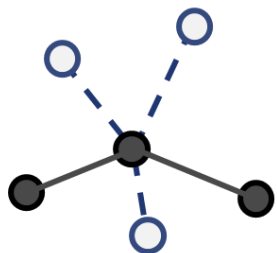


# OPTIMALIZACE DOBÍJENÍ EV S OHLEDEM NA DISTRIBUČNÍ SOUSTAVU

Martin Střelec et al.

Elektrizační soustava 2025, Zámek Valeč



DE  
CO  
DI  
S

CENTRALIZED  
NTROL  
STRIBUTION  
SYSTEM

## Decentralizované řízení distribuční soustavy TAČR Théta 2021-2025



## Large scale system approach for advanced charging solutions

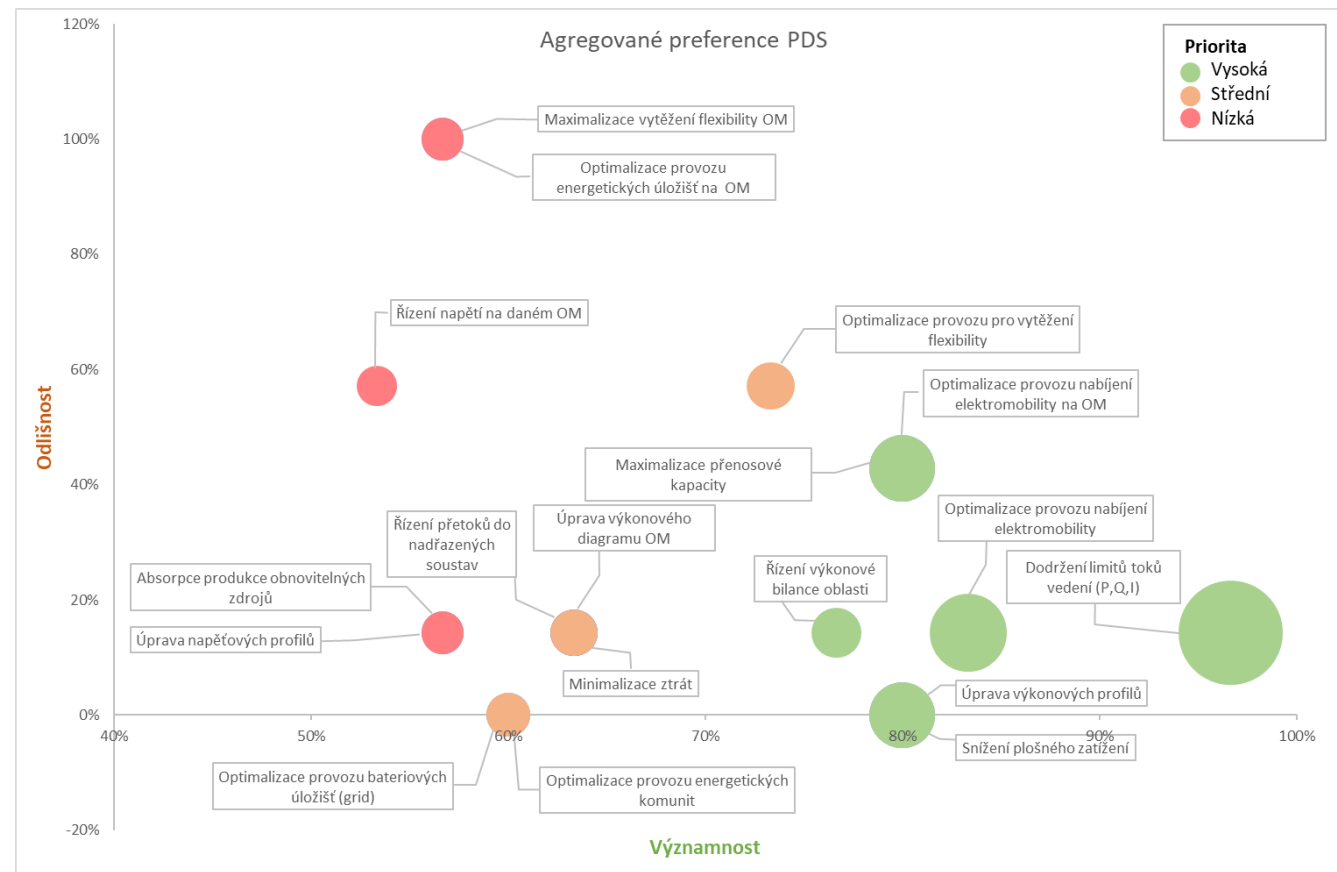
Horizon Europe, 2023-2026



## Optimization of Electric Vehicle Autonomy

Horizon Europe, 2023-2025

Use cases / Úroveň	Technologie	Odborné místo	Část distribuční sítě	Distribuční síť	Rozhraní přenosové soustavy	Komentář	Priority			Významnost	Odlíšnost	Pořadí
							ČEZ D	EGD	PRE			
Úprava výkonového diagramu OM		✓				Optimalizace výkonového diagramu OM dle požadovaného denního průběhu.	3	4	3	63%	14%	9
Řízení napětí na daném OM		✓				Řízení napětí na daném OM na základě požadované hodnoty/intervalu (dle možnosti řízení napětí na daném OM).	1	3	3	53%	57%	18
Maximalizace vytěžení flexibility OM		✓				Optimalizace provozu OM pro maximalizaci vytěžení flexibility (resp. optimalizace rezervované flexibility)	1	3	4	57%	100%	14
Optimalizace provozu energetických úložišť na OM		✓				Optimalizace provozu energetického úložiště na základě zvolené řídicí strategie (např. maximalizace absorpce nadprodukce OZE ...).	1	3	4	57%	100%	14
Optimalizace provozu nabíjení elektromobility na OM	✓					Optimalizace nabíjení elektromobilu na základě zvolené řídicí strategie (např. rozložení zátěže ...).	3	4	5	80%	43%	3
Úprava napěťových profilů			✓	✓		Optimalizace napěťových profilů v části DS dle zvolené strategie (např. dodržení limitů napětí ...)	3	3	2	57%	14%	14
Úprava výkonových profilů			✓	✓		Optimalizace výkonových profilů v části DS dle zvolené strategie (např. rozložení spotřeb/výrob v části DS ...)	4	4	4	80%	0%	3
Dodržení limitů toků vedení (P,Q,I)			✓	✓		Optimalizace výkonových/proudových toků v části DS dle zvolené strategie (např. dodržení zvolených tokových limitů ...)	5	4	5	97%	14%	1
Řízení přetoků do nadřazených soustav			✓	✓	✓	Řízení přetoků do nadřazených elektrizačních soustav dle požadované strategie (např. minimalizace přetoků, dodržení zadaných limitů ...)	3	4	3	63%	14%	9
Minimalizace ztrát			✓	✓		Optimalizace provozu DS za účelem minimalizace ztrát.	4	3	3	63%	14%	9
Řízení výkonové bilance oblasti			✓	✓		Výkonové bilancování zadané oblasti	4	4	3	77%	14%	7
Maximalizace přenosové kapacity			✓	✓		Maximalizace přenosové kapacity části DS	5	3	4	80%	43%	3
Snížení plošného zatížení			✓	✓		Optimalizace provozu DS za účelem plošného zatížení	4	4	4	80%	0%	3
Optimalizace provozu pro vytěžení flexibility			✓	✓	✓	Optimalizace provozu DS za účelem maximalizace využitelnosti výkonové flexibility ve vybraných procesech (např. SVR, ...)	4	2	4	73%	57%	8
Absorpce produkce obnovitelných zdrojů				✓		Optimalizace provozu DS za účelem absorpce nadprodukce OZE	3	2	3	57%	14%	14
Optimalizace provozu nabíjení elektromobility				✓		Optimalizace nabíjení elektromobilů dle zvolené řídicí strategie (např. zosložení zátěže v čase, ...).	4	4	5	83%	14%	2
Optimalizace provozu energetických komunit				✓		Optimalizace provozu agregčních celků (např. energetických komunit) pro potřeby řízení soustavy	3	3	3	60%	0%	12
Optimalizace provozu bateriových úložišť (grid)				✓		Optimalizace provozu energetického úložiště na síťové úrovni dle zvolené řídicí strategie (např. úprava výkonových toků ...).	3	3	3	60%	0%	12



