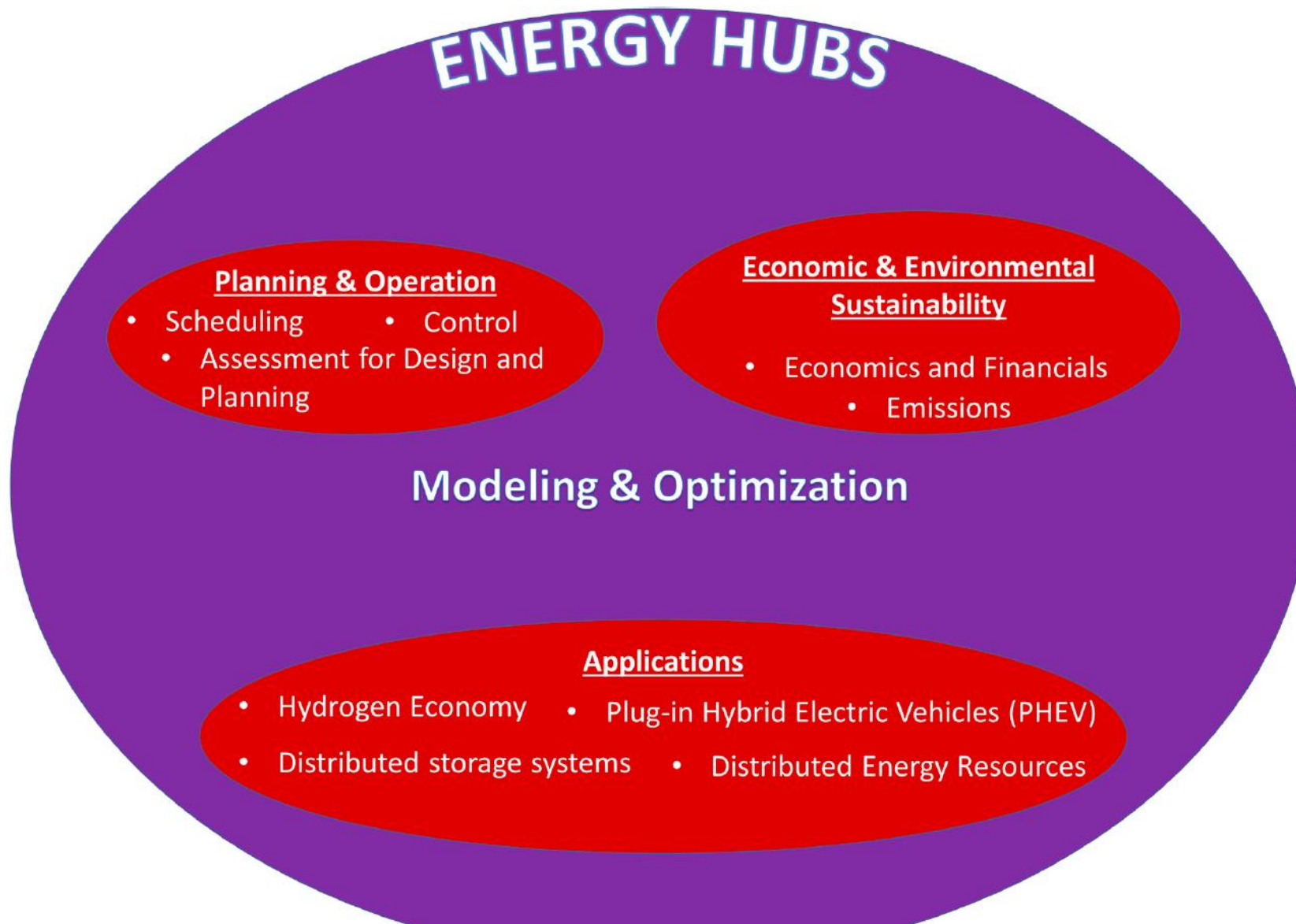
Ar pasirinkimo laisvė visada vienareikšmiškai gerai?

