



LIETUVOS
ENERGETIKOS
INSTITUTAS

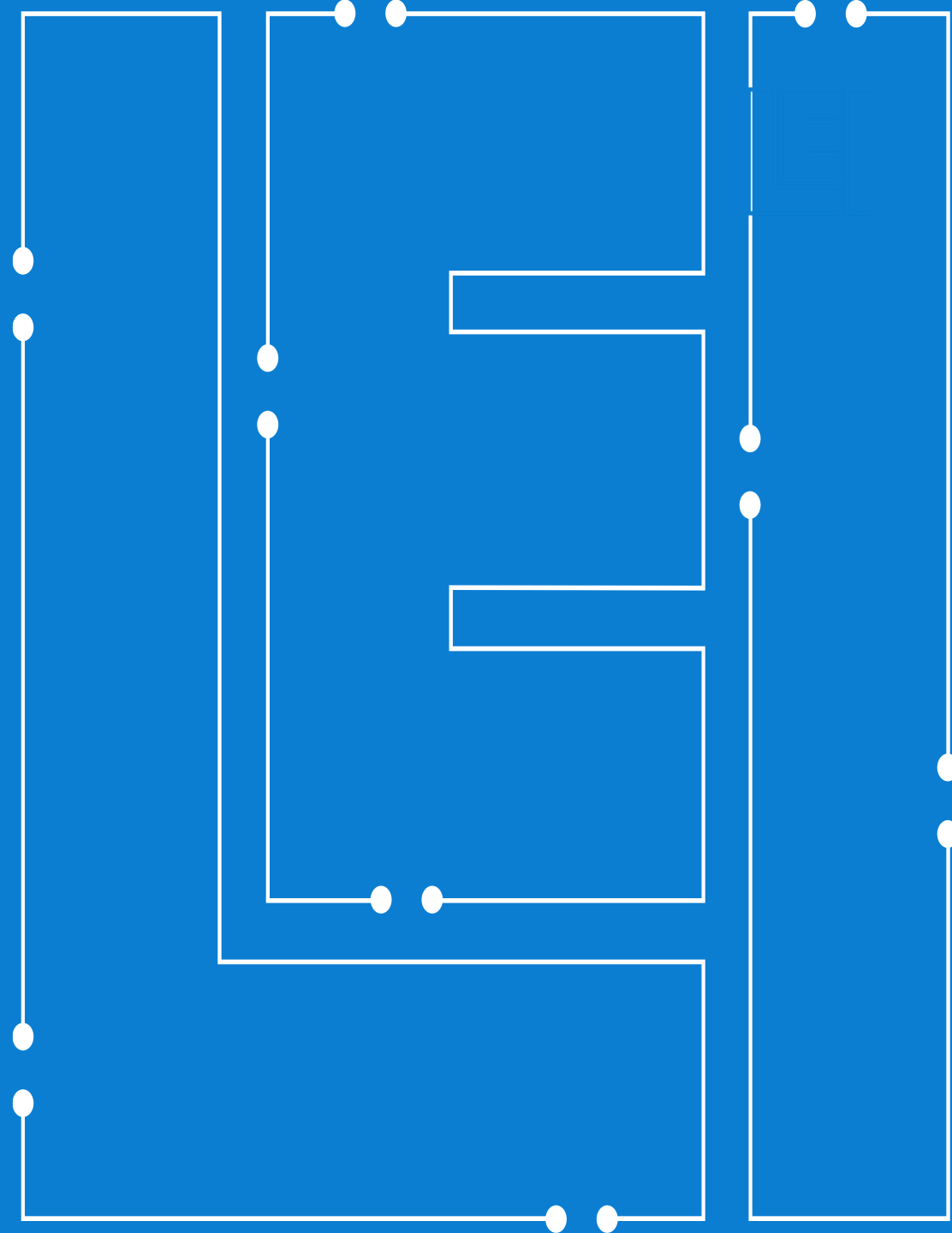


EDIHLT
INDUSTRY | AGRIFOOD | ENERGY

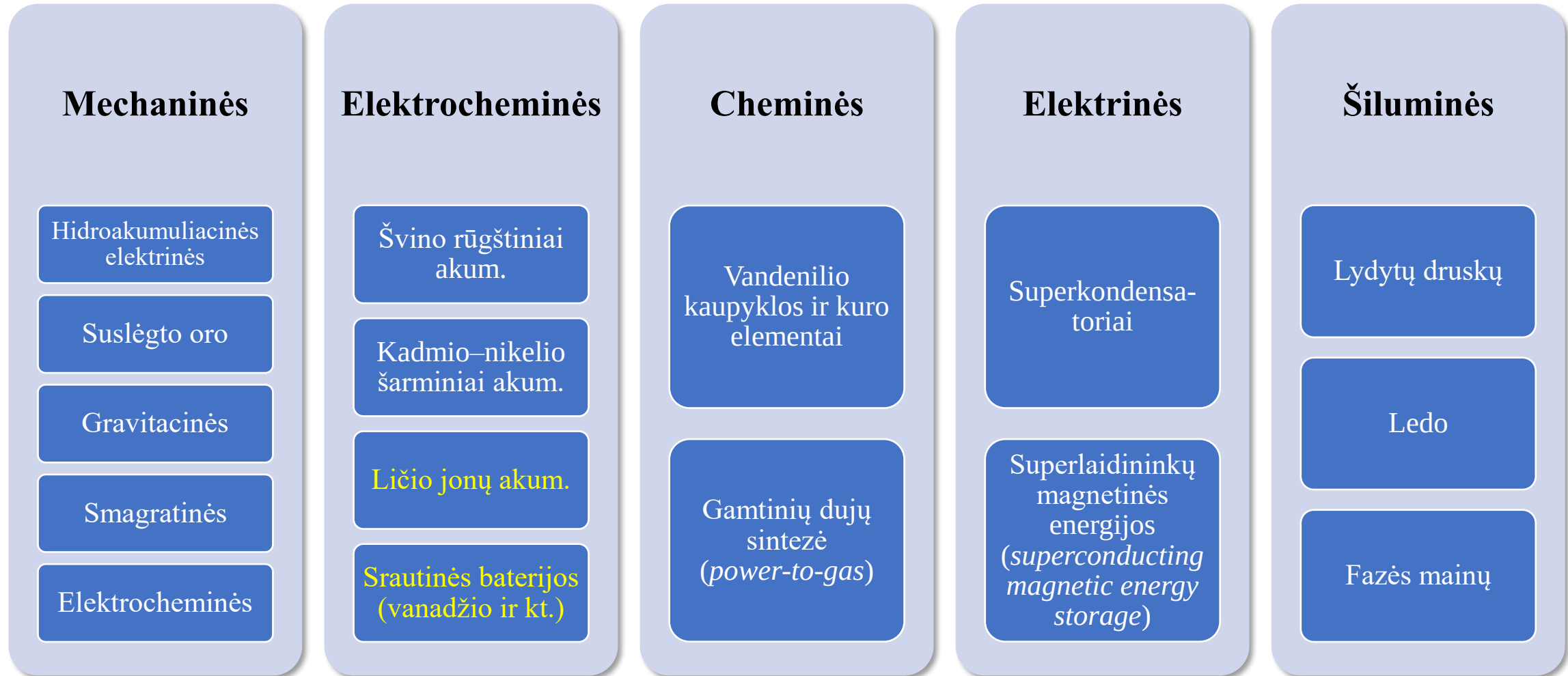
ELEKTROS ENERGIJOS KAUPIMO SISTEMOS

Dr. Virginijus Radziukynas

2023 gruodžio 18 d.



Elektros energijos kaupimo technologijos



Pagal iškrovos trukmę skirstomos: ilgalaikės, vidutinės trukmės ir trumpalaikės

Elektros energijos saugojimo technologijų palyginimas

Technology	Energy density	Power density	Specific energy	Specific power	Power rating	Rated energy capacity
	Wh/L	W/L	Wh/Kg	W/kg	MW	MWh
Lead acid	50-90	10-400	30-50	75-300	0-40	0,001-40
Li-ion	200-500	275	75-200	150-2000	0-100	0,004-10
NaS	150-300	140-180	150-240	90-230	<34	0,4-244,8
VFB	16-35	Size dependent	10-30	Size dependent	0,03-50	<60
ZnBr	30-65	Size dependent	30-80	Size dependent	0,05-10	<4
PSB	20-30	Size dependent	15-30	Size dependent	0-15	<120

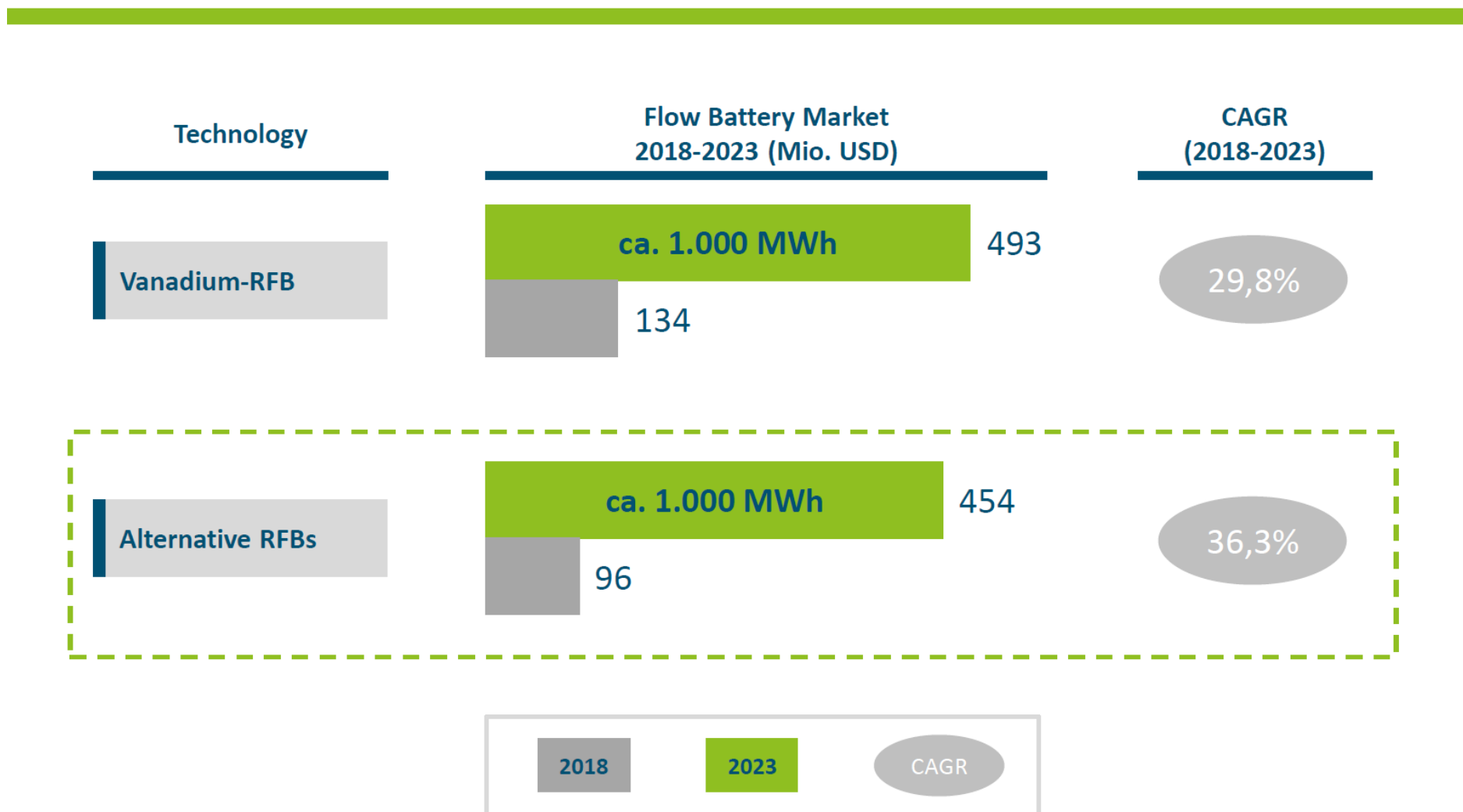
Technology	Daily self-discharge	Lifetime	Cycling times	Discharge efficiency	Cycle Efficiency	Response time	Suitable storage duration
	%	Years	Cycles	%	%		
Lead acid	0,1-0,3	5-15	1,000	85	70-90	Milliseconds	minutes-days
Li-ion	0,1-0,3	15-20	1,000	85	90-97	Milliseconds	Minutes-days
NaS	Near Zero	10-20	2.500-4.500	85	75-85	-	Long term
VFB	Near Zero	5-20	<13.500	75-82	75-85	Milliseconds	Long term
ZnBr	Near Zero	5-10	1.500-2.000	60-70	65-80	Milliseconds	Long term
PSB	Near Zero	10-15	-	-	60-75	Milliseconds	Long term