## Finální sada optimalizační use cases k realizaci

- Dodržení limitů toků vedení (P,Q,I)
- **Optimalizace provozu nabíjení EV (přidělení volné nabíjecí kapacity)**
- Úprava výkonových profilů
- Snížení plošného zatížení
- Řízení výkonové bilance oblasti



## Finální sada optimalizační use cases k realizaci

- Dodržení limitů toků vedení (P,Q,I)
- **Optimalizace provozu nabíjení EV (přidělení volné nabíjecí kapacity)**
- Úprava výkonových profilů
- Snížení plošného zatížení
- Řízení výkonové bilance oblasti

### Opravdu rozdílné případy

- **Optimalizace provozu nabíjení EV (přidělení volné nabíjecí kapacity)**
- Úprava výkonových profilů
- Snížení plošného zatížení

### Omezující podmínky

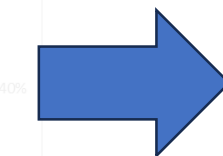
- Dodržení limitů toků vedení (P,Q,I)
- Řízení výkonové bilance oblasti

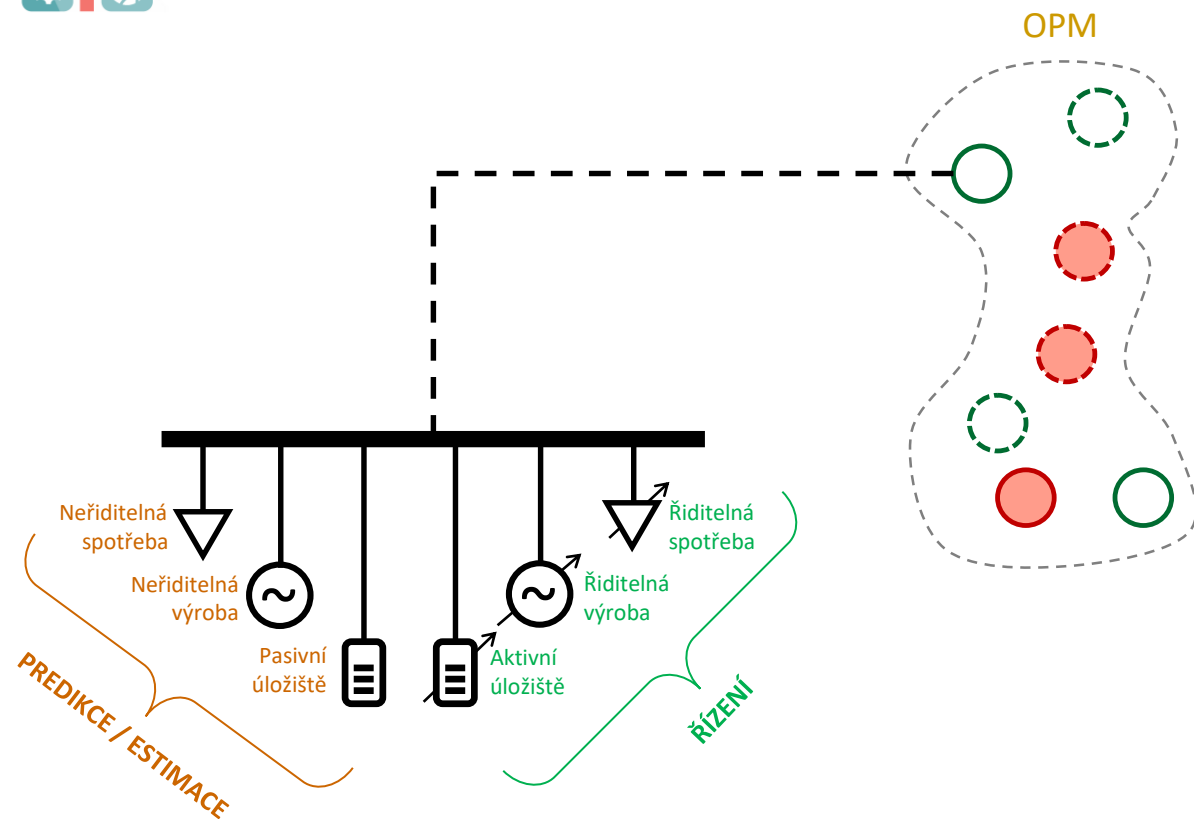
### Optimalizovaný systém

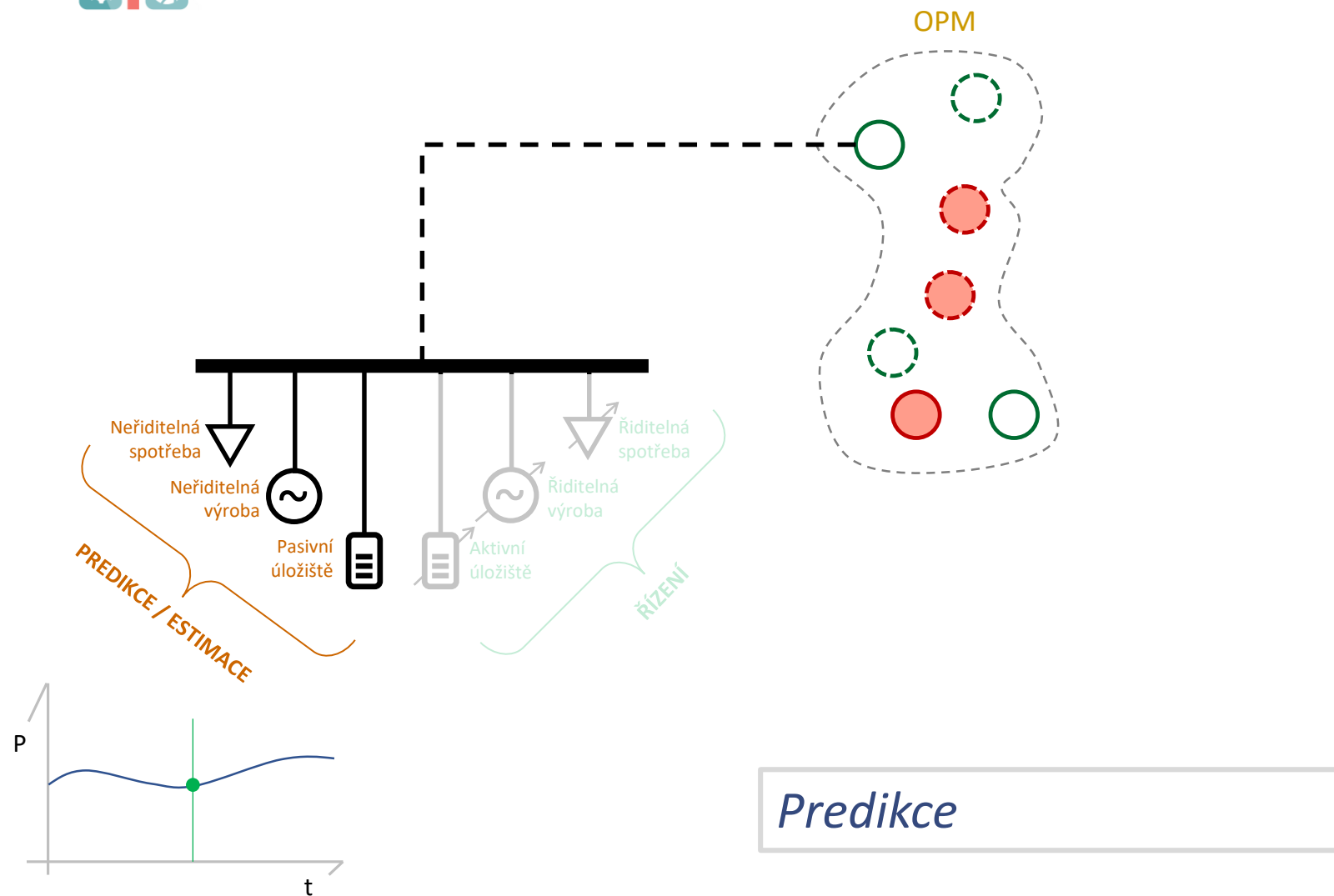
- Distribuční soustava (např. tap changery)
- Říditelné flexibility