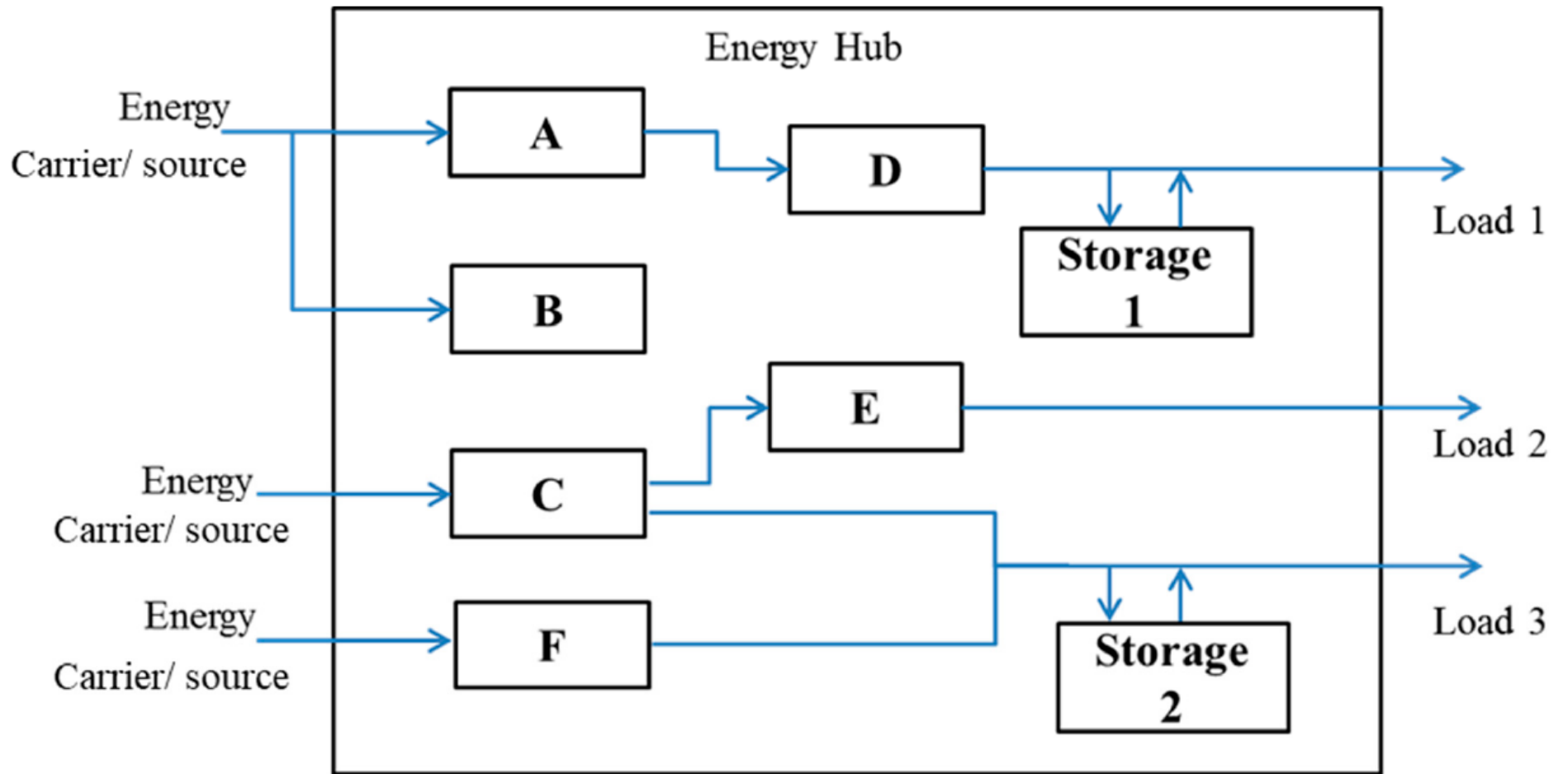
Pakibimas sudėtinguose sprendimuose

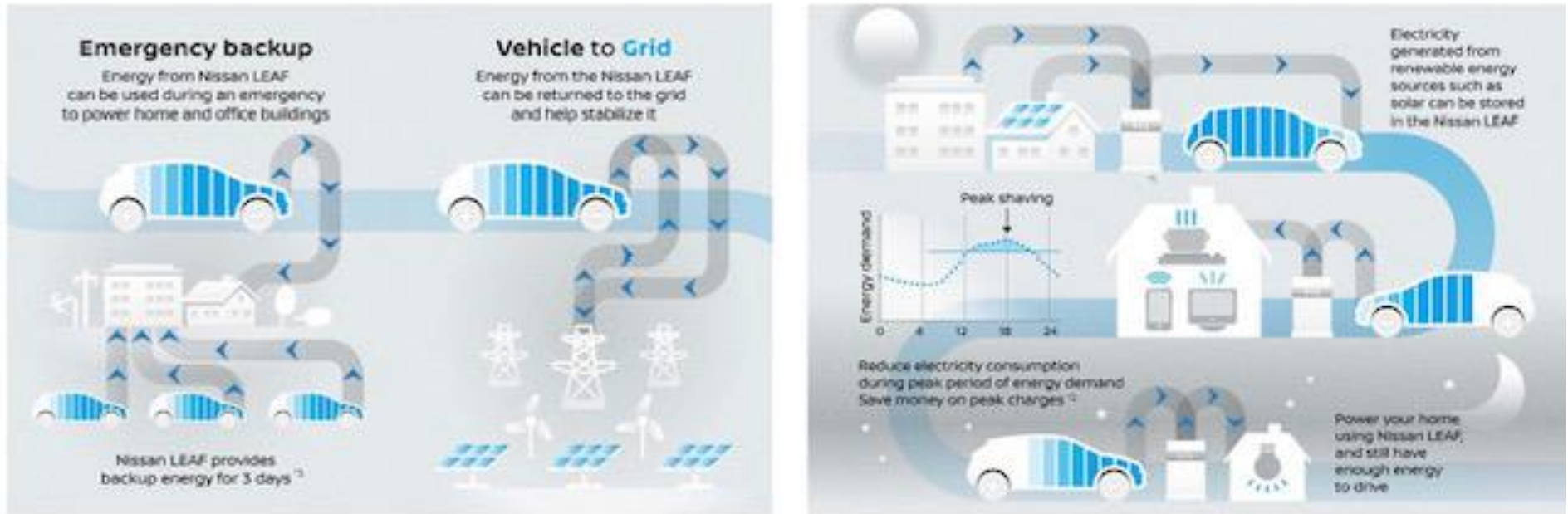
Laiko/dėmesio/emociniai kaštai

Energetinės sistemos: paradigmos kaita grafiškai



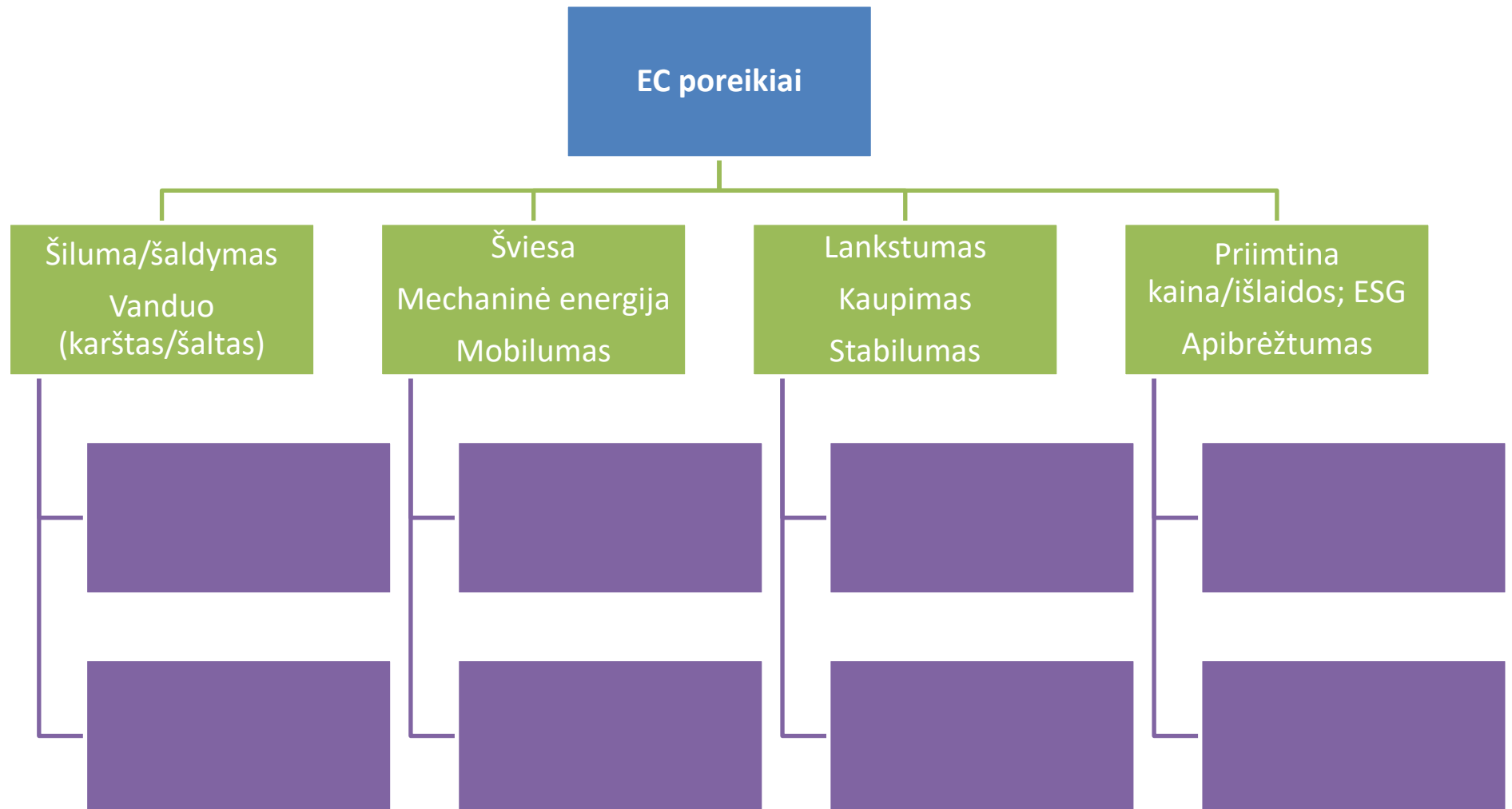






Vehicle to Home and Vehicle to Grid (V2H and V2G) functionality

Daugybiniai energetinio centro poreikiai



Energetinio centro modeliavimo problema

- **Ką modeliuosim.** Tarkime, kad turite **biurą/gamybines patalpas** (ar tiesiog **butą/namą**):
 - kuriame darbo valandomis **dirba žmonės** ar tiesiog **gyvena šeima**;
 - todėl dėl **higienos normų** reikia palaikyti tinkamą/komfortišką **temperatūrą** darbuotojams;
 - jūs turite galimybę **lanksčiai reguliuoti energijos pirkimą** šilumą gaminančiam įrenginiui (**šilumos siurbliui** pavyzdyje).
- **Ar tai energetinis centras.** Taip, nes pats **oras patalpoje** yra šiluminės energijos kaupimo **baterija**. Be to, jūs galite norėti instaliuoti ir **cheminės energijos bateriją** etc.

■ **Problema.** Kaip **optimaliai** pirkti elektros energiją (**kada** pirkti ir **kiek**), kad minimizuot kažkurią iš **tikslo funkcijų**:

- min perkamos energijos **kiekį** (kWh);
- min **išlaidas** perkamai energijai (€).

Energetinio centro optimizavimo modelio pavyzdys

■ **Aibės.** Turim:

- **Energetinių renginių** aibę $i = \{1, \dots, n\}$. Pavyzdžiui, i_1 yra šilumos siurblys, i_2 – energijos kaupimo įrenginys, ir t.t.;
- **laikotarpių** (valandų) aibę $t = \{1, \dots, T\}$.

■ **Duomenų poreikis/parametrai.** Turime:

- p_t : **rytdienos** (day-ahead) **valandines elektros energijos kainas** (pavyzdžiui, Nordpool atitinkamoje geografinėje zonoje);
- $tout_t$: **prognozuojamą (efektyvią) lauko temperatūrą**;
- $tinmax_t$; $tinmin_t$: apribojimą, kokiame **intervale** gali svyruoti **vidaus temperatūra** (pavyzdyje 15 laipsnių minimumas nedarbo valandom, 20 – darbo);

- *eff*: šilumos siurblio **efektyvumo koeficientas**;
- *a*: parametras, rodantis **kokio dydžio tūrį reikia apšildyt**;
- *b*: parametras, rodantis **kaip greitai patalpa praranda šilumą**.

Šilumos suvartojimas (dėl sienų ir langų laidumo bei konvekcijos²⁷).