Elektros energijos saugojimo technologijų palyginimas

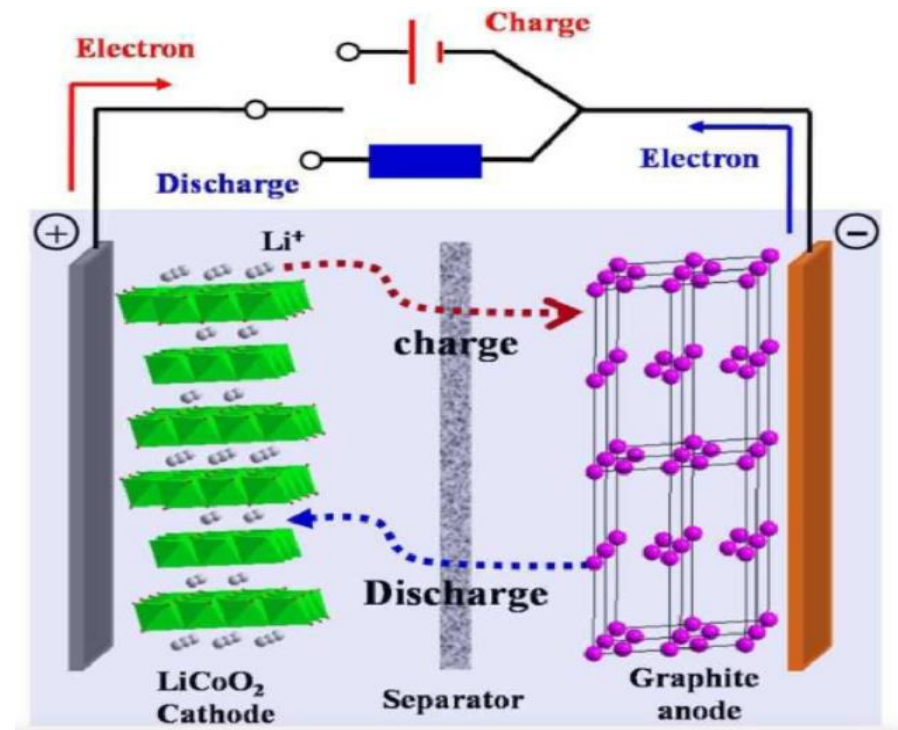
Technology	Specific energy cost	Specific power cost	Environmental aspects	Strengths	Weaknesses
	€/kWh	€/kW			
Lead acid	100-250	10-25	Used lead and sulfuric acid are highly toxic	High availability. Demonstrated technology. Cheap	Low cycle life. Space ventilation mandatory.
Li-ion	300-450	100-200	Most of Li-ion electrolytes contain toxic halogens	Long lifetimes, high efficiencies, high energy density	High cost. Intrinsic safety
NaS	250-500	100-200	Solid sodium and sodium sulfides are a hazardous waste. Sodium polysulfides are corrosive.	Long lifetimes. Demonstrated technology. Cheap raw materials	High operation temperatures. Thermal losses
VFB	150-400	100-200	Vanadium and its compounds are toxic	Power/energy independence. High cycle life	System complexity. Vanadium is rare material
ZnBr	140-900	180-700	Bromine is a highly toxic material through inhalation and absorption	Deep discharge capability and good reversibility.	Material corrosion. Low cycle efficiency.
PSB	140-900	180-700	Bromine gas is very toxic.	Electrolyte materials are abundant.	Still needs of practical experience at large scale.

 Redox batteries

Market forecast RFB – Technologies



Ličio jonų elektros energijos saugojimo sistema/baterija



Ličio jonų elektors energijos saugojimo sistema/baterija



No.	Description	Parameter	Note
1	Nominal Capacity	136Ah	
2	Nominal Voltage	3.2V	
3	Voltage Range	2.5V-3.65V	
4	Standard Discharge Method	Constant current 1C discharge to 2.5V	
5	Max. Continuous Charging Current	1C (136A)	
6	Max. Continuous Discharging Current	1C (136A)	

7	Life Cycle	≥ 4000	
8	Self-Discharge Rate	$< 3\%$ per month	
9	Working Temperature	$10^{\circ}\text{C} \sim 45^{\circ}\text{C}$	
10	Battery Efficiency	99.2%	
11	Storing Temperature	$-30^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$	
12	Structure Dimensions	173.9mm*170mm*48mm	L*W*H

Ličio jonų elektros energijos saugojimo sistema/baterija



TESLA





96v~336V LiFePo4 baterijos



Nominali įtampa (V) 336V

Maksimali iškrovimo srovė 50A

Įtampos diapazonas (V) 294~383,25

Ličio baterijos matmenys (mm)
400*400*1625mm

LiFePO4 akumuliatoriaus svoris 173 kg

Ciklo trukmė (DOD 80 %)

Ličio jonų akumuliatoriaus gyvavimo ciklas
6000 įkrovimo/iškrovimo ciklų.

Natrio jonų baterijų technologija

Natrio jonų baterijos yra perspektyvi alternatyva ličio jonų baterijoms.



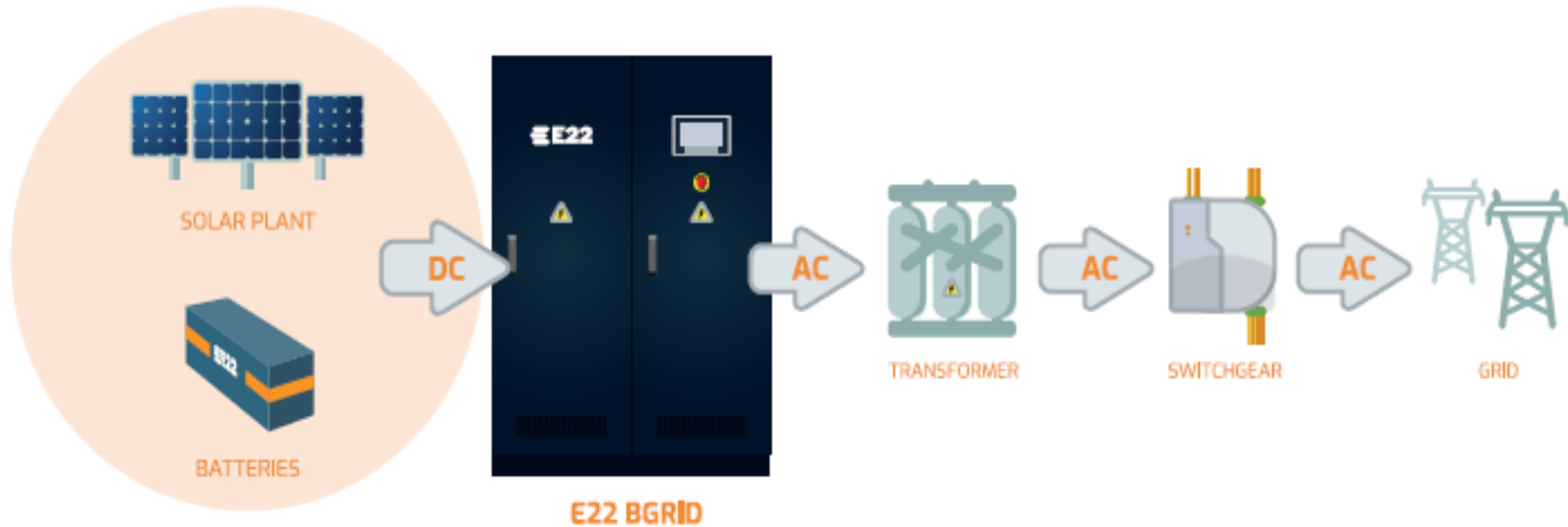
Natrio yra daugiau nei 500 kartų daugiau nei ličio, kurio yra tik keliose šalyse.

Natrio jonų akumuliatorius įkraunamas greičiau nei ličio jonų akumuliatorių variantai ir jų gyvavimo ciklas yra **tris kartus ilgesnis.**

Tačiau natrio jonų baterijose trūksta nusistovėjusios žaliavų tiekimo grandinės, o technologija vis dar yra ankstyvoje kūrimo stadijoje.

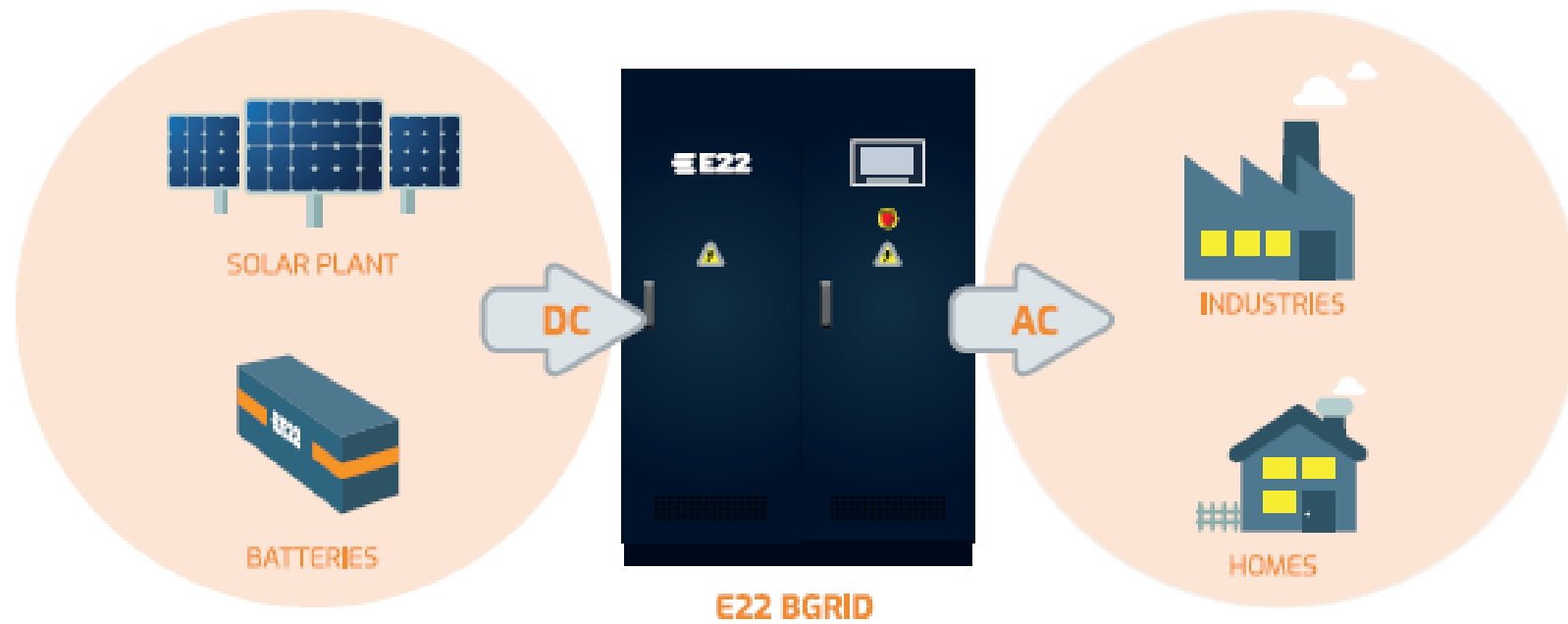
Numatoma, kad natrio jonų akumuliatoriaus elemento kaina bus apie 40–80 USD/kWh, o ličio jonų elemento – vidutiniškai 120 USD/kWh.

Elektros energijos saugojimo technologijų integracija



Grid-connected

Elektros energijos saugojimo technologijų integracija



Stand-alone

Ličio jonų elektors energijos saugojimo sistema/baterija



Talpa;

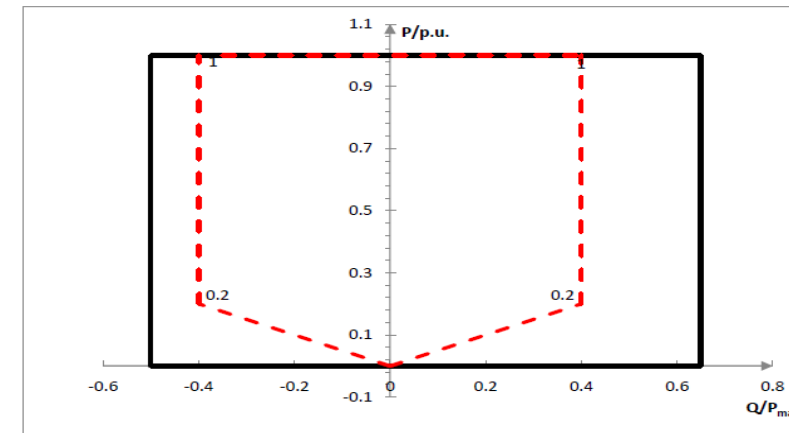
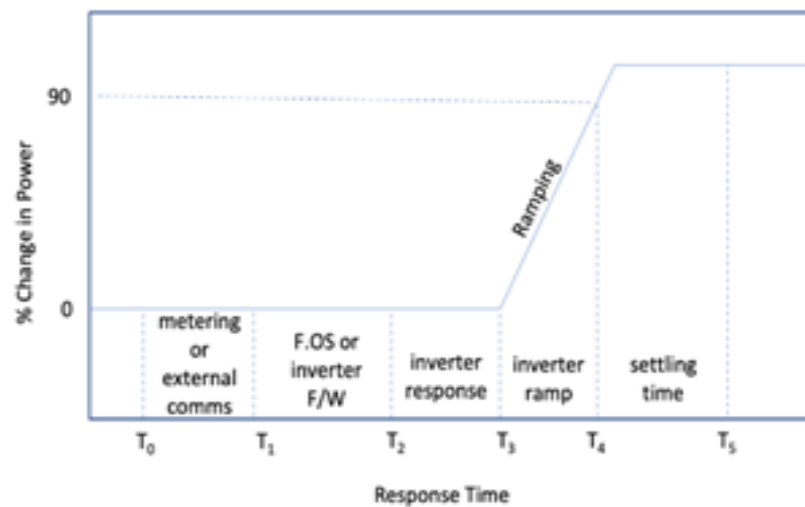
- trukmė/laikas per kurį baterija „pilnai“ pakraunama yra nuo 15 min iki 2 val.