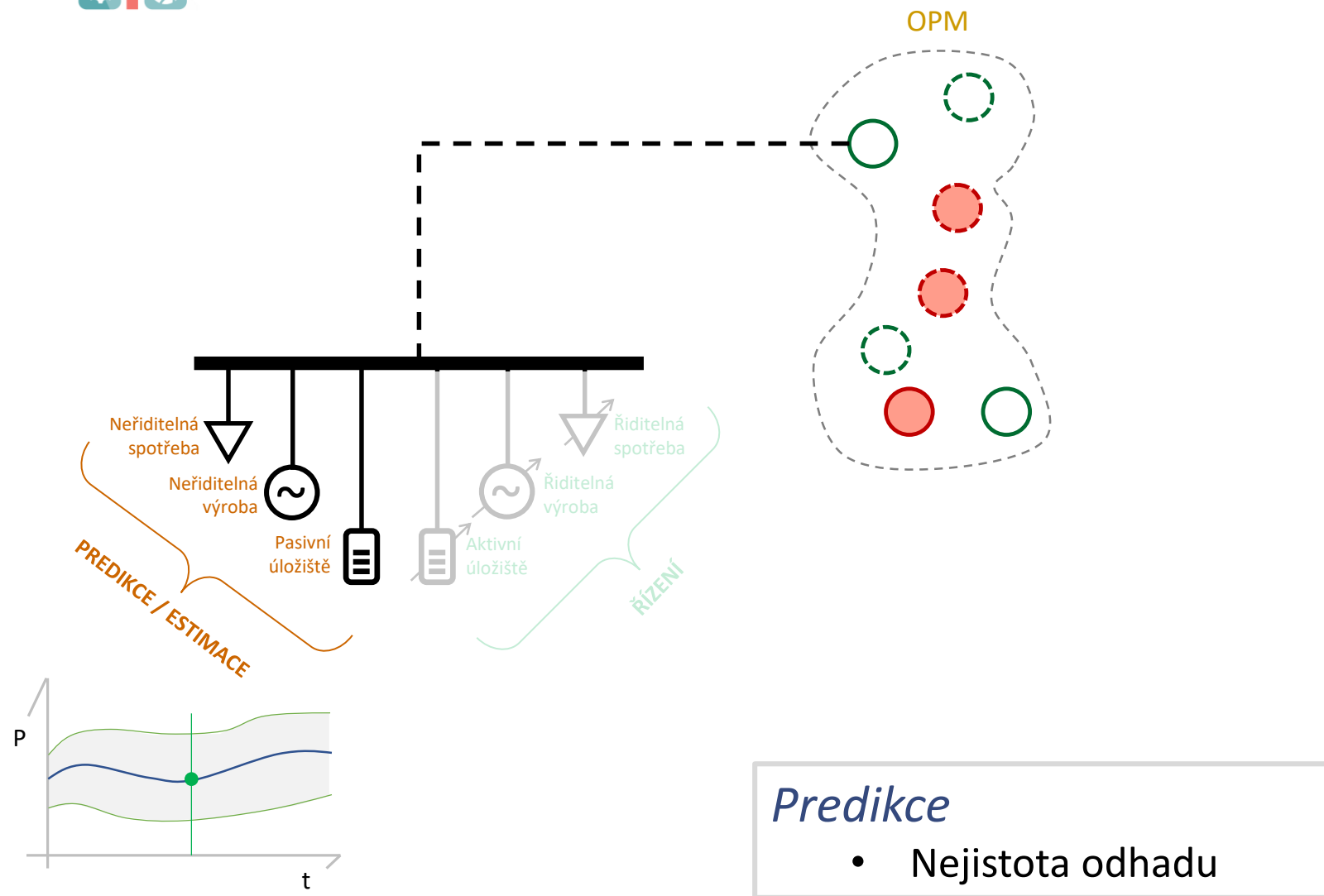
### Optimalizační proměnné

- Nastavení síťových prvků
- Blokační signály EV nabíjecích stanic (obecně ToU tabulky)