Šilumos suvartojimas (xh) (kWh/mėn) (dėl sienų ir langų laidumo ir konvekcijos): funkcija nuo:

- laiko ($t = 24h/d * 30d/mėn = 720h/mėn$),
- sienų ir langų ploto,
- sienų ir langų varžos,
- bei nuo (absoliutaus²⁸) skirtumo tarp vidaus (pavyzdžiui, 20°C) ir efektyvios²⁹ lauko temperatūros konkretų metų mėnesį³⁰.

²⁷ Šilumos nuostoliai dėl spinduliavimo šiame modelyje nemodeliuojami dėl mažo reikšmingumo, palyginti su laidumu ir konvekcija.

²⁸ Modelis gali būti naudojamas ne tik išlaidų šildymui, bet ir kondicionavimui analizei.

²⁹ Atsižvelgiant į konvekciją dėka vėjo.

³⁰ Gali būti ir kintanti laike, pavyzdžiui, jei tikimės tolesnio klimato šilimo.

$$xh = t \cdot l \cdot \frac{1}{R} (T_{in} - T_{out})$$

Wind Speed (mph)	Temperature (° F)															
	40	35	30	25	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	
5	36	31	25	19	13	7	1	-5	-11	-16	-22	-28	-34	-40	-46	
10	34	27	21	15	9	3	-4	-10	-16	-22	-28	-35	-41	-47	-53	
15	32	25	19	13	6	0	-7	-13	-19	-26	-32	-39	-45	-51	-58	
20	30	24	17	11	4	-2	-9	-15	-22	-29	-35	-42	-48	-55	-61	
25	29	23	16	9	3	-4	-11	-17	-24	-31	-37	-44	-51	-58	-64	
30	28	22	15	8	1	-5	-12	-19	-26	-33	-39	-46	-53	-60	-67	
35	28	21	14	7	0	-7	-14	-21	-27	-34	-41	-48	-55	-62	-69	
40	27	20	13	6	-1	-8	-15	-22	-29	-36	-43	-50	-57	-64	-71	
45	26	19	12	5	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72	
50	26	19	12	4	-3	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-60	-67	-74	
55	25	18	11	4	-3	-11	-18	-25	-32	-39	-46	-54	-61	-68	-75	

$$\text{wind chill} = 35.74 + 0.6215T - 35.75(V^{0.16}) + 0.4275T(V^{0.16})$$

■ Kintamieji.

Obj – tikslo funkcijos kintamasis;

x_t – pagrindinis **sprendimo kintamasis** (decision variable) yra kiek elektros energijos perkame valandą t ;

Exp – išlaidos elektros energijai per dieną;

tin_t – vidaus temperatūra valandą t .

■ Lygtys.

Tikslo funkcija (#1):

$$\text{Min } Obj = Exp$$

Modelio šerdis:

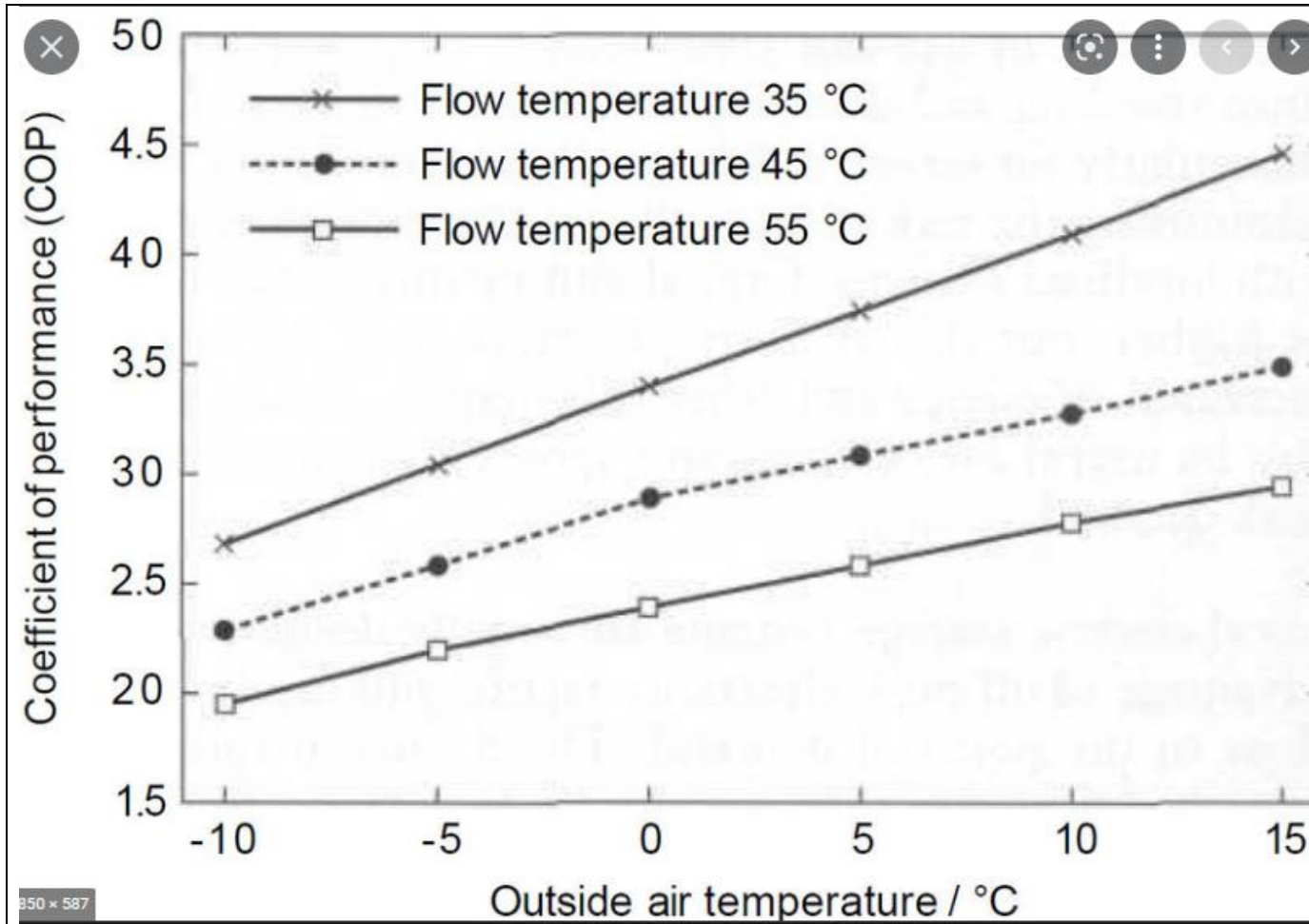
$$tin_{t+1} = tin_t + \frac{ax_t}{eff} - b(tin_t - tout_t)$$