Galios faktorius/cosφ:

- iki $\pm 0,9$;

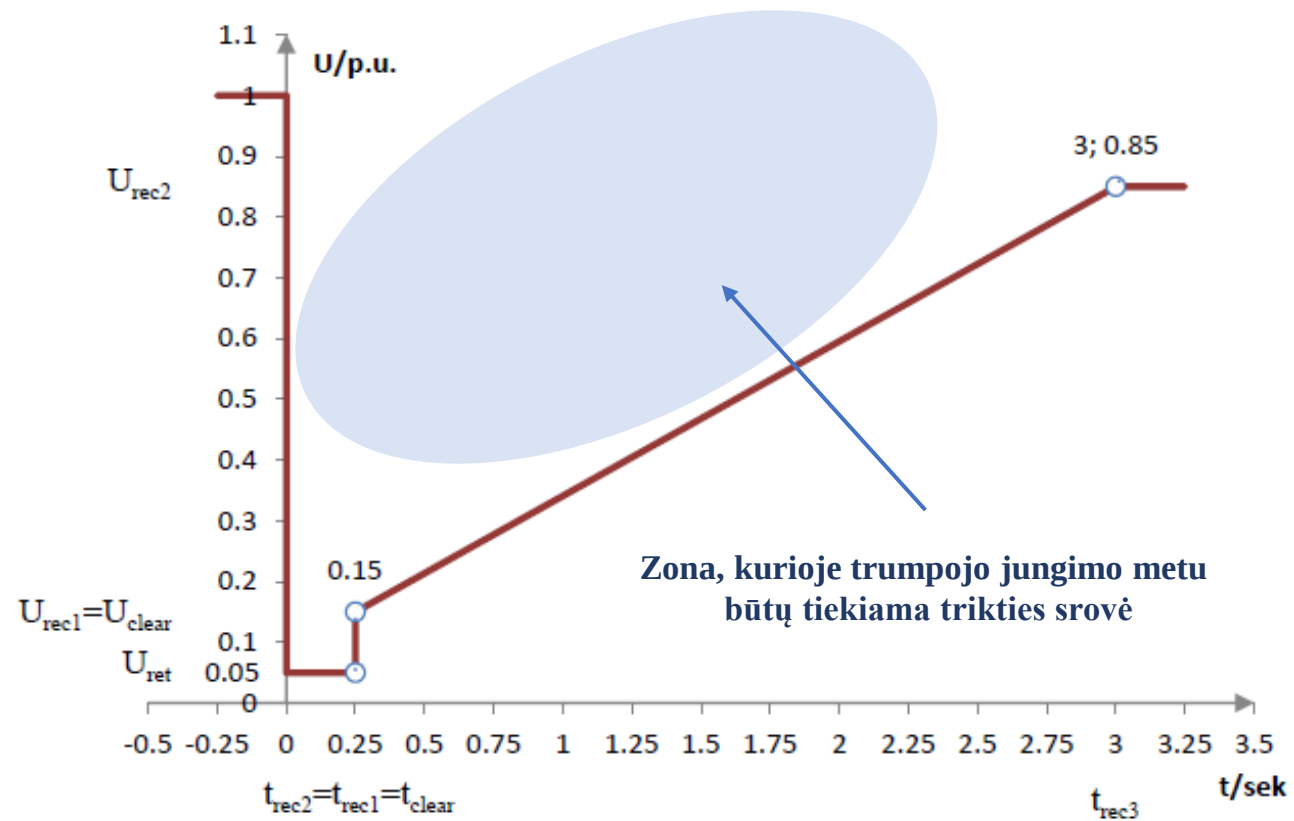
Galios aktyvavimo delsa ir greitis:

- nuo valdymo signalo/komandos išsiuntimo per **500 -1000 ms aktyvuojama maksimali galia ($P_{\max}$)**, t.y. aktyvavimo greitis yra nuo 0,042 MW/ms iki 0,021 MW/ms.
- delsa apie 200 ms (delsa neviršija 0,5 s).



P-Q/Pmax profilis

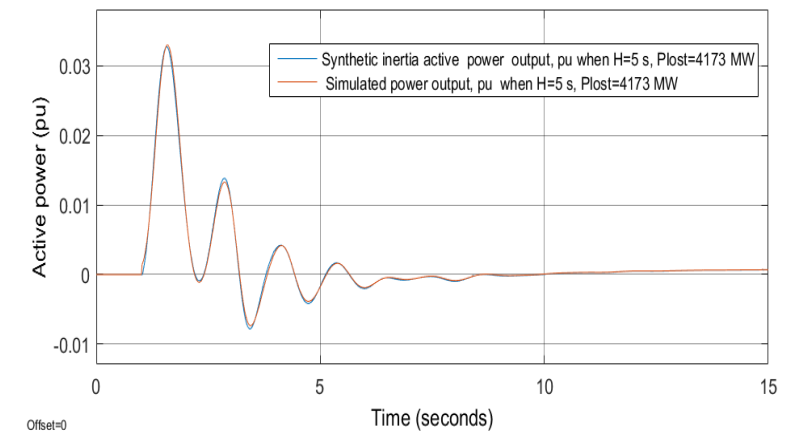
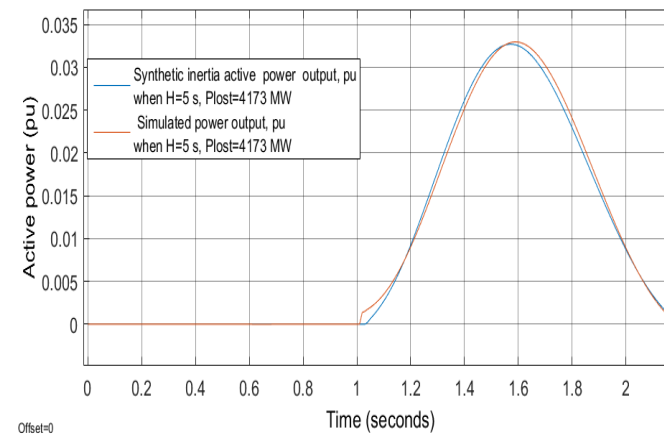
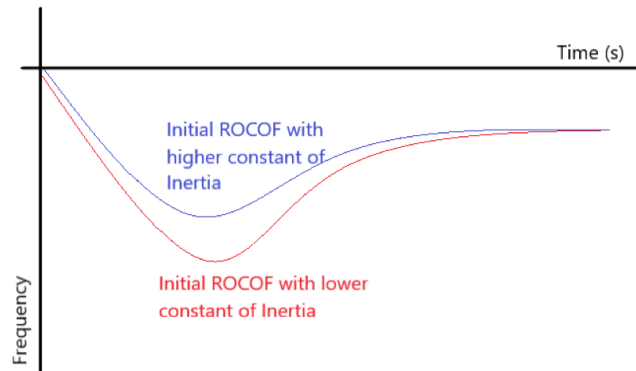
Ličio jonų elektros energijos saugojimo sistema/baterija



Sintetinė/dirbtinė inercija

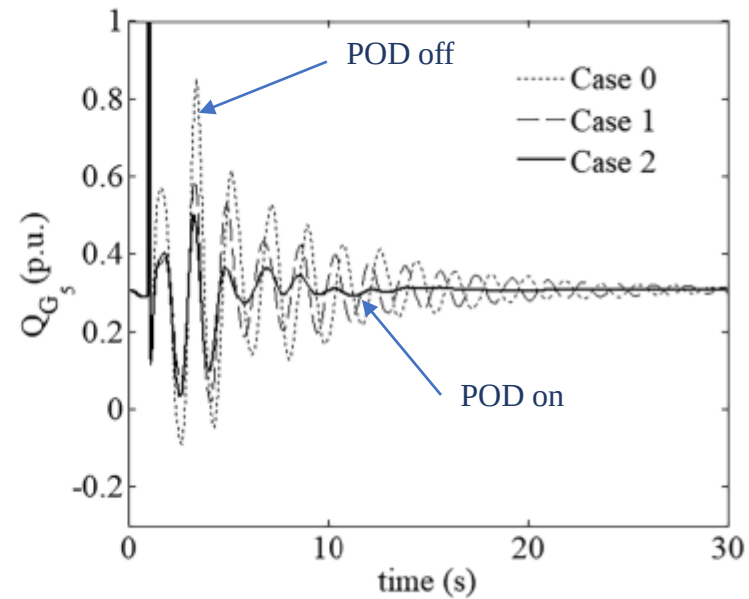
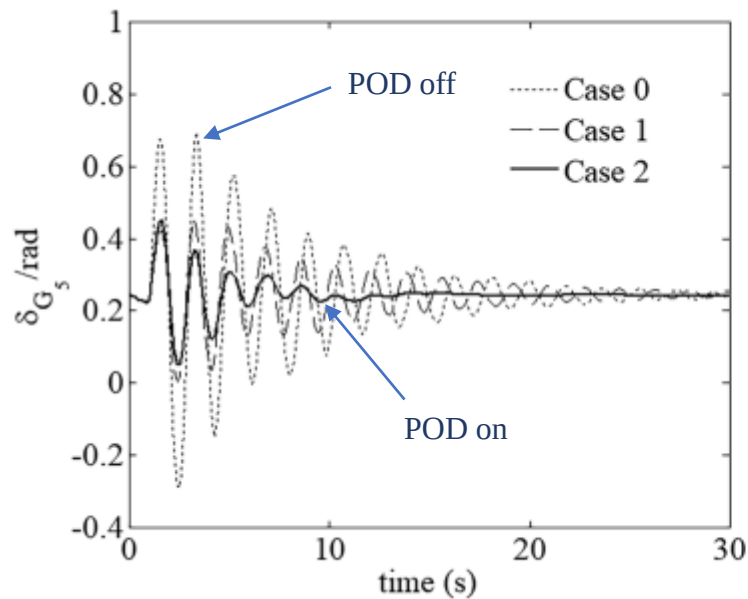
51	21 straipsnio 2 dalis	Labai greitų dažnio nuokrypių metu C tipo <u>EJPM</u> turi gebėti užtikrinti dirbtinę inerciją, pagal parametrus nustatytus <u>STO</u> prijungimo sąlygose, kuriuos pateikia PSO.
----	--------------------------	---

Reikalavimus turi pateikti Litgrid AB

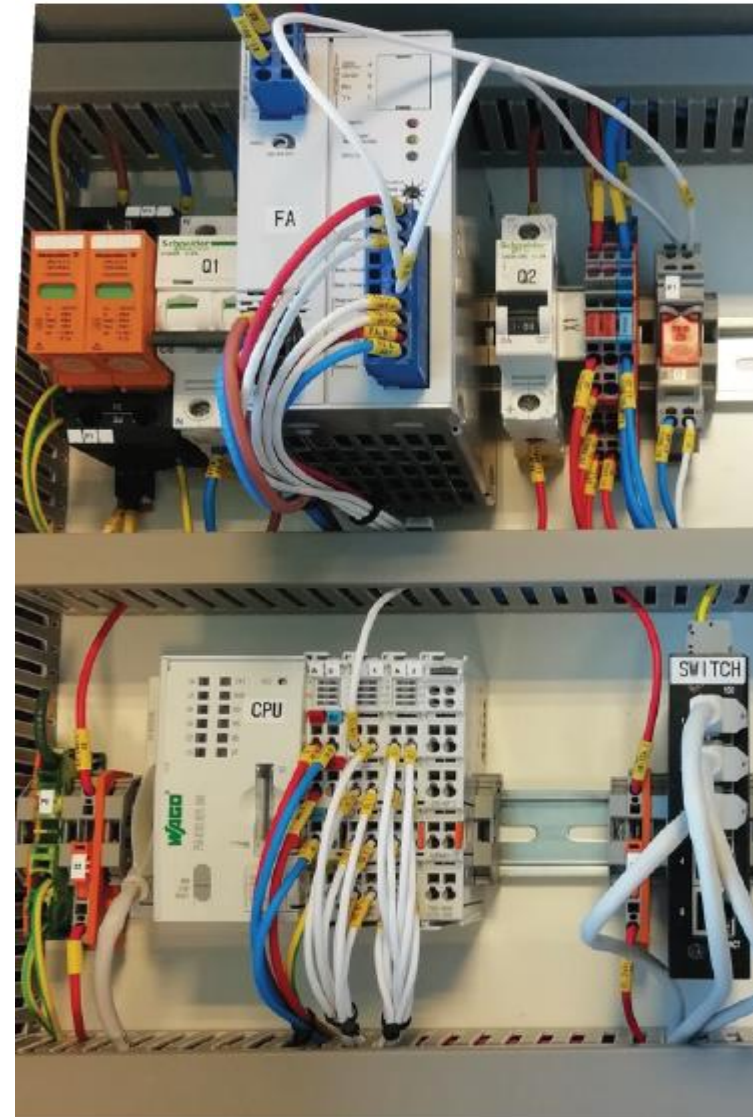
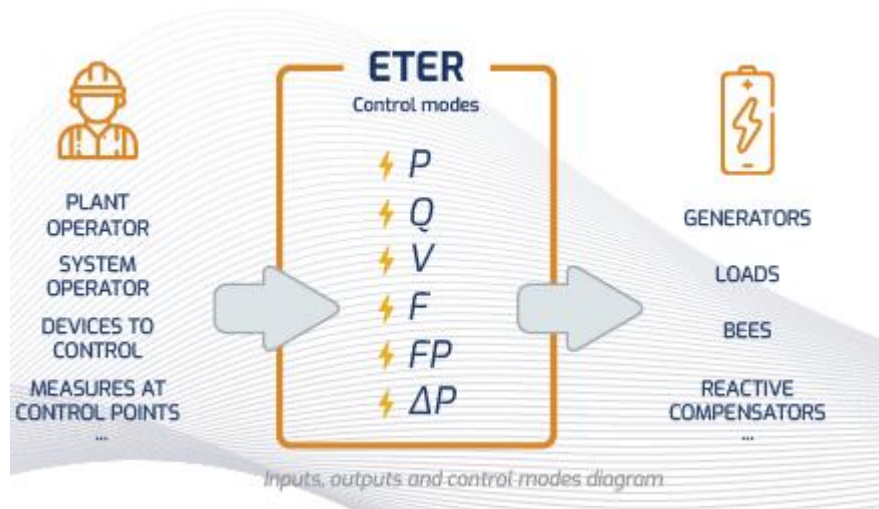


Galios svyravimų slopinimo įranga (*angl. POD*)