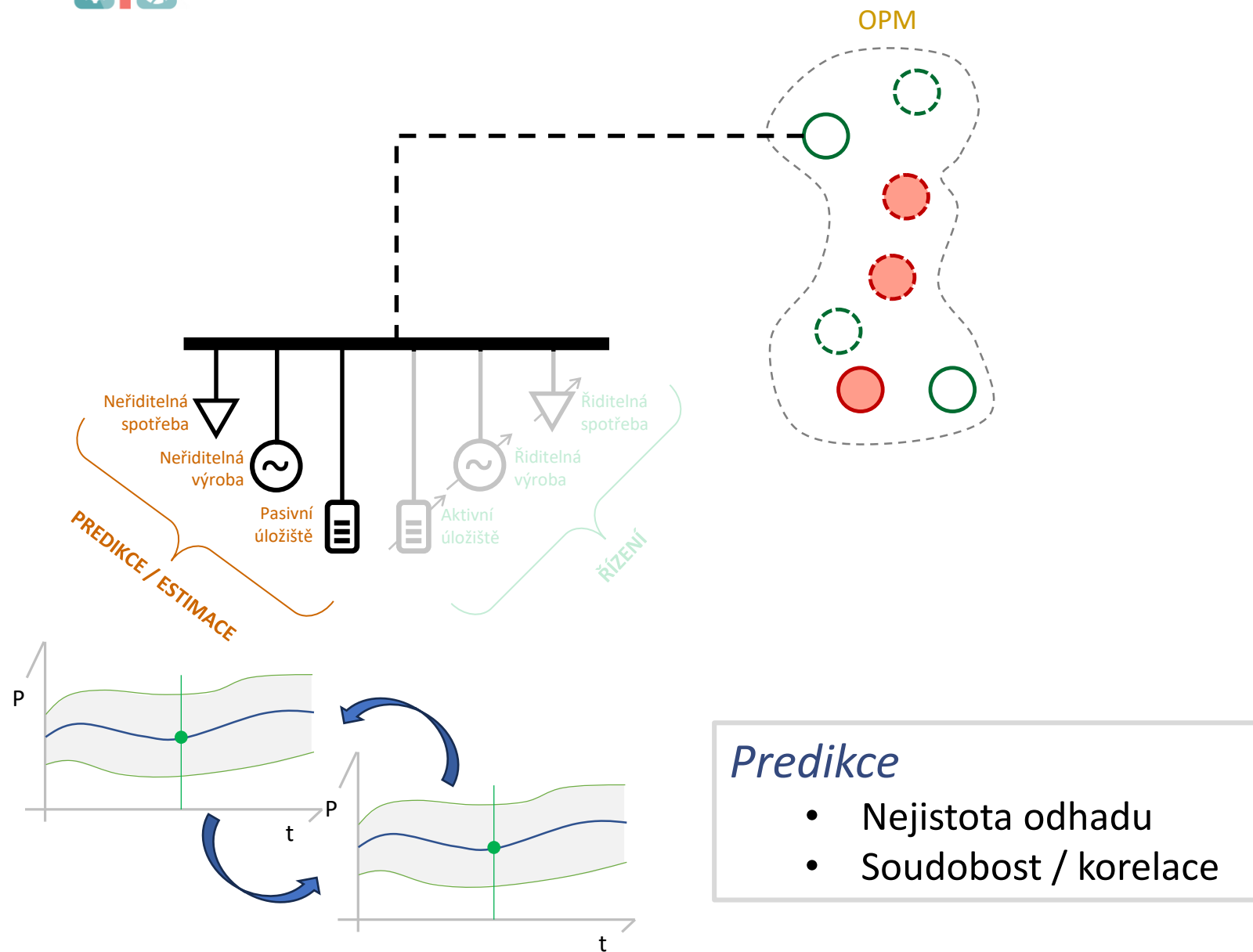


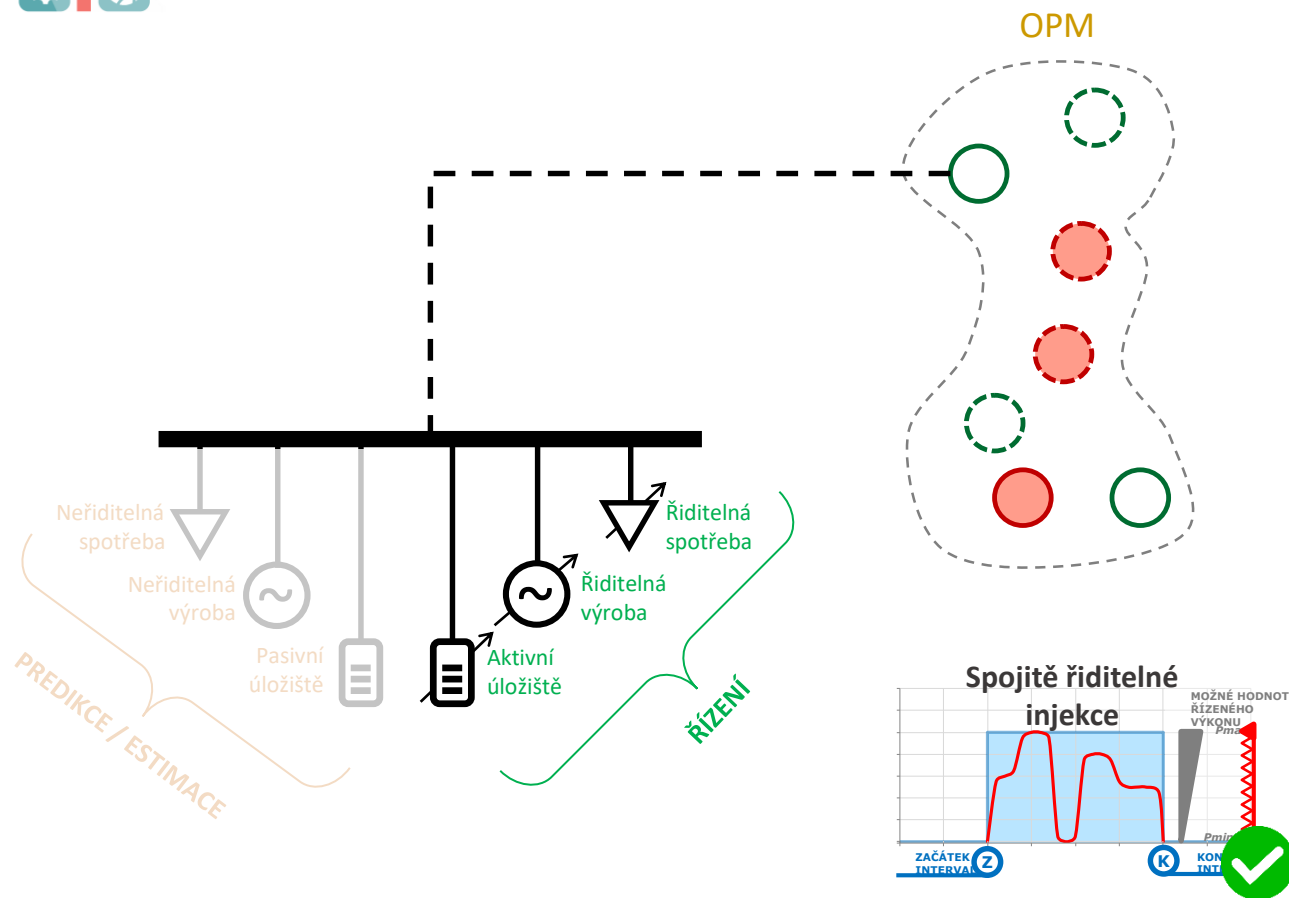










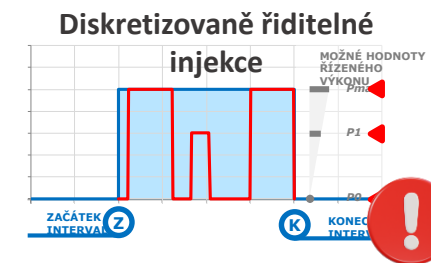
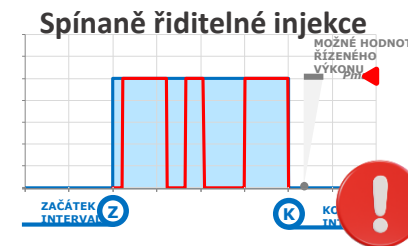
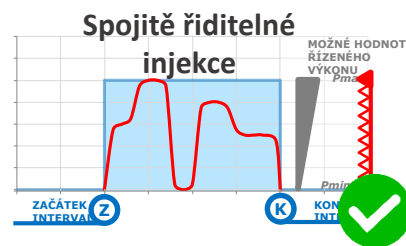