Tapatybės:

$$Exp = \sum_{t=1}^T p_t x_t$$

Apribojimai:

$$tmin_t \leq tin_t \leq tmax_t$$



Pav. 2. Šilumos siurblio efektyvumo koeficientas.

Min $Obj = Exp$

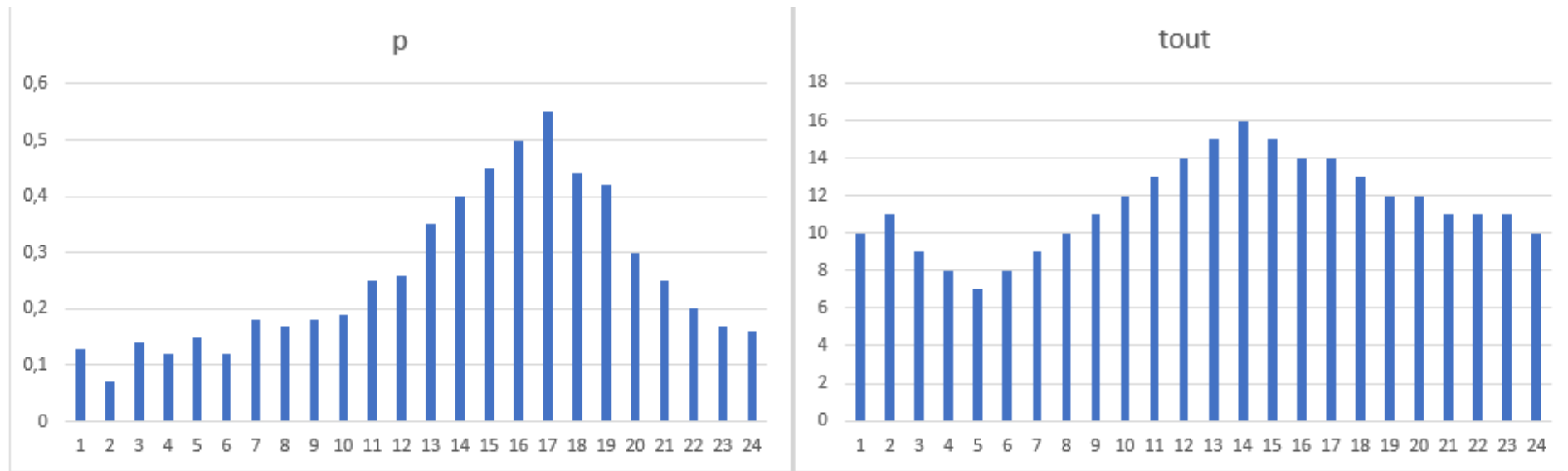
$$Exp = \sum_{t=1}^T p_t x_t$$

$$tin_{t+1} = tin_t + \frac{ax_t}{eff} - b(tin_t - tout_t)$$

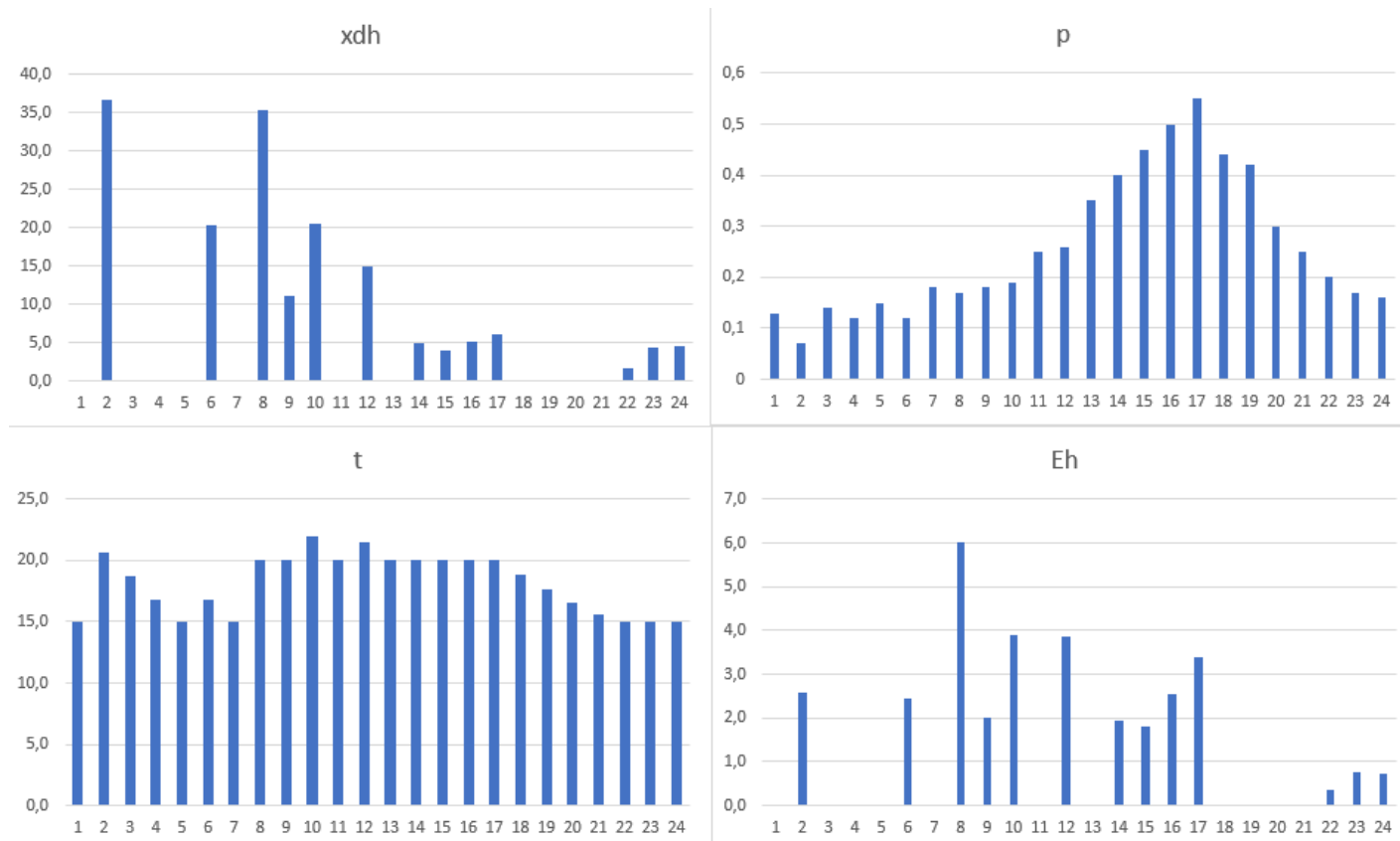
$$tmin_t \leq tin_t \leq tmax_t$$

Modelis #1: minimizuojam išlaidas

- Tarkim, kad turim valandinių kainų p ir oro temperatūros prognozę rytdienai t_{out} .
- Kaip matome, **elektra pigesnė naktį**, bet ir **naktį šalčiau** lauke (šilumos siurblio efektyvumas mažesnis).



- Tada modelis duoda tokį optimalų elektros pirkimo planą: per dieną suvartojama **169,9 kWh**, tam išleidžiama **€32,3**.



Intarpas. Kaip apskaičiuoti a ir b jūsų patalpai

Naudosime vidaus temperatūros formulę:

$$tin_{t+1} = tin_t + \frac{ax_t}{eff} - b(tin_t - tout_t)$$

Pradėkime nuo b . Tarkime, kad pradinis $tout$ yra 10°C , o tin yra 20°C . Išjunkite šilumos siurblių ($x_t = 0$) ir stebėkite kiek krinta vidaus temperatūra per valandą. Pamatote, pavyzdžiui, kad po valandos lieka 19°C .

$$19 = 20 - b(20 - 10)$$

Tada $b = 0,1$.