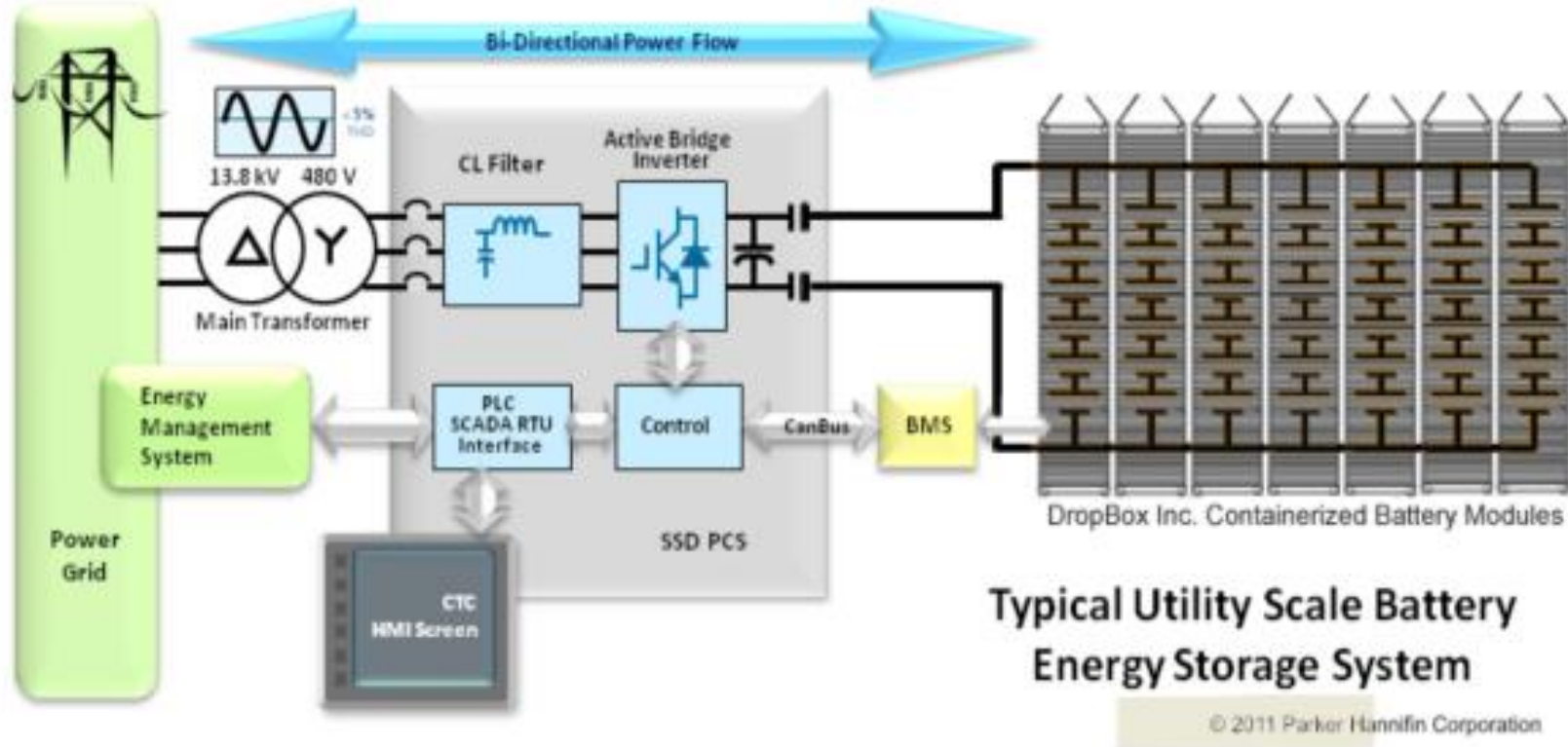
57	22 straipsnis	D tipo <u>EJPM</u> turi atitikti Reglamento 13 (išskyrus 2 dalies b punktą ir 6 bei 7 dalis), 14 (išskyrus 2 dalį), 15 (išskyrus 3 dalį), 16, 20 (išskyrus 2 dalies a punktą) ir 21 straipsniuose išvardytus reikalavimus. D tipo <u>EJPM</u> turi būti įrengta galios svyravimų slopinimo įranga/galios švytavimų stabilizatoriai. Funkciją aktyvuoti operatorius turi galėti nuotoliniu būdu. <u>EJPM</u> $U-Q/P_{\max}$ charakteristikų profiliai pateikiami 8 priedo b) paveiksle ir $P-Q/P_{\max}$ charakteristikų profiliai pateikiami 9 priedo b) paveiksle. Reikalavimai pateikiami PSO prijungimo sąlygose.
----	---------------	--



Ličio jonų elektros energijos saugojimo sistema/baterija



Ličio jonų elektros energijos saugojimo sistema/baterija



Ličio jonų elektros energijos saugojimo sistema/baterija

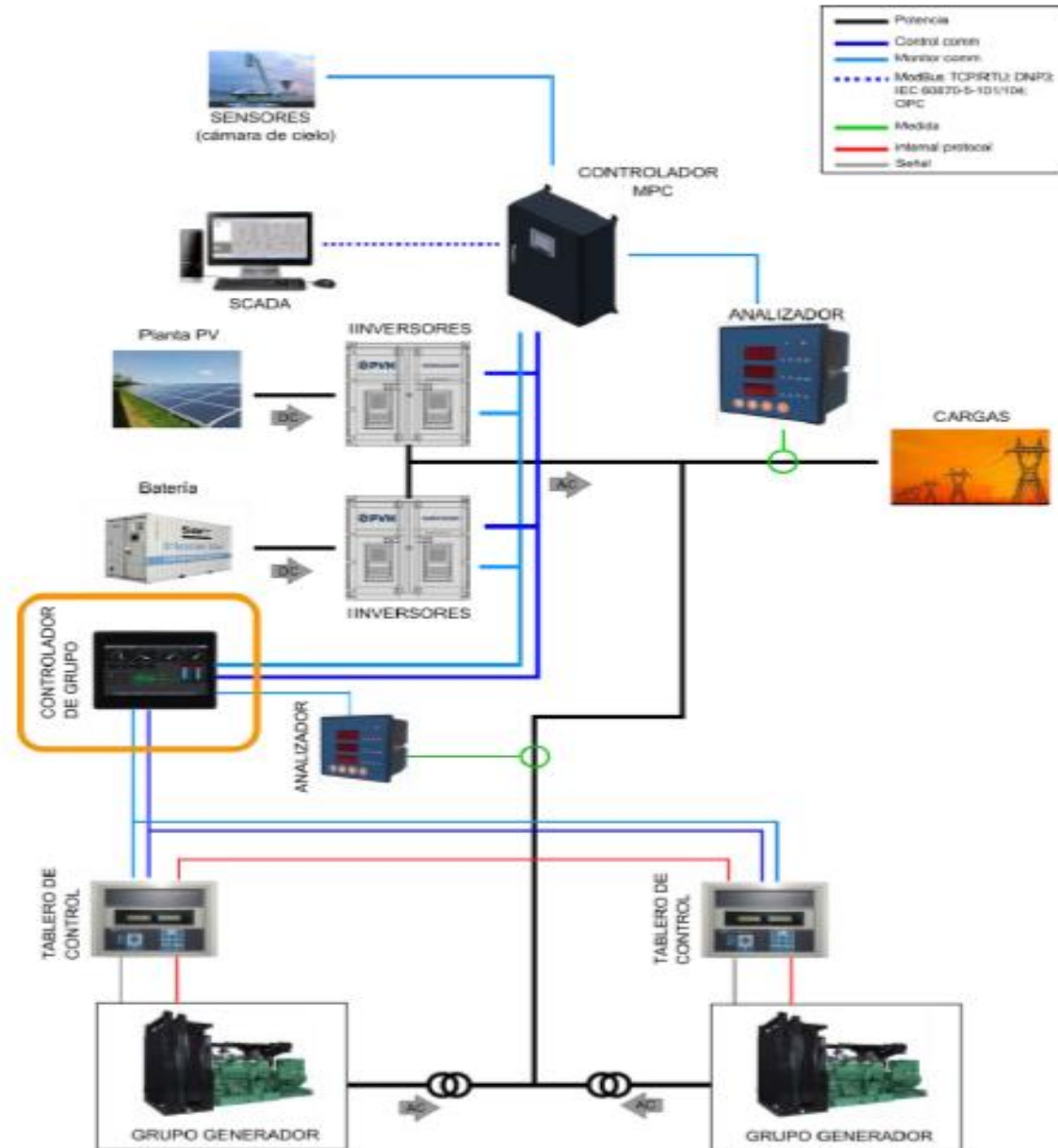
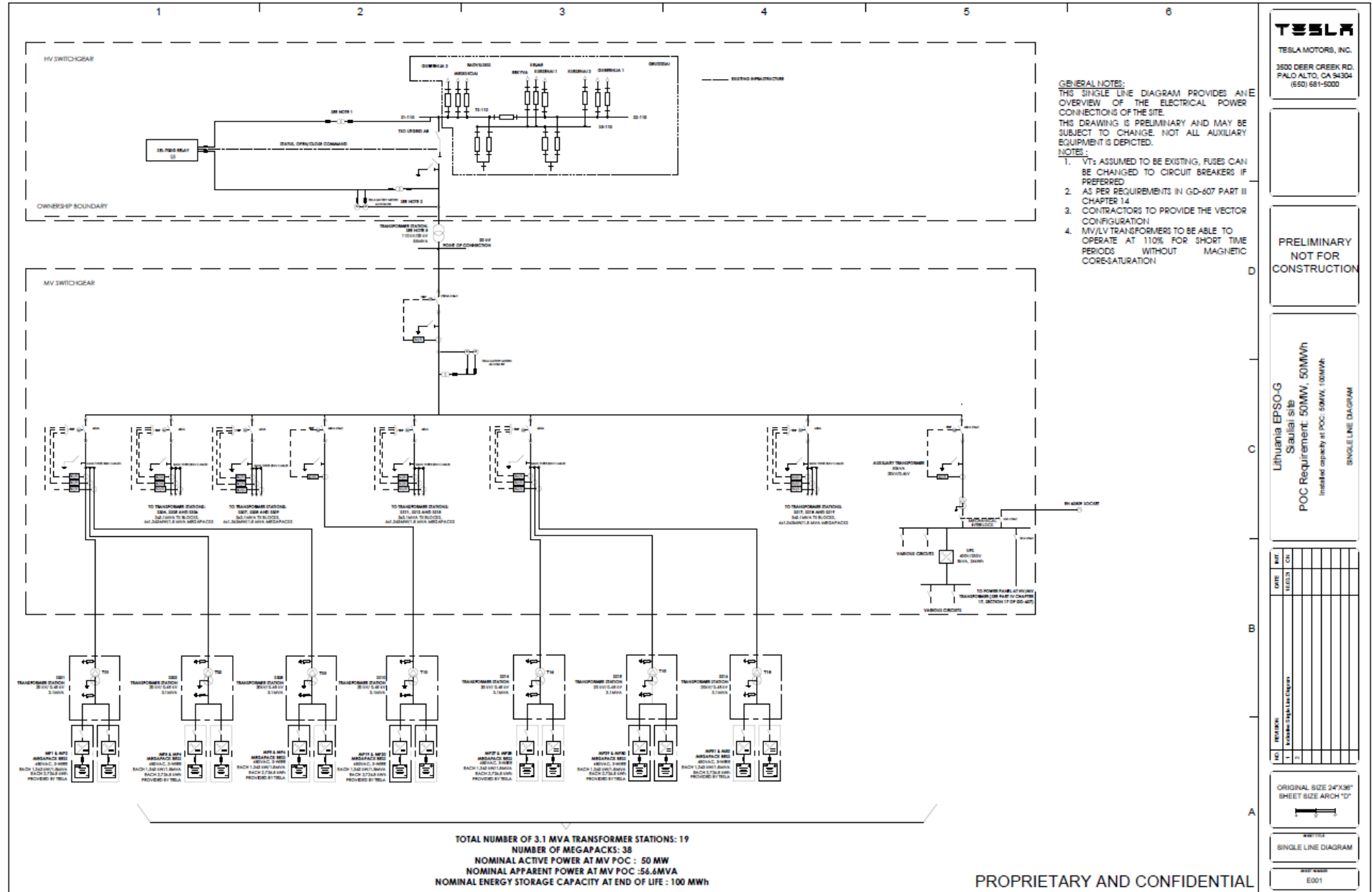