### Predikce

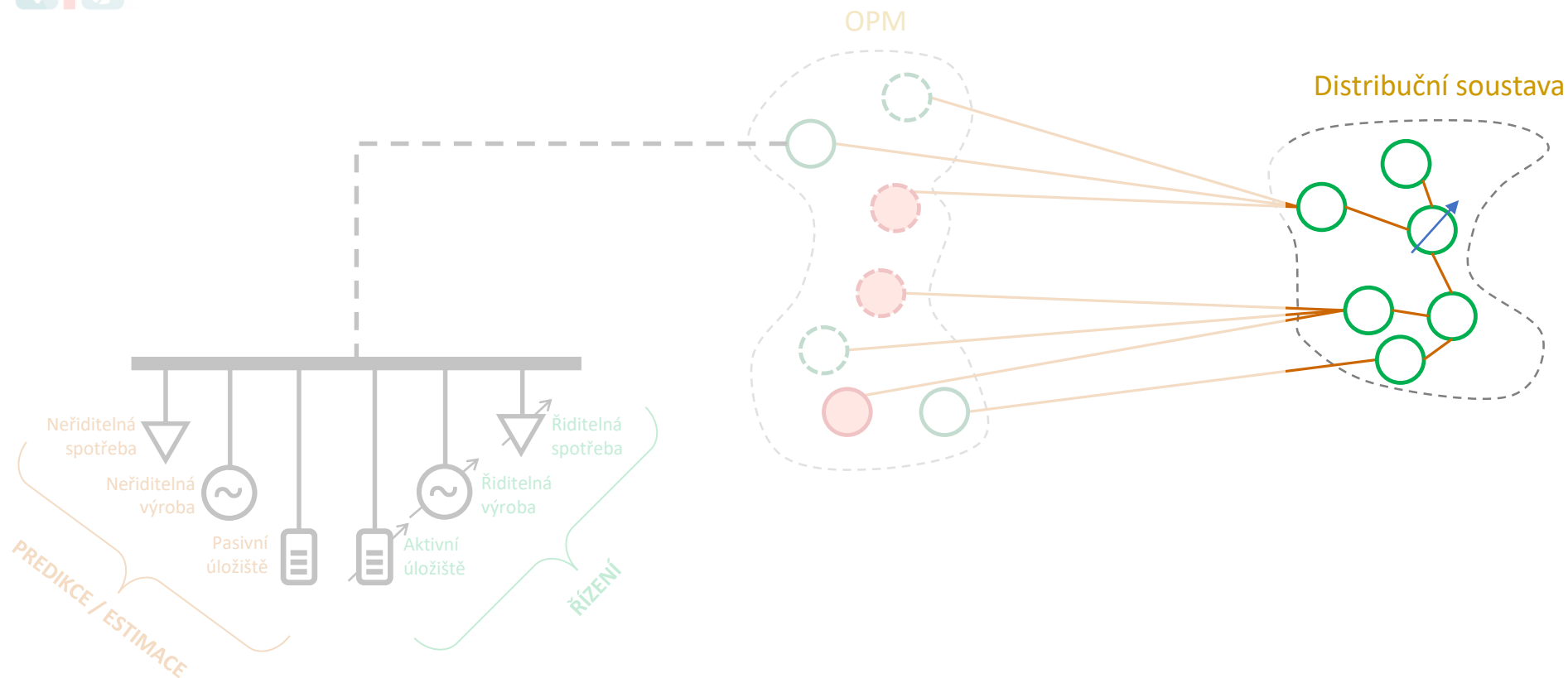
- Nejistota odhadu
- Soudobost / korelace

### Optimalizační proměnné

- Curse of dimensionality



$$2^N \longrightarrow M^N$$



### Predikce

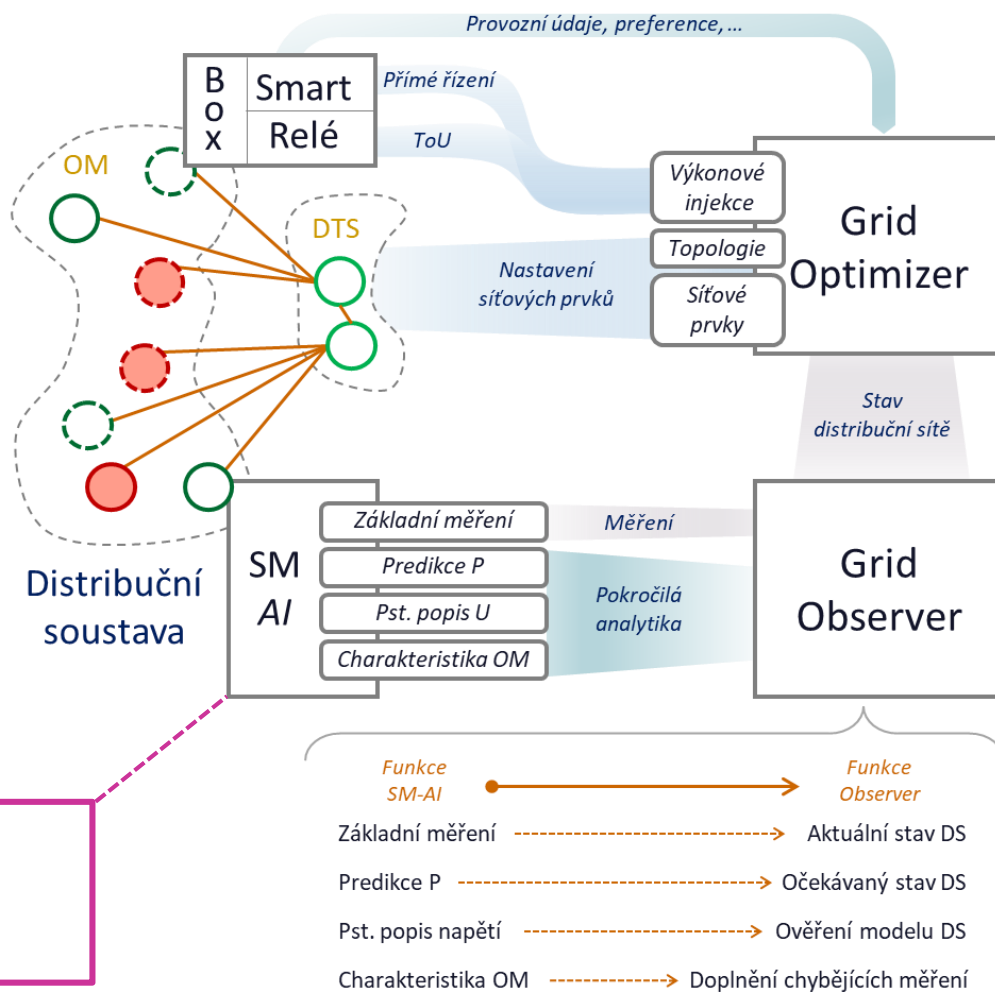
- Nejistota odhadu
- Soudobost / korelace