Dabar a . Stebėkite elektros skaitiklį (veikiant tik šilumos siurbliui, žinoma). Tarkim, kad per valandą sunaudojot 8 kWh , o siurblio efektyvumas (prie tokios lauko temperatūros) yra 4 . Ir palaikote pastovią temperatūrą viduje:

$$20 = 20 + \frac{a8}{4} - 0,1(20 - 10)$$

$$\frac{a8}{4} = 0,1(20 - 10)$$

$$a = 0,5.$$

Tie, kurie išmano elementarią ekonometriją, gali tą padaryt su koku EViews.

EViews® Home Products & Pricing User Community Learning Resources About EViews

EViews® 13

Innovative Solutions
for econometric analysis, forecasting & simulation

BUY EIEWS NOW

- [EViews Buyer's Guide](#)
- [Single-User Full License](#)
- [University Edition](#)
- [Commercial Volume License](#)
- [Academic Volume License](#)
- [International Sales](#)
- [Training](#)
- [Sales Terms and FAQ](#)

WHAT IS EIEWS?

EViews offers financial institutions, corporations, government agencies, and academics access to powerful statistical, time series, forecasting, and modeling tools through an innovative, easy-to-use object-oriented interface.

Find out for yourself why EViews is the worldwide leader in econometric software and the choice of those who demand the very best...