Fig 2 Communications diagram





DELIVERING SYSTEMS AT GLOBAL SCALE



3.6+ GW SOLAR DEPLOYED
\$9+ BILLION PROJECT VALUE



1,800+ SUPERCHARGERS
15,000+ CONNECTIONS

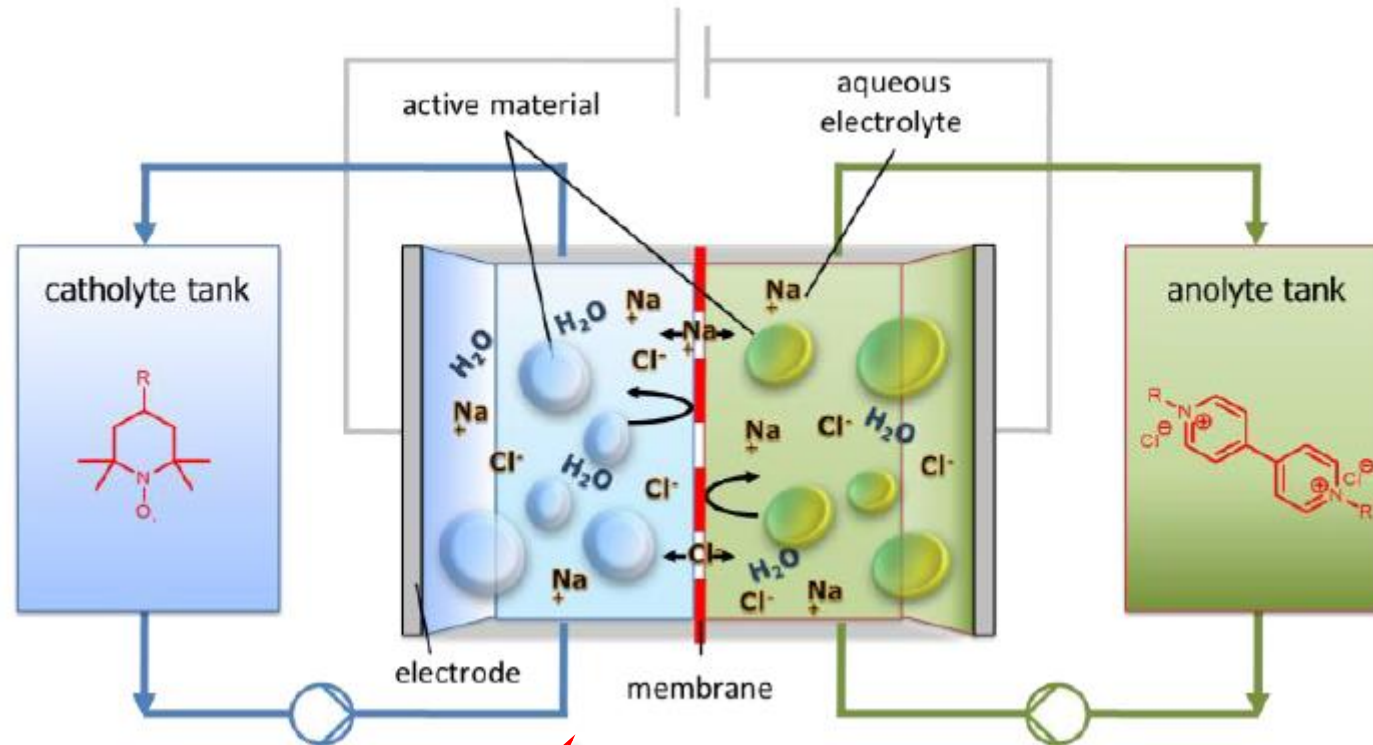


1,000,000+ VEHICLES
60+ GWh ENERGY STORAGE



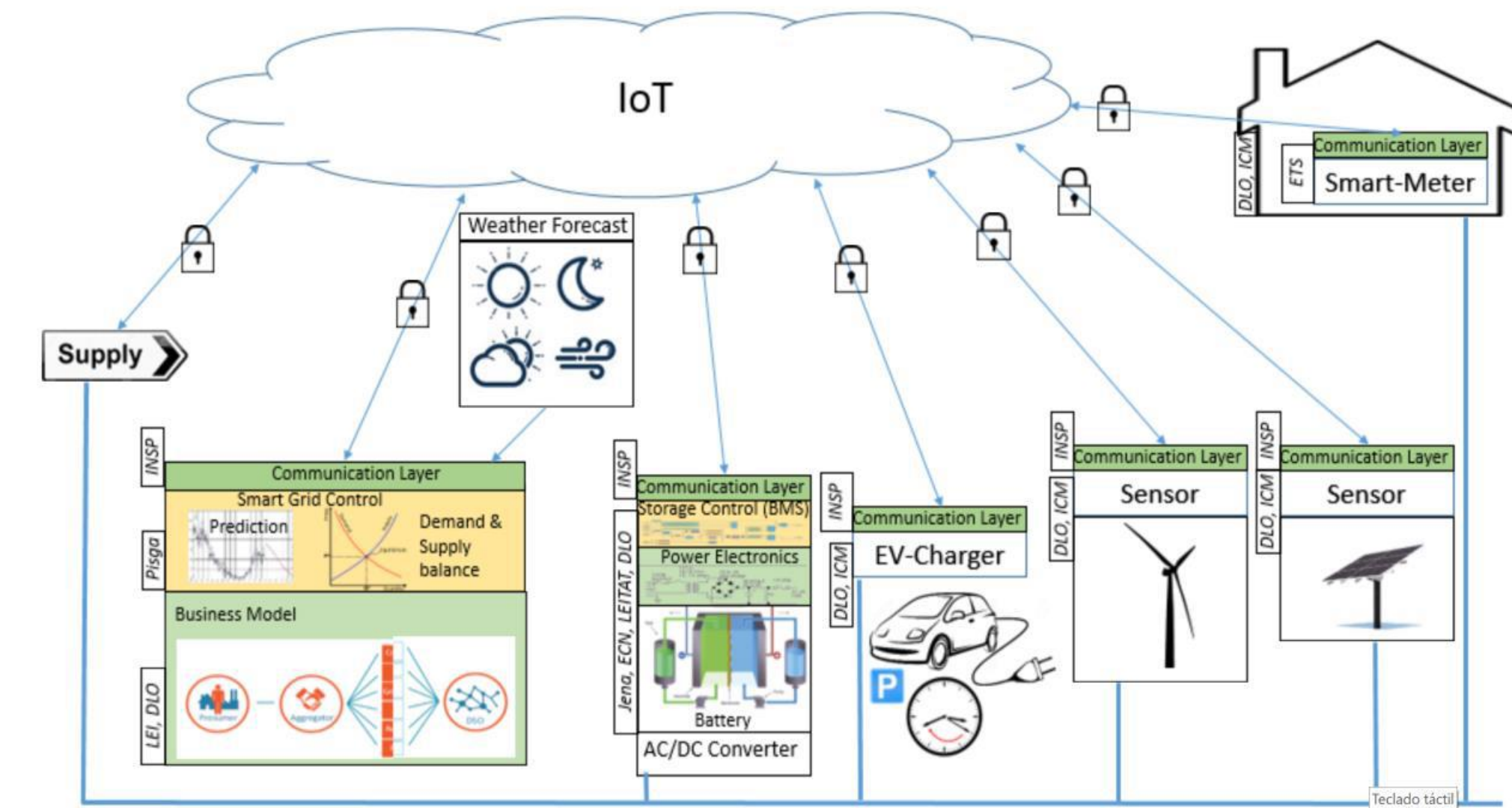
~5 GWh STATIONARY STORAGE
30+ COUNTRIES

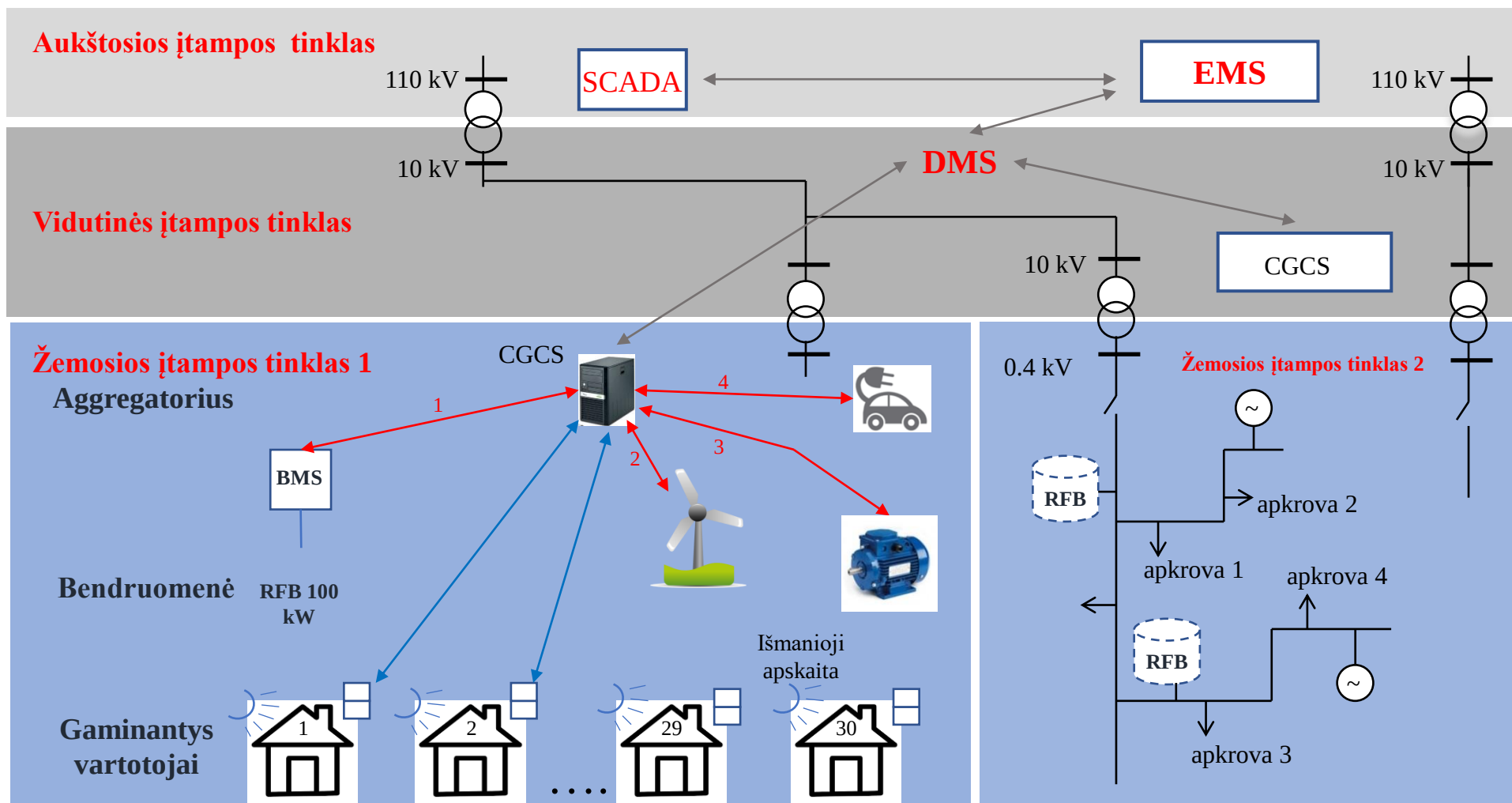
Organinės srautinės baterijos (Organic Redox-Flow Battery)



Sukurtas originalus
electrocheminis
procesas

Išmanusis tinklas

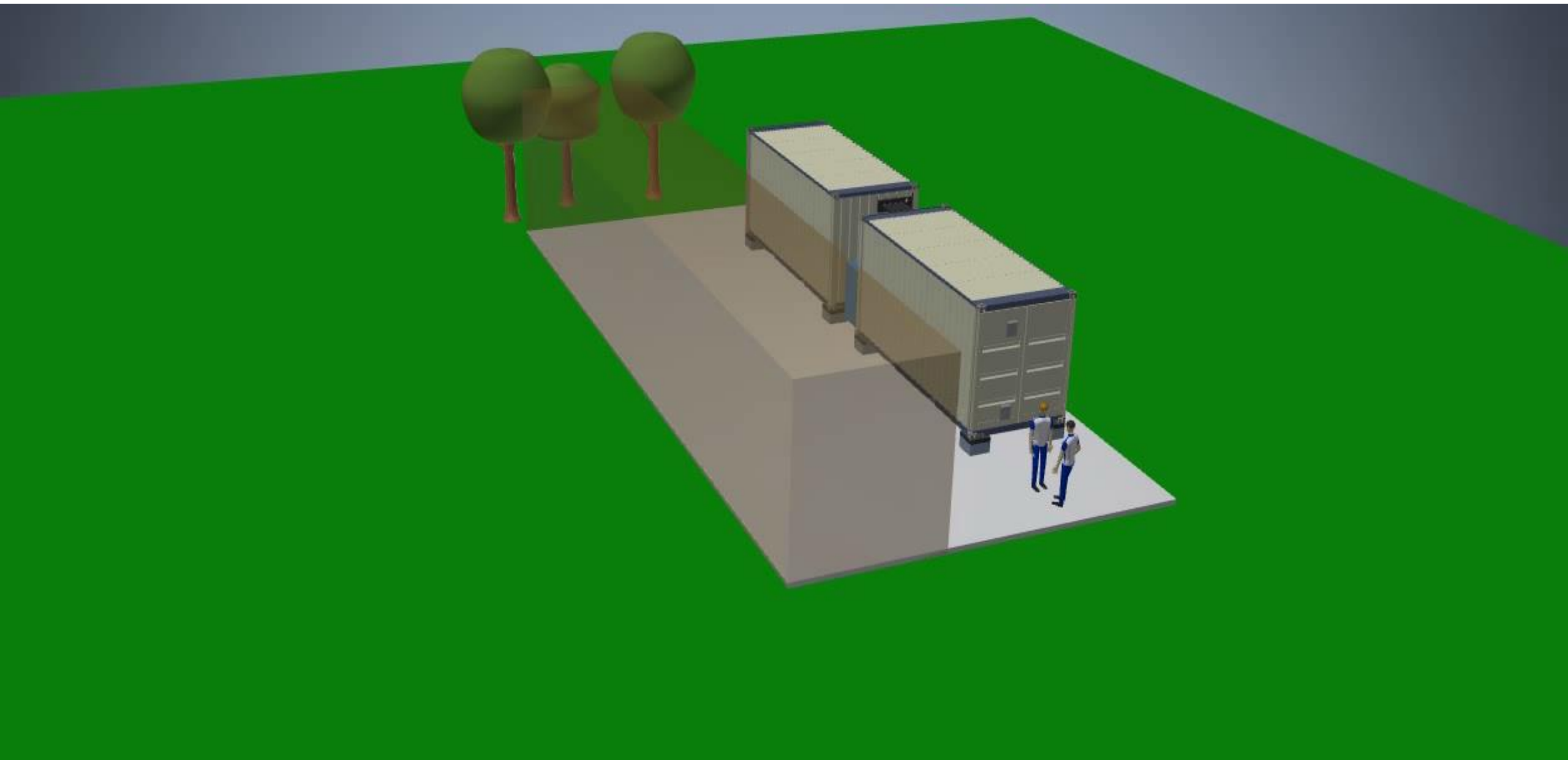




CGCS – Centrinė tinklo valdymo Sistema Central Grid Control System
RFB – Srautinė elektros energijos kaupimo sistema
BMS – Baterijos valdymo sistema

DMS – Dispečerinio valdymo sistema (angl. Distribution Management System)
SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition

EnergyKeeper projektas (H2020)



EnergyKeeper projektas (H2020)



EnergyKeeper baterijos modelis BASIS



Elektriniai dydžiai

Kaupiamoji talpa (nom)	<i>400 kWh</i>
Elektrinė galia (nom)	<i>100 kW</i>
Naudingumo koef. (AC/AC)	<i>>70%</i>
Ciklų skaičius	<i>>10000</i>
Didž.iškrovos gylis	<i>100%</i>
Fazių sistema	<i>trifazė</i>
Jungimas į tinklą	<i>3×400 VAC+PE, 50 Hz</i>
Vėdinimas/vėsinimas	<i>aktyvus</i>
Planinis darbo amžius	<i>20 metų</i>
Garant. darbo amžius	<i>10 metų</i>
Elektrolitas	<i>be metalų,</i>
<i>aktyviosios medžiagos tirpios vandenyje</i>	