### Optimalizační proměnné

- Curse of dimensionality

### Systém (DS)

- Nelineární komplexní model



*Optimalizační proměnné*

- Curse of dimensionality

**Realizovatelná optimalizace**

*Systém (DS)*

- Nelineární komplexní model

**Robustní odhad stavu (pravděpodobnostní)**

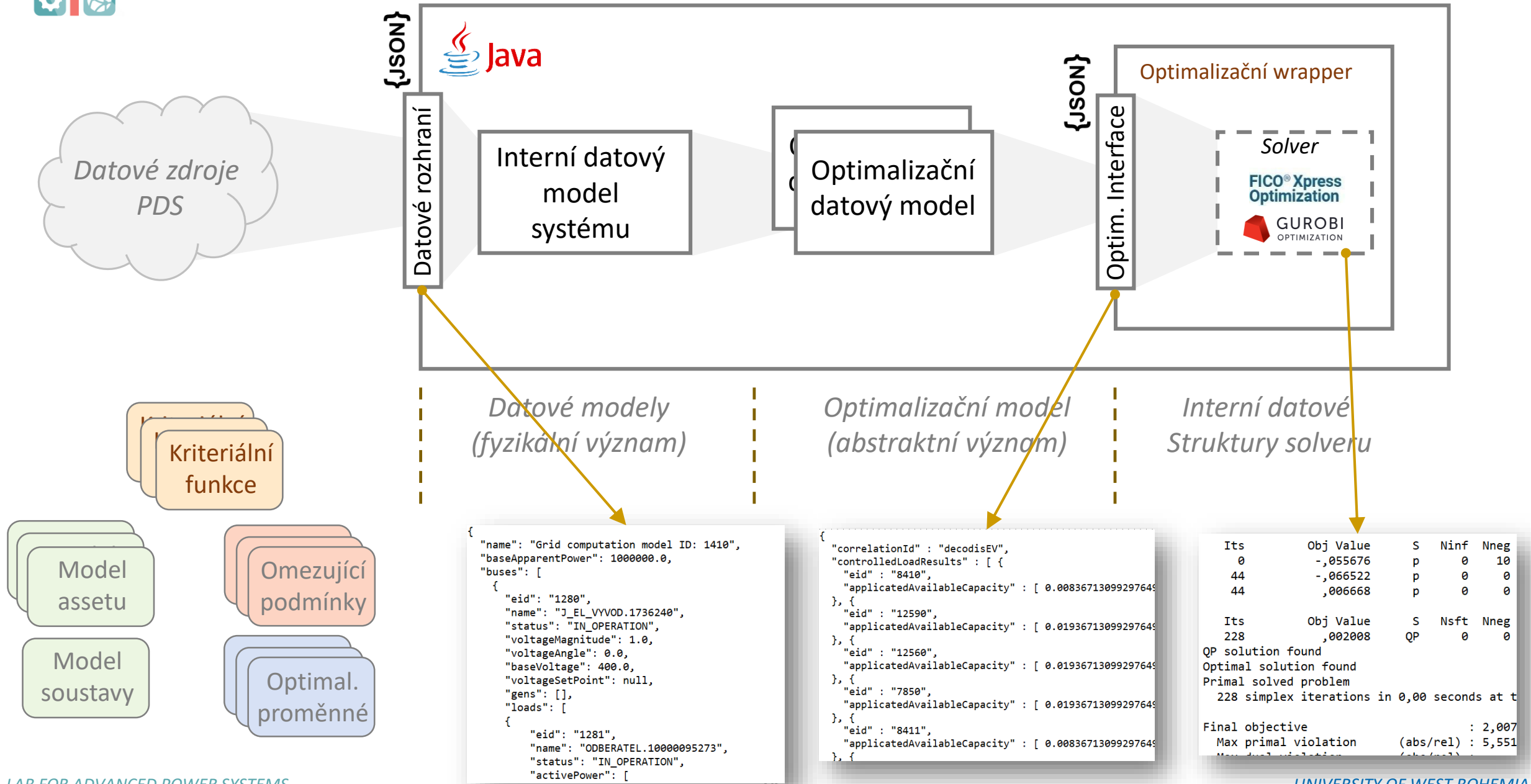
*Predikce*

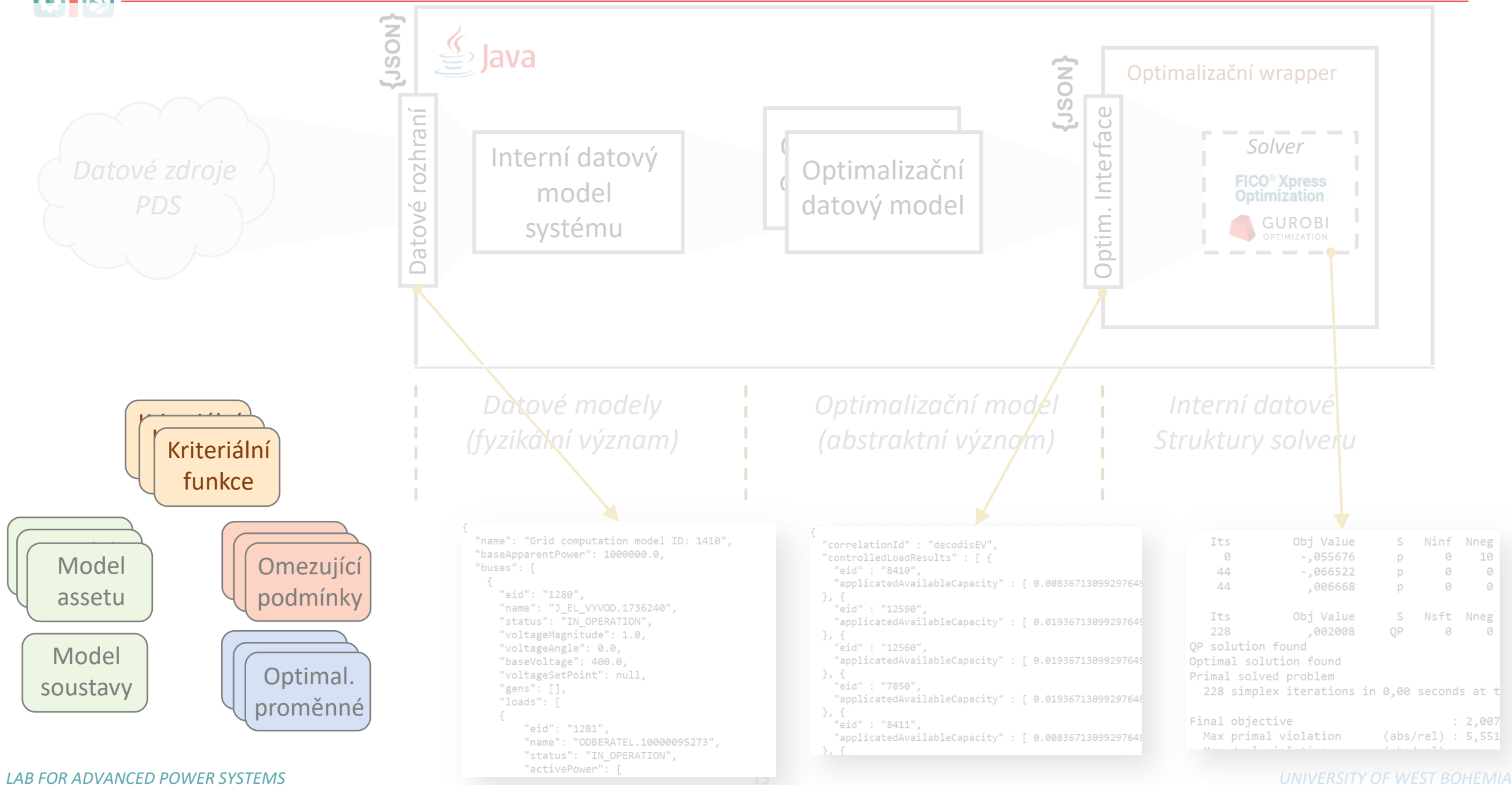
- Nejistota odhadu
- Soudobost / korelace

**Přesná predikce**

Varianta	1	2	3	4	5
Topologie	konektivita	konektivita	plnohodnotná	plnohodnotná	plnohodnotná
Stav sítě	není potřeba	není potřeba	linearizovaný (DC)	linearizovaný (DC)	plnohodnotný (AC)
Typ sítě	radiální	radiální	mřížové	mřížové	mřížové
Optimalizace	heuristika	lineární optimalizace s váhovými koeficienty	lineární optimalizace	kvadratická optimalizace	nelineární optimalizace
Solver	není potřeba	lineární	lineární	kvadratický	konvexní
Výhody	- jednoduché algoritmy	- jednoduché algoritmy - integrovaný solver (free)	- vysoká skalabilita - výpočetní výkon - mřížové sítě	- vysoká skalabilita - výpočetní výkon - mřížové sítě - customizované rozložení akčních zásahů (např. činný výkon)	- mřížové sítě - řízení napětí - customizované rozložení akčních zásahů (např. činný výkon)
Nevýhody	- nízká skalabilita - nízká kvalita řízení/optimalizace - omezené použití	- pouze radiální	- složitější rozdělení akčních zásahů (např. činný výkon) - kvalitnější model DS	- kvalitnější model DS	- kvalitnější model DS - výpočetní výkon
Cost drivers	- vývoj - maintenance/modifikace	- vývoj - maintenance/modifikace	- vývoj - solver	- vývoj - solver	- vývoj - solver - maintenance/modifikace