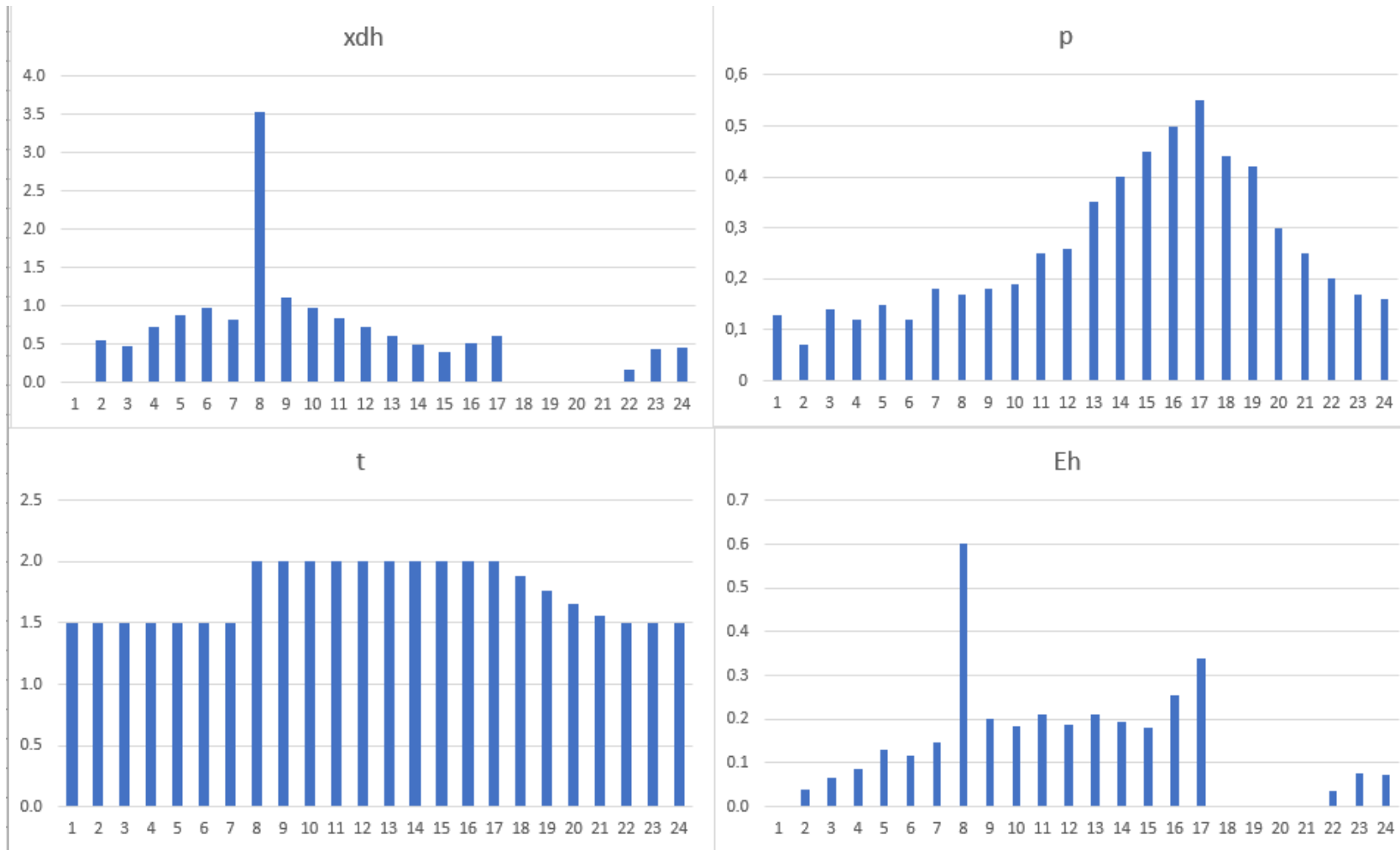
WHAT'S NEW IN EIEWS 13

EViews 13 offers more of the power and ease-of-use that you've come to expect. Enhancements include:

- Bayesian Time-varying Coefficient Vector Autoregression
- Non-linear ARDL Estimation

EIEWS TWEETS

Modelis #2: minimizuojam energijos vartojimą – paradoksas/neparadoksas



■ Sunaudojam **153 kWh** elektros, išleidžiam **€33,4**.

- **Palyginus** šiuos du modelius matome, kad tikslo funkcija **Min Exp** leidžia **sutaupyti 3,2% išlaidų**, bet lemia **11% didesnę** energijos vartojimą.

Min kWh	Min Exp	Skirtumas (%)
€33,4	€32,3	-3.2
153 kWh	169,9 kWh	11

- Kodėl? Nes neoliberalai (su savo neoklasikiniu ekonomiksu) labai pabrėžia „**kainų signalo**“ reikšmę! Jei kaina maža, gali mažiau sukt galvą dėl vartojamo kiekio!

- Todėl **Min Exp** vartotojas:
 - naudos **patalpos orą kaip bateriją**,
 - kad **pigios** elektros valandom,
 - **gerokai prišildytų** patalpų orą,
 - labai nesirūpindamas šilumos **siurblio efektyvumu** tuo metu,

- labai nesirūpindamas tuo, kad šiluminės energijos **nuostoliai per sienas** yra (*tin* – *tout*) funkcija,
- t.y. nuostoliai (ir **šilumos išmetimas į aplinką**) tuo didesni, kuo didesnis šis skirtumas.