Mechaniniai dydžiai

Gabaritai	<i>12,6x2,5x2,9 m</i>
Svoris (įrengimo metu)	<i>38 t</i>
Pristatymo būdas	<i>ISO-konteineris</i>
Įrengimo būdas	<i>kranas</i>

Komponentai

Standartinis ISO-konteineris
Energijos konversijos įrenginys
Galios elektronika
Hidraulinė sistema
Nuotėkio jutikliai
Apsauga nuo elektrolitų išsiliejimo
Sukurti pažangūs elektrolitai (vandenyje
tirpūs polimerai, be metalų)

EnergyKeeper projektas (H2020)



BASIS



PLUS

40'	Container	On special request
Yes	Modular design	On special request
Yes	Extensibility	Yes
100 kW / 400 kWh module	Size	On special request
20 years	Design-Life (regular maintenance)	20 years
Legal requirements	Warranty	Additional package (e.g. 10 years)
No	Isolated operation	Possible
-15 to 35 °C	Ambient temperature	Extended range
At grade	Footprint	Stackable
Terminal strip, interface for operational mode	Interface	Integration into higher-level control system
Local Legal requirements	Certificates	On special request
Legal requirements	Safety (IT/physical)	On special request (e.g. special protocols)
Legal requirements	Localization (climate, language, permissions, dust, chemicals, ...)	On special request (e.g. language, protection from special environmental conditions)
Yes	Intrinsic safety	Yes



The calculable battery for your energy park

Li battery

+ Plus

- High energy density
- High efficiency

- Minus

- Sophisticated cell voltage balancing
- Limited resources (Co, Ni, Li) and high price volatility
- Limited depth-of-discharge
- Fire and explosion hazard

Metal-free RFB

+ Plus

- Independent scalability of power and capacity
- No aggressive acids and heavy metals
- Non-flammable and not explosive
- High cyclability

- Minus

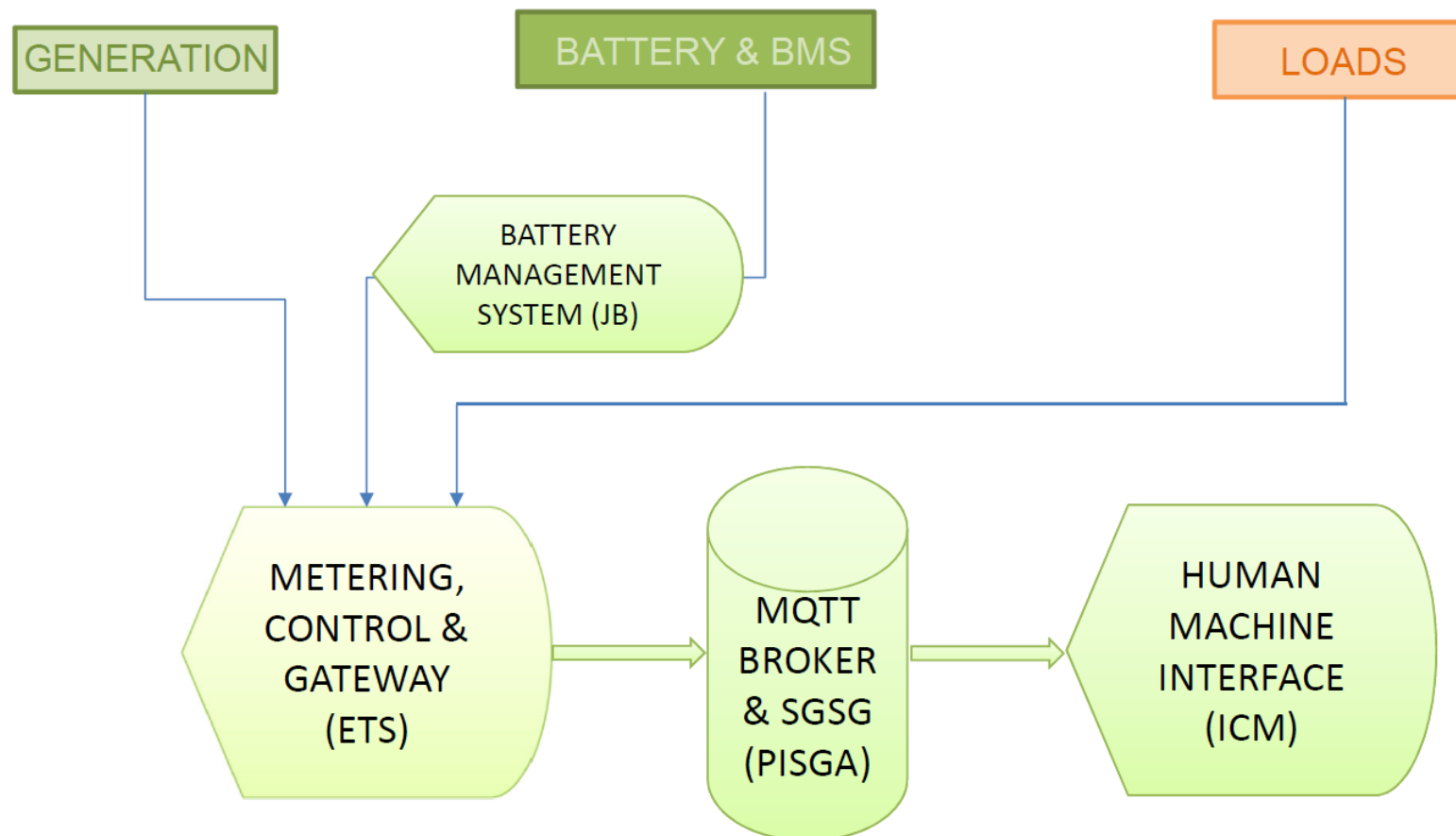
- Average energy density
- Average efficiency



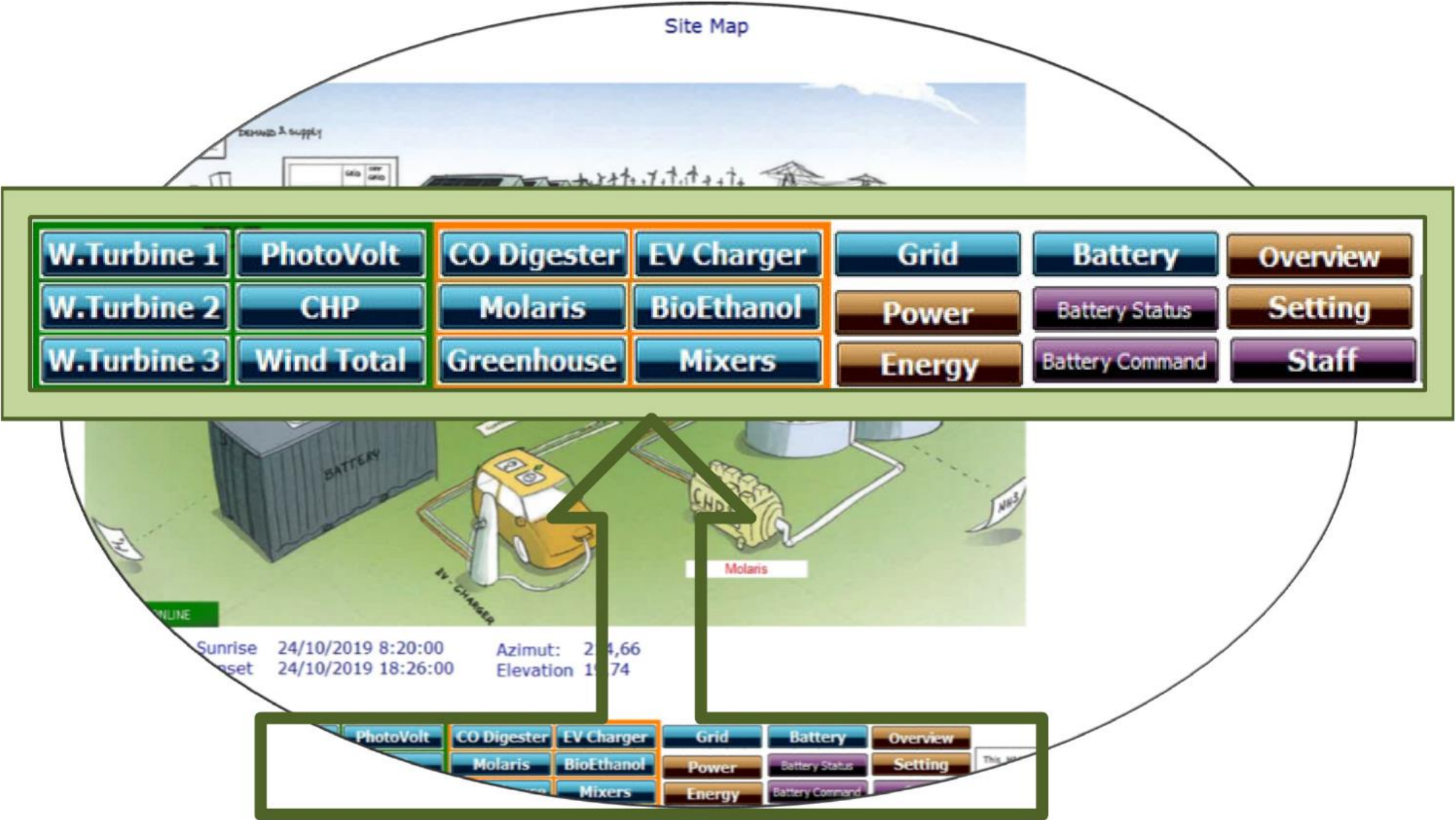
Li battery for electromobility and home storage systems

Metal-free RFB for large-scale stationary BESS

EnergyKeeper projektas (H2020)



EnergyKeeper projektas (H2020)



EnergyKeeper projektas (H2020)



24/10/2019 15:56:59

Hello!!: admin

Wind Turbine 1 - Energy



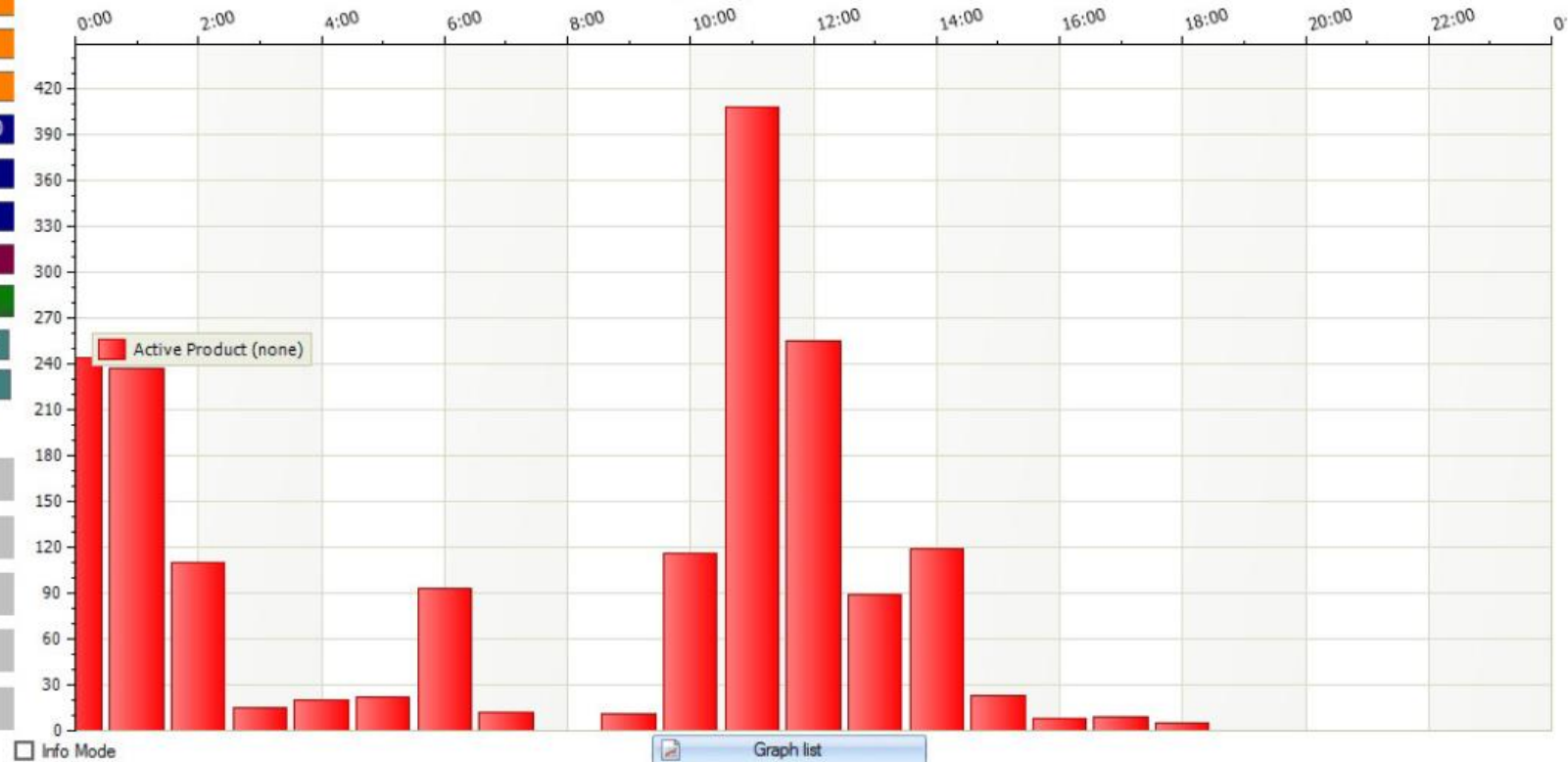
N69 Wind Turbine 1	
Current L1	0,00
Current L2	0,00
Current L3	0,00
Voltage L1	232,58
Voltage L2	233,38
Voltage L3	232,91
Act. Product	4.516.060,00
Act. StandBy	75.766,00
BiDir. ActPower	0,00
Frequency	49,99
Frequency: OK	
Status:	1
Alarm:	0
Power reduce:	0



☐ Auto refresh

Energy (wh)

jueves, 03 octubre 2019



Historical data

Energy
Power
Voltage
Current
Frequency

☐ Info Mode

Graph list



Site Map

W.Turbine 1
W.Turbine 2
W.Turbine 3

PhotoVlt
CHP
Wind Total

CO Digester
Molaris
Greenhouse

EV Charger
BioEthanol
Mixers

Grid
Power
Energy

Battery
Battery Status
Battery Command

Overview
Setting
Staff

This HMI is part of a project that has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement N°731239

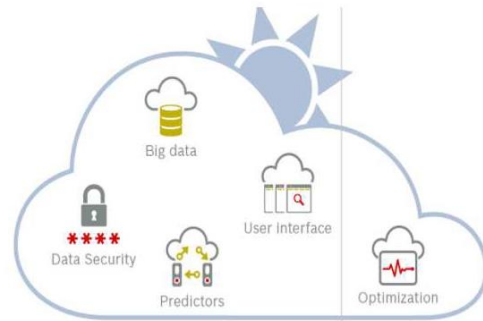


EMS pavyzdžiai

BOSCH Energy Management System

Three levels to save your energy.