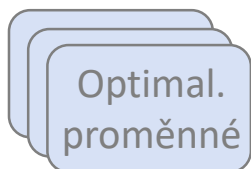
Výběr technologie je dán požadavky na kvalitu, výkonnost a cenu řešení







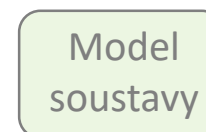
- **Optimalizace provozu nabíjení elektromobility na OM** : Rozdělení volné kapacity mezi dobíjecí stanice (DoS) na zvoleném časovém horizontu
- **Snížení plošného zatížení**: Snížení výkonových špiček spotřeby na zvoleném časovém horizontu tak
- **Omezení přetoku přes DTS**: Minimalizace přetoku do vyšší napěťové úrovně na zvoleném časovém horizontu
- **Snížení toku přes DTS**: Minimalizace výkonových výměn přes DTS. resp. maximalizace výkonové rezervy



- **Blokace zařízení**
- **Limitace zařízení**
- **Spojité řízení**



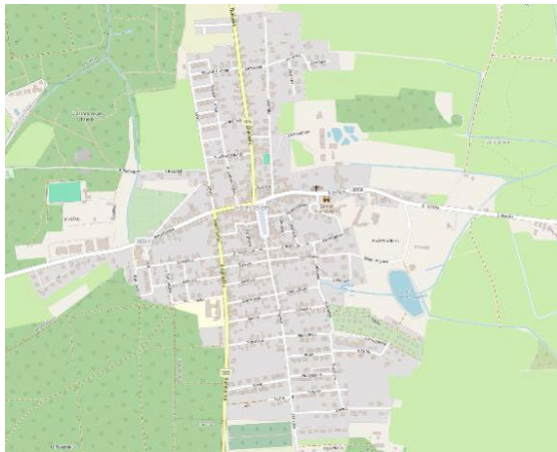
- **Dodržení limitů toků vedení (P, Q, I)**
- **Dodržení limitů amplitud vedení**
- **Uživatelské preference**
  - Min. / Max. doba nabíjení
  - Interval nabíjení



- **Plnohodnotný AC model**



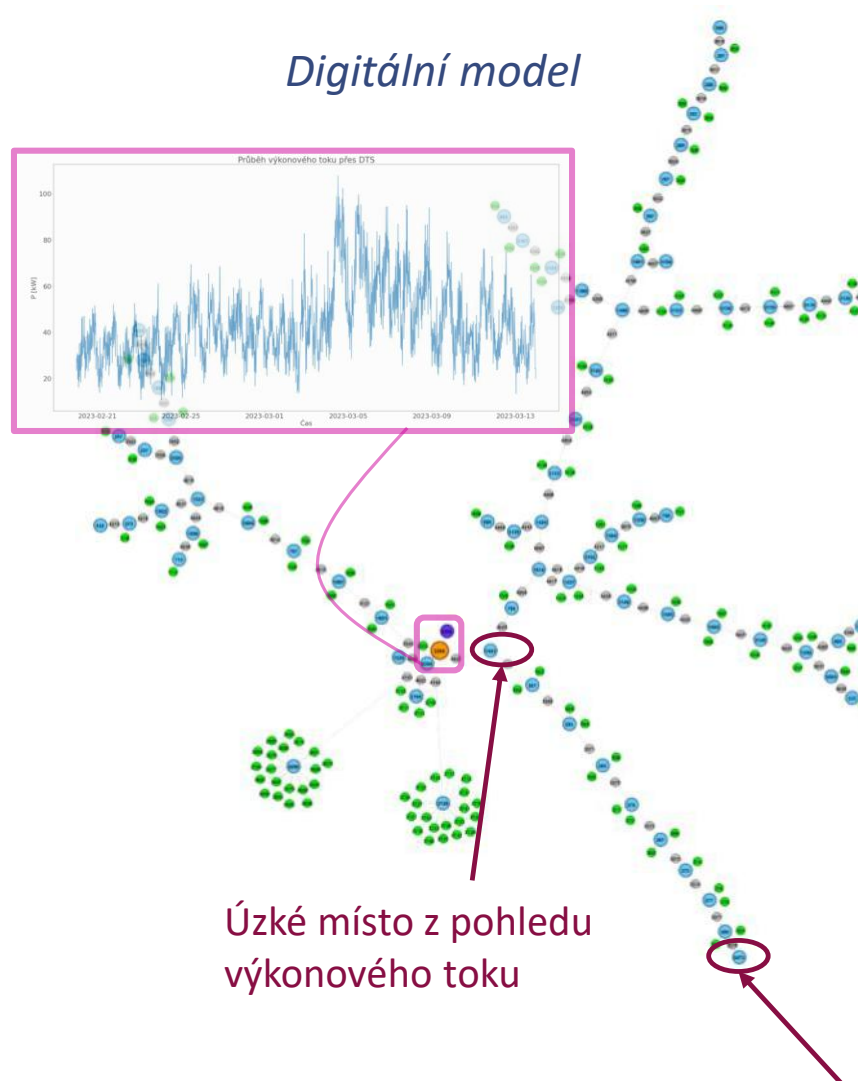
## Pilotní lokalita



## Rozložení spotřeb

Sazba	Počet OM	Spotřeba [kWh]
C01D	2	154,1
C02D	5	1388,1
D01D	17	1777,1
D02D	69	7298,6
D25D	7	2303,3
D45D	1	288,9
D56D	2	397,3
D57D	16	7146,2
Celkem	119	20753,6

## Digitální model



## Pilotní lokalita

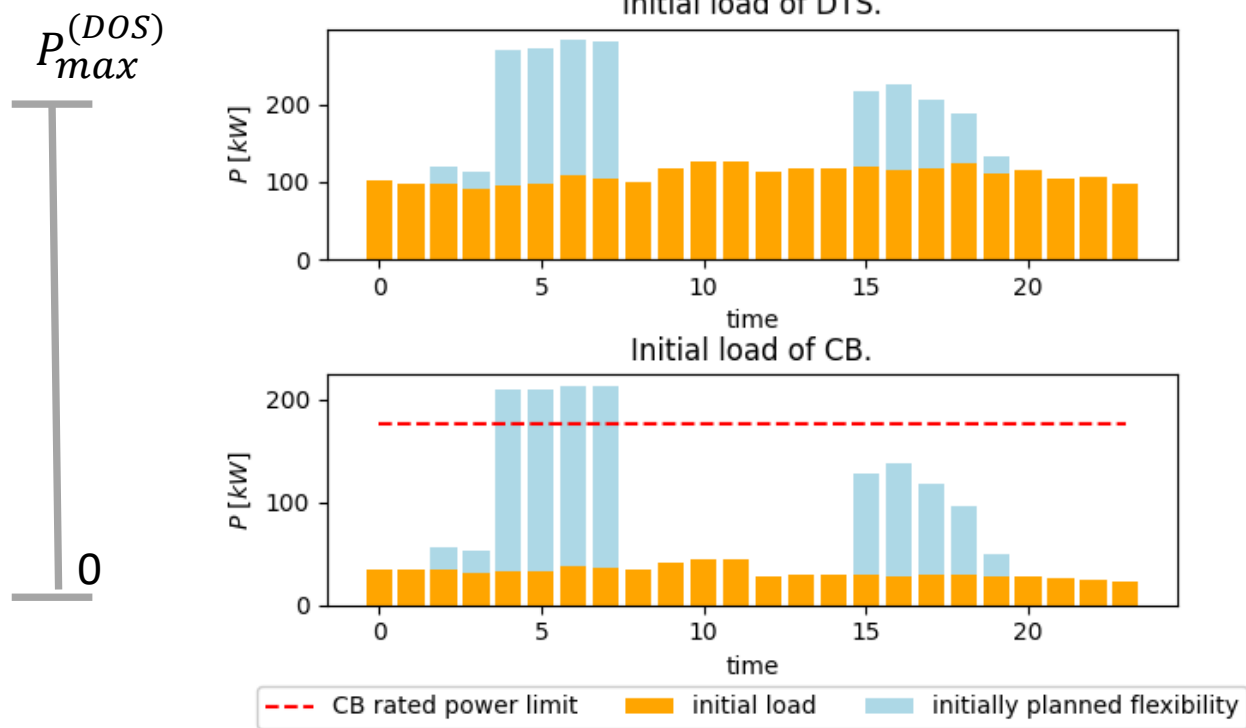
- **Oblast:** ČEZ Distribuce a.s.
- **Velikost:** přibližně 2 100 obyvatel
- V obci je rozmístěno několik distribučních transformačních stanic
- V testovacím období zde bylo **129 OPM**:
  - **129** bylo **osazeno** AMM měřením