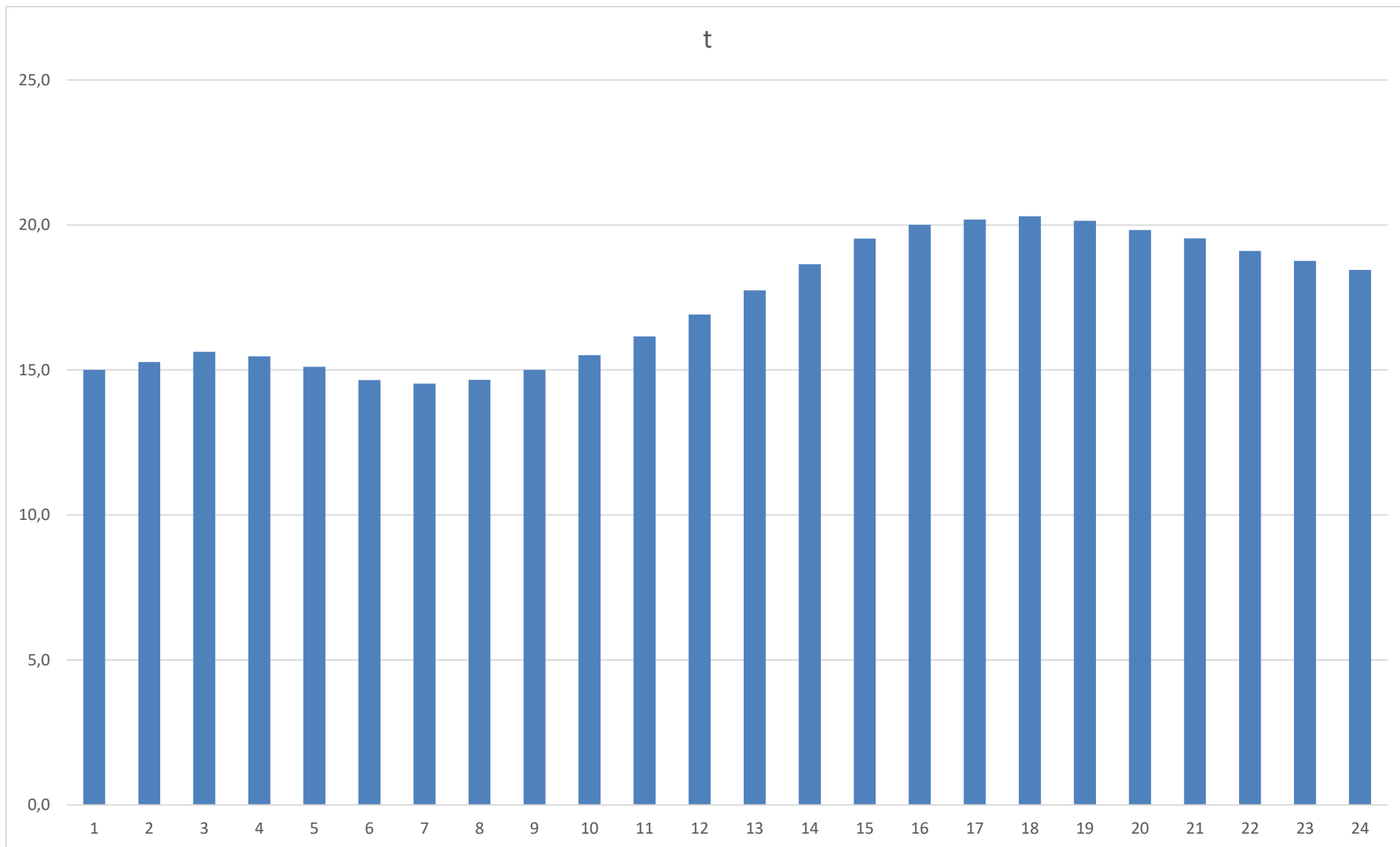
Išvada: tik kainos signalas gali būti nepalankus klimato kaitos tikslui

Modelis #0 (status quo): neoptimizuojam iš viso

- Tarkim, **169,9 kWh**, kuriuos sunaudojam su **Min Exp**, **vienodai padalijam** visom valandom po lygiai (**7,1 kWh**). Tada išleidžiam **€44**.

Neoptimizuojam	Min Exp	Skirtumas (%)
€44	€32,3	-26,6
169,9 kWh	169,9 kWh	0

- Be to, **temperatūra** patalpoje:
 - bus (labiau) **kintanti** ir;
 - (galimai) bus už pageidaujamų **apribojimų**.



Išvada: optimizavimas jums apsimoka (smarkiai)

- Optimizavimas (šiuo pavyzdyje) leidžia jums sutaupyti **>25% išlaidų**, o tai yra **RIMTI PINIGAI**.

"A billion here, a billion there, and pretty soon you're talking real money."

JAV senatorius Everett McKinley Dirksen

- Netgi jei mokate **pastovią kainą** už šilumos kWh (esat centralizuotoj šilumos tiekimo sistemoj), optimizavimas jums gali leisti sutaupyti **perkamos šilumos kiekį**, už kurį gaunate sąskaitas.
- Žinoma, dar reikia atsižvelgti į tai, ką pradžioj minėjom – yra **laiko/dėmesio**, skirtų optimizavimui kaštai:

- turbūt nenorėtumėt **naktį keltis (kas valandą)**, kad pasuktumėt šilumos siurblio termofikacinio vandens tikslo **regulatorių**;
- turbūt nenorėtumėt **kasdien** darytis analizę rytdienos Nordpool (LT zonos) **kainų ir oro prognozių**.

Link nacionalinio instrumento

- Siekiant išlaisvinti žmones nuo bereikalingo rankinio darbo (kurio jie net gali **nemokėti/nenorėti** daryti), šį matematinio optimizavimo algoritmą reiktų kuo labiau **automatizuoti**:
 - tiek **duomenų** paėmimo stadijoje;
 - tiek informacijos perdavimo **šilumos gamybos įrenginiams** lygmenyje.
- Ir tam, kad gautume maksimalią naudą pinigų taupymo ir klimato kaitos tikslų siekimo srityje, algoritmą reiktų **padaryti nacionaliniu**:
 - kiekvienas žmogus turėtų turėti galimybę **nemokamai** prieiti prie modelio **internetu**;
 - įvest savo patalpos **parametrus**;
 - gaut modelio **atsakymą**;

- perduot atsakymą šilumos **įrenginiui** (geriausia automatizuotai).
- Koks informatikos studentas galėtų suprogramuoti **interfeisą** šiam tikslui.
- Čia potencialios užduotys Energetikos ir Aplinkos **ministerijoms**. Tikėkimės, kad susidomės. [Didelis klaustukas 😊.]



[FREE DEMO](#) [SEARCH](#)

[Products](#) [Documentation](#) [Download](#) [Support](#) [Sales](#) [Community](#) [About Us](#)

General Algebraic Modeling System

Model – Solve – Deploy

[DISCOVER GAMS](#)

[TRY GAMS](#)

[BUY GAMS](#)