Smart. From the cloud to the grid. The Bosch Energy Management System combines three levels of communication in a secure and reliable way and allows adaption to any changes in load profiles, user behavior or weather patterns.



Cloud:

Secure. Collect. Analyse.
The cloud is the heart of our Energy Management System. It provides data storage, cyber security, and usage optimization. The cloud continually collects data which is generated during system operation and allows detailed remote analysis and monitoring of the system.

Industrial PC:

Connected to the Customer
The Industrial PC enables on-site access and control of the energy system by the customer. In addition, it provides a level of redundancy in case of microcontroller failure or loss of internet connection.

Microcontroller:

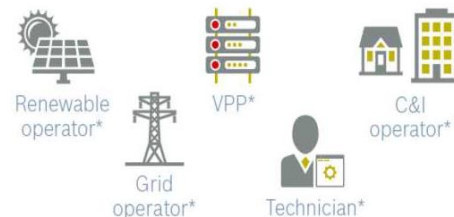
Energy Management. In Real-Time.
Real-time energy management of multiple energy assets and energy storage by a programmable logic controller (PLC) ensures safe and robust operations.

Industrial PC

Microcontroller



Microcontroller, Bosch Battery Management System enable a highly effective energy usage. In addition, BEMS is highly flexible and can be operated in three different modes: manual, scheduled, automated.



*These players can also access and command the storage system via the cloud.

Storage Systems
BMU | Inverter | HVAC | Safety

Energy Assets
Wind | Diesel | PV | CHP

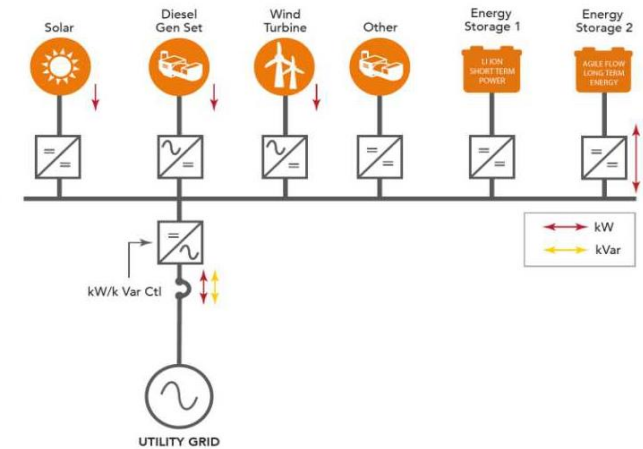
Meters
load | grid

Source: Bosch

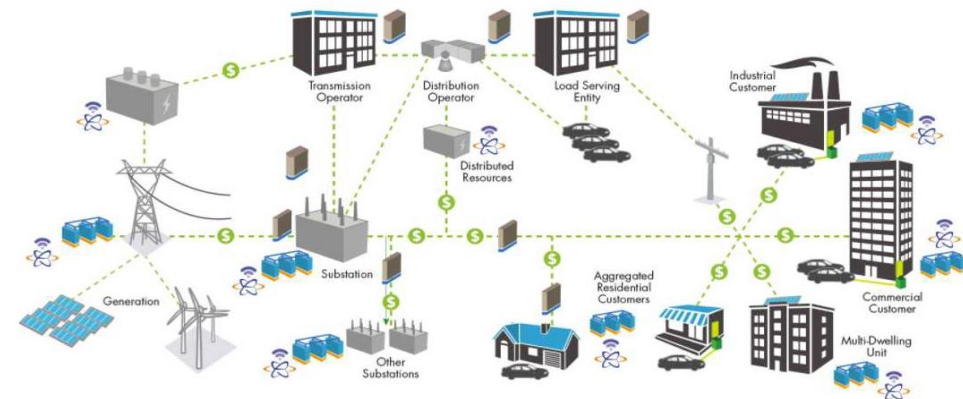


Matrix Energy Management

EnSync's Proprietary and High Efficiency "Auto-Sync" DC Bus Modular Control Platform



EnSync's energy management systems integrate with utility T&D networks as individual DG assets or DG asset clusters through secure networks.



Source: EnSync

Elektros energijos saugojimo sistemos/baterijos (EEKS) parametrų (talpa, galia) parinkimas

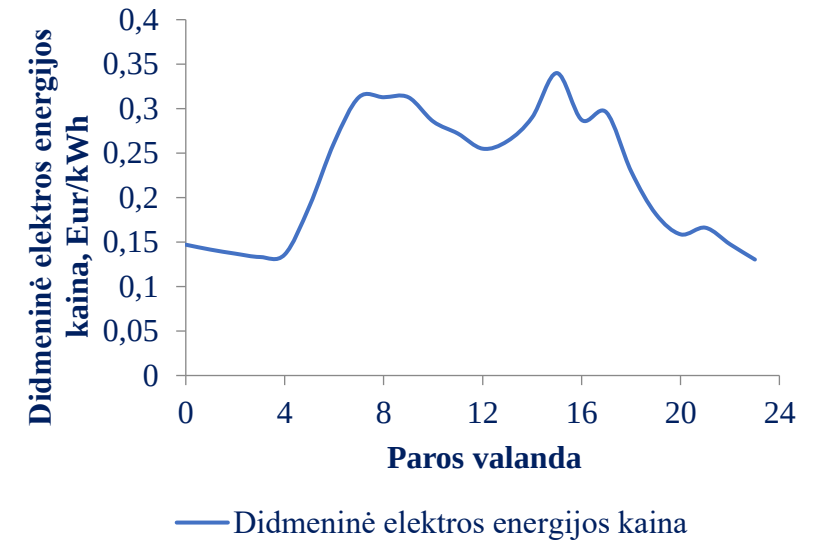
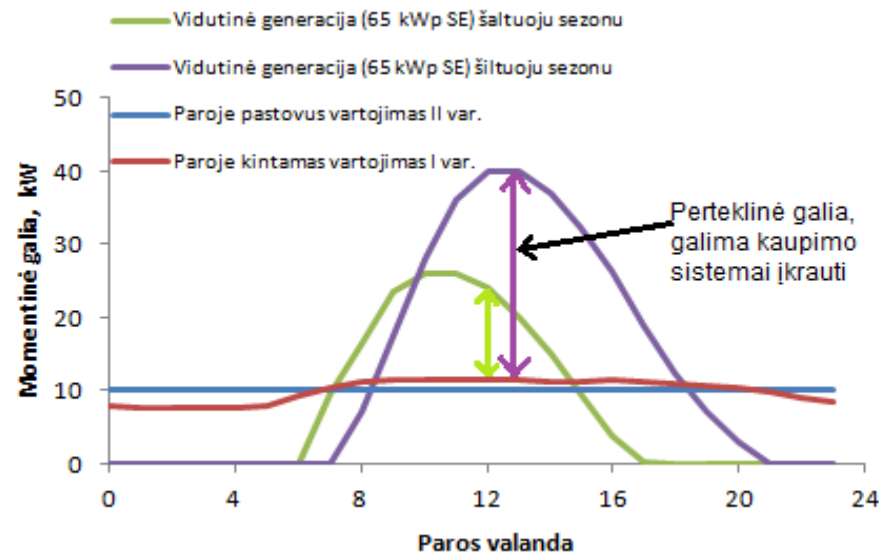
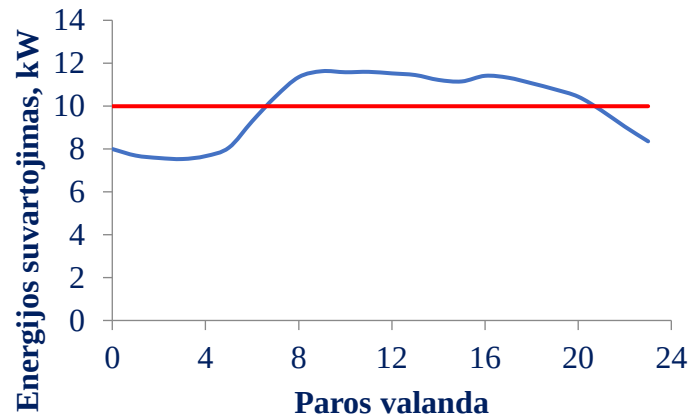


Siekiama maksimizuoti pajamas/minimizuoti išlaidas (ar kitą kriterijų):

- Elektros energijos priėmimo, atidavimo bei laikymo laiko periodų tvarkaraščio sudarymas;
- EEKS talpos ir atiduodamos/priimamos galios parinkimas.

Scenarijai su skirtingais parametrais:

- Objekto konfigūracija:
 - vartojimas ir EEKS;
 - vartojimas su EEKS ir elektros energijos generacija (saulės (SE), vėjo ar kito tipo elektrinės).



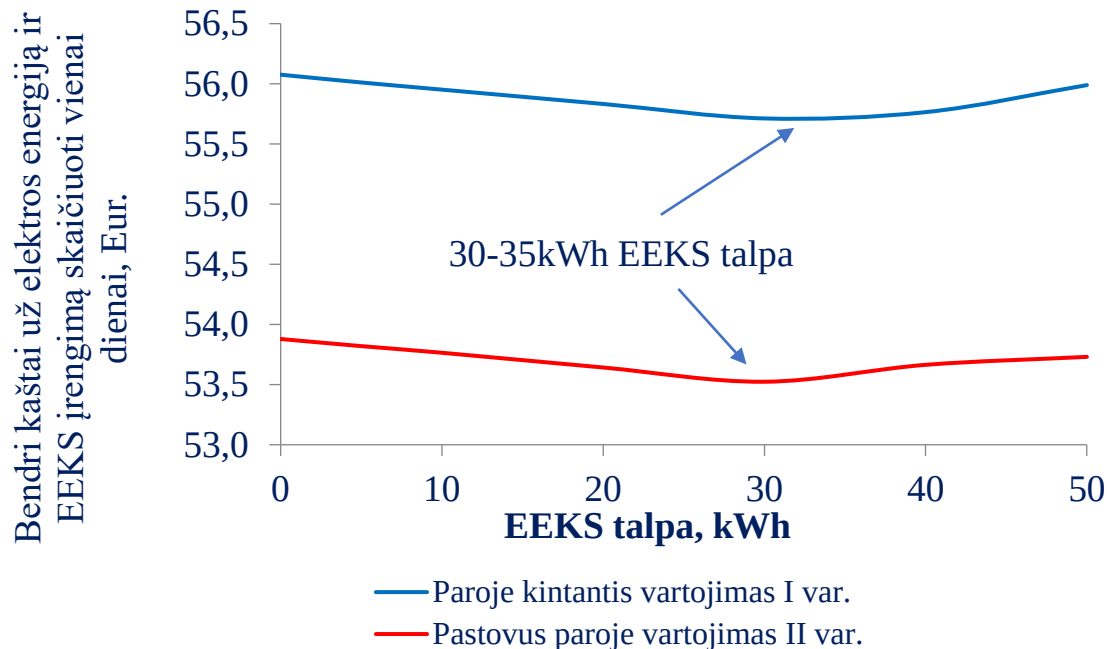
EEKS optimizavimo uždavinių pavyzdžiai

Pradinės sąlygomis (optimizuojami finansiniai rodiliai nagrinėjant kasvalandinius duomenis):

- paroje nekintantis ir kintantis vartojimas (2 atvejai), kurių vidutinės vertės yra po 10 kW;
- vidutinė mažmeninė elektros energijos kaina 0,2245 Eur. /kWh;
- kaupimo sistemos diegimo kaštai 450 Eur./ kWh.

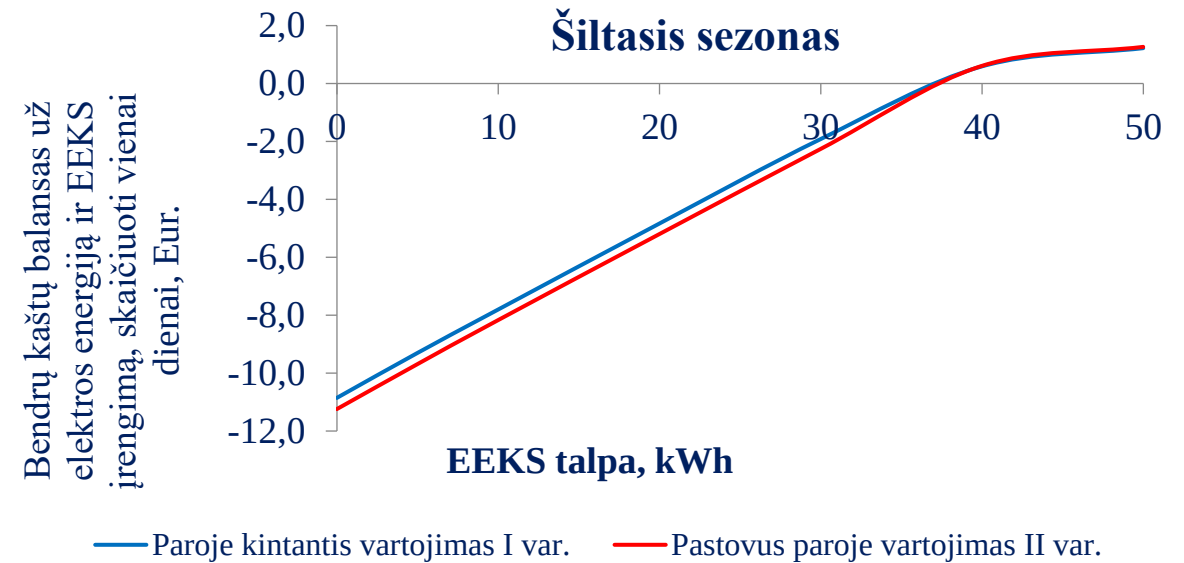
Vartojimo objektas su EEKS:

- EEKS įkraunama esant mažiausioms valandinėms elektros kainoms ir iškraunama esant didžiausioms.