## Úprava testovacího modelu

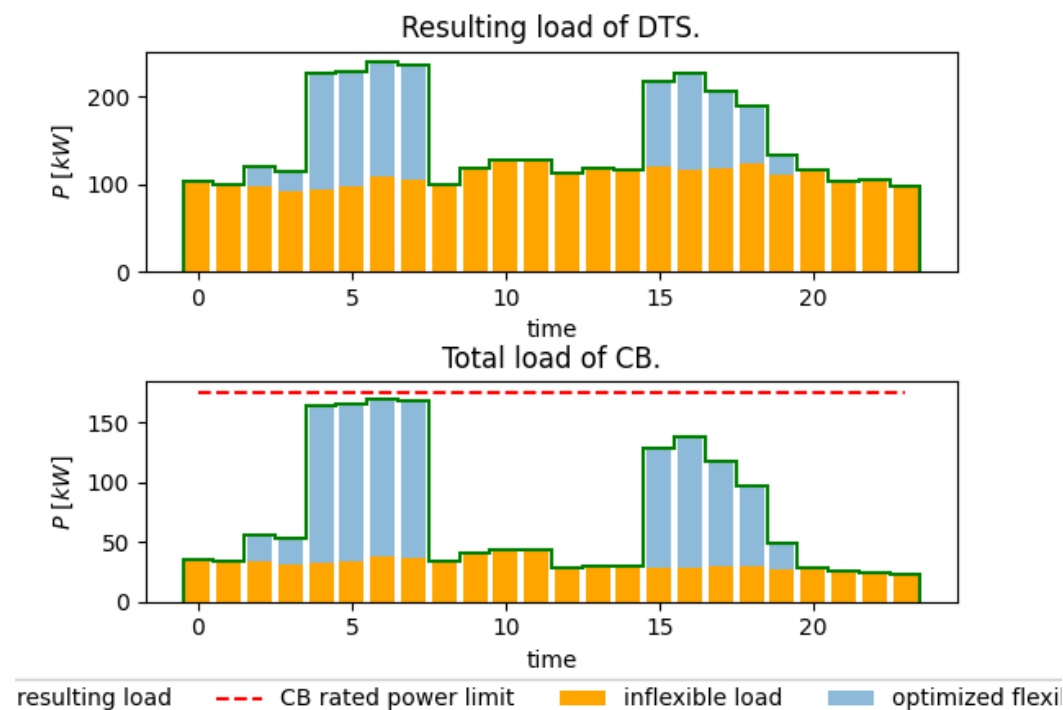
- Došlo k navýšení spotřeby oblasti v důsledku instalace tepelných čerpadel (**12 tepelných čerpadel**)
- **9 dobíjecích stanic**

Rozdělení volné kapacity DS v jednotlivých časových okamžicích mezi říditelná odběrná místa při dodržení výkonových omezení linek a požadovaného rozsahu amplitudy uzlových napětí

### Zatížení při aktivaci DoS (bez optimalizace)



### Zatížení při aktivaci povolených DoS (s optimalizací)

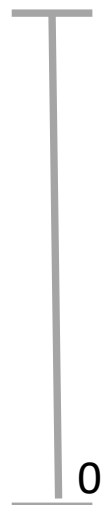


Rozdělení volné kapacity DS v jednotlivých časových okamžicích mezi říditelná odběrná místa při dodržení výkonových omezení linek a požadovaného rozsahu amplitudy uzlových napětí

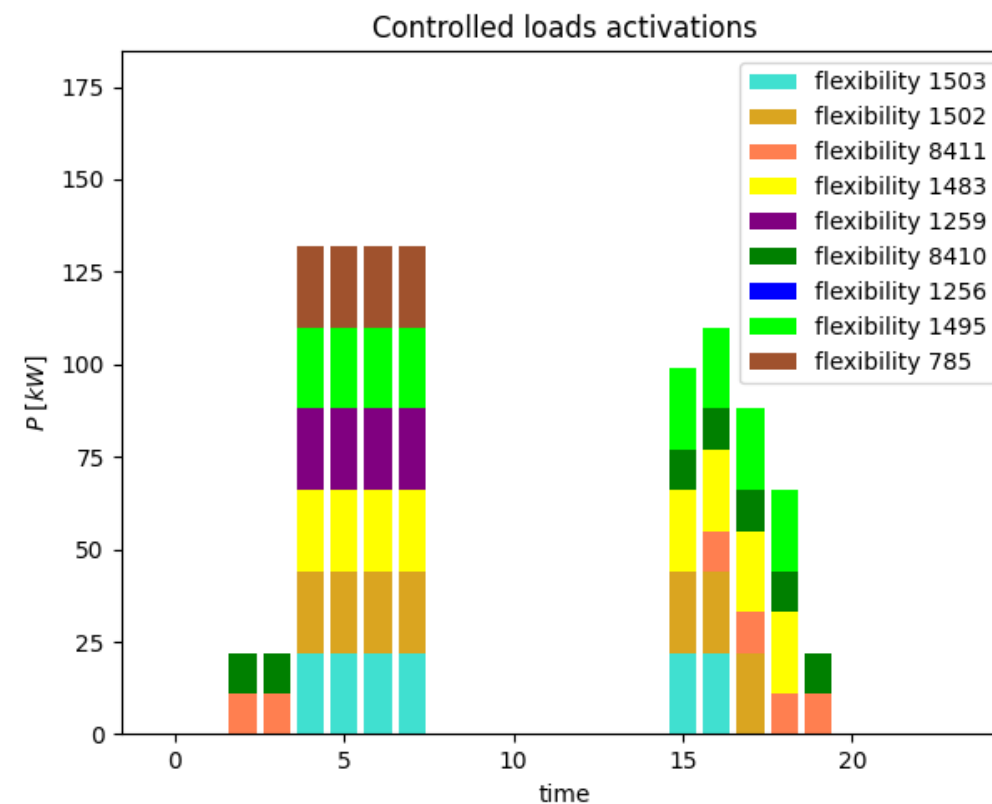