Vartojimo objektas su EEKS ir SE (65 kW):

- EEKS yra įkraunama esant perteklinei generacijai ir iškraunama, generacijai esant mažesnei už vartojimą, likusi perteklinė generacija parduodama.



EEKS diegimas nėra tikslingas vertinant tik šiltąjį sezoną. Geriausios vertės (kaštai) gaunamos, kai EEKS talpa nulis.

Kaupimo sistemos optimizacijos uždavinio matematinė formuluotė

Optimizacijos laiko žingsnių skaičius

Elektros energijos kaina (Day-Ahead)

Iškrova

Iškrova

Maksimizuoti

$$\sum_{t=1}^T p_t^{\text{DA}} (q_t^D - q_t^R)$$

Su sąlygomis:

$$S_{t+1} = \gamma_s S_t + \gamma_c q_t^R - q_t^D, \quad \forall t \quad \text{Kaupimo sistemos modelis}$$

$$\underline{S} \leq S_t \leq \bar{S}, \quad \forall t \quad \text{Kaupimo sistemos min. ir maks. įkrova}$$

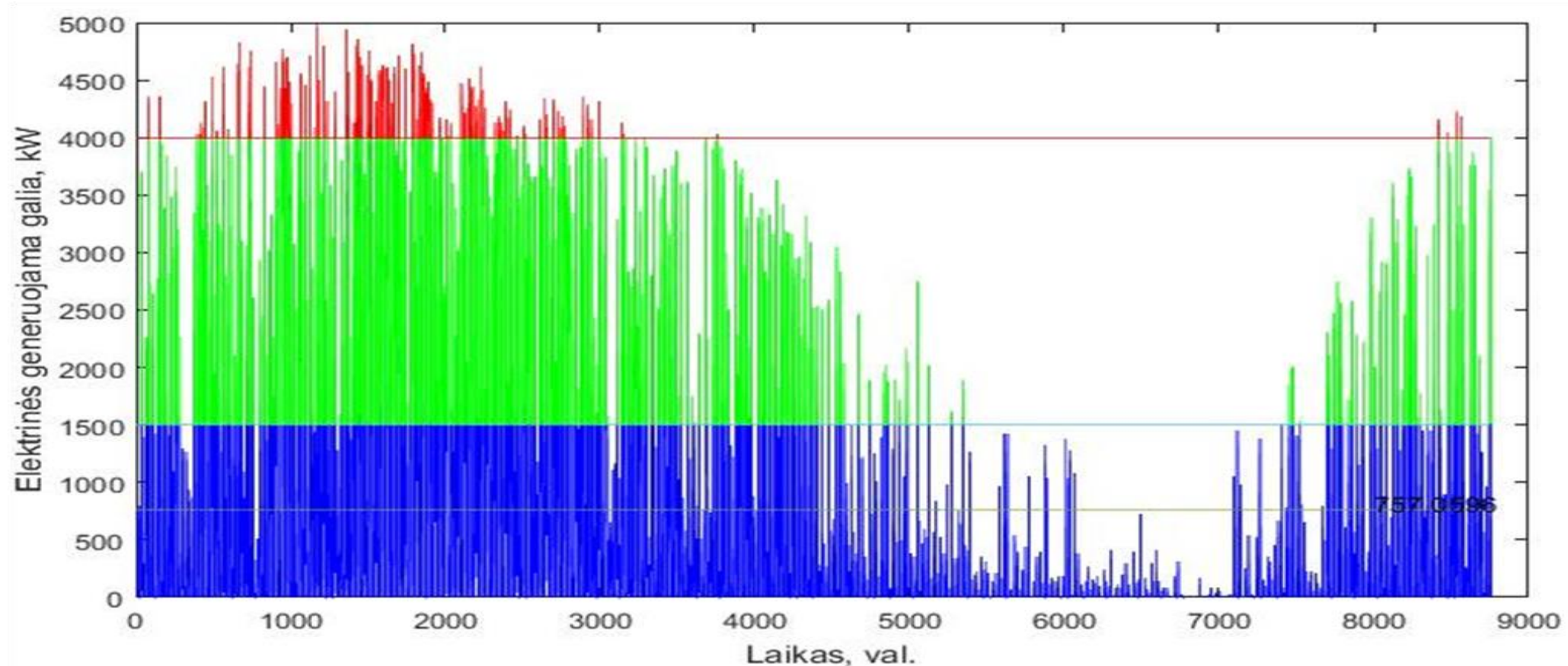
$$0 \leq q_t^R \leq \bar{q}^R, \quad \forall t \quad \text{Įkrova}$$

$$0 \leq q_t^D \leq \bar{q}^D, \quad \forall t \quad \text{Iškrova}$$

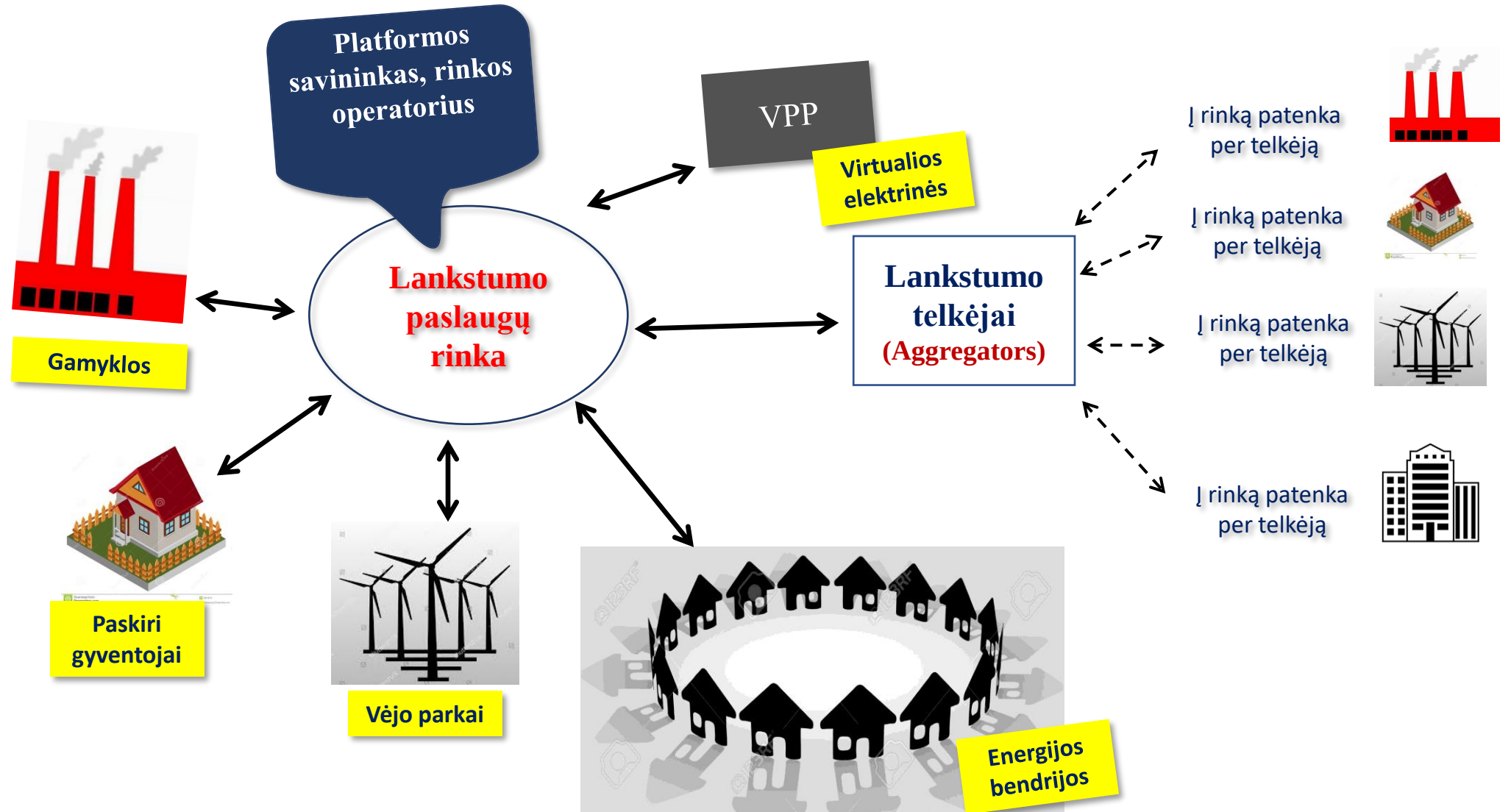
EEKS kaupiamos energijos iš SE generacijos pavyzdys

Vartojimo objekto su EEKS ir SE generacija elektros energijos pasiskirstymas vienu metų laikotarpyje esant pastoviam vartojimui:

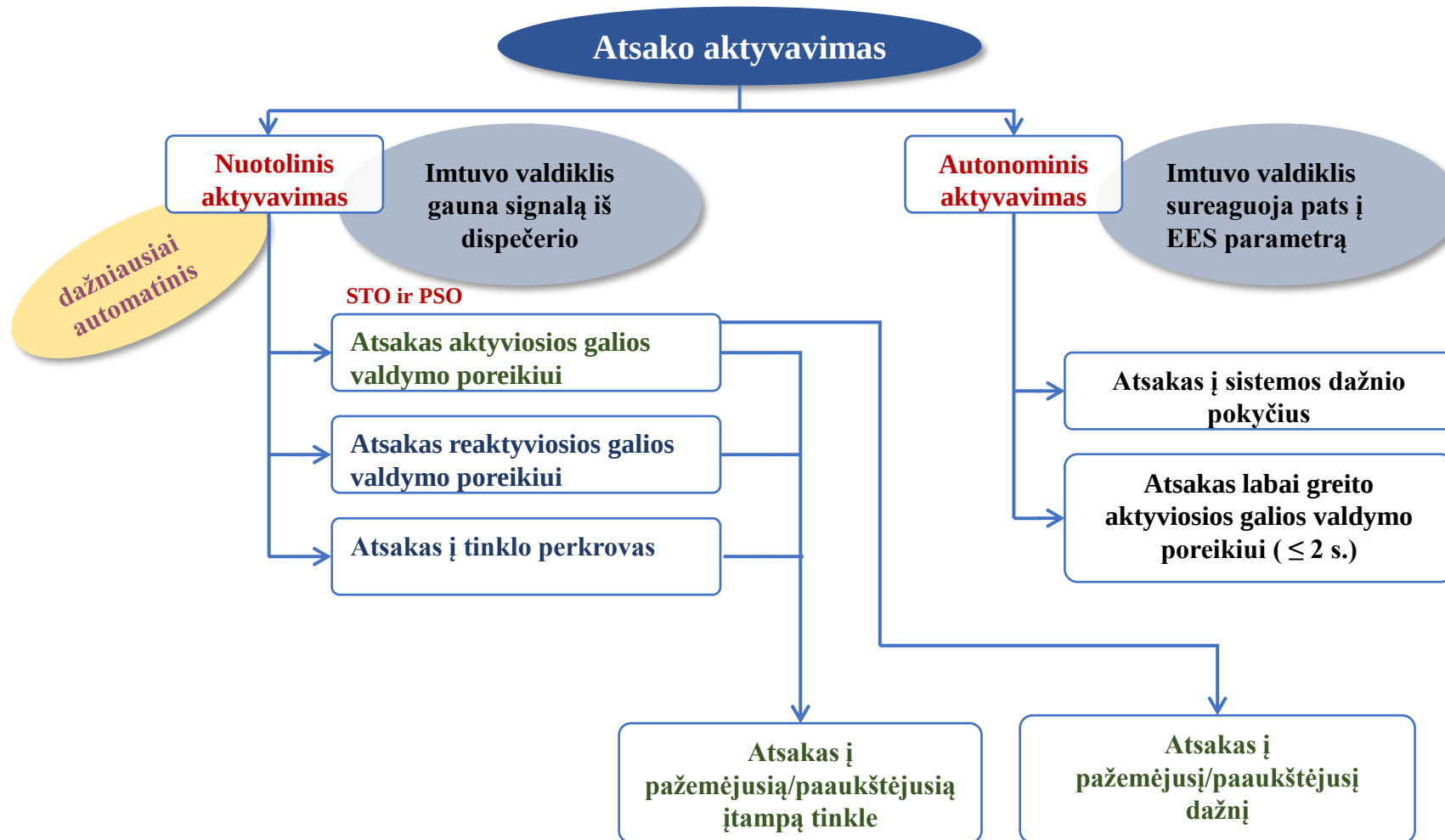
- generacijos vartojimas objekto reikmėms;
- generacijos kaupimo galimybė esant 2,5 MW galingumo EEKS;
- likusios perteklinės generacijos pardavimas.



Lankstumo paslaugos bus tiekiamos rinkai tiesiogiai arba per telkėjus



Reguliavimo apkrova paslauga (angl. *Demand response*)





LIETUVOS
ENERGETIKOS
INSTITUTAS



Kontaktinis asmuo:

Dr. Virginijus Radziukynas

Išmaniųjų tinklų ir atsinaujinančios energetikos laboratorijos vadovas

Lietuvos energetikos institutas

El. paštas: Virginijus.Radziukynas@lei.lt

Tel.: +370 610 46809

www.lei.lt

2023 gruodžio 18 d.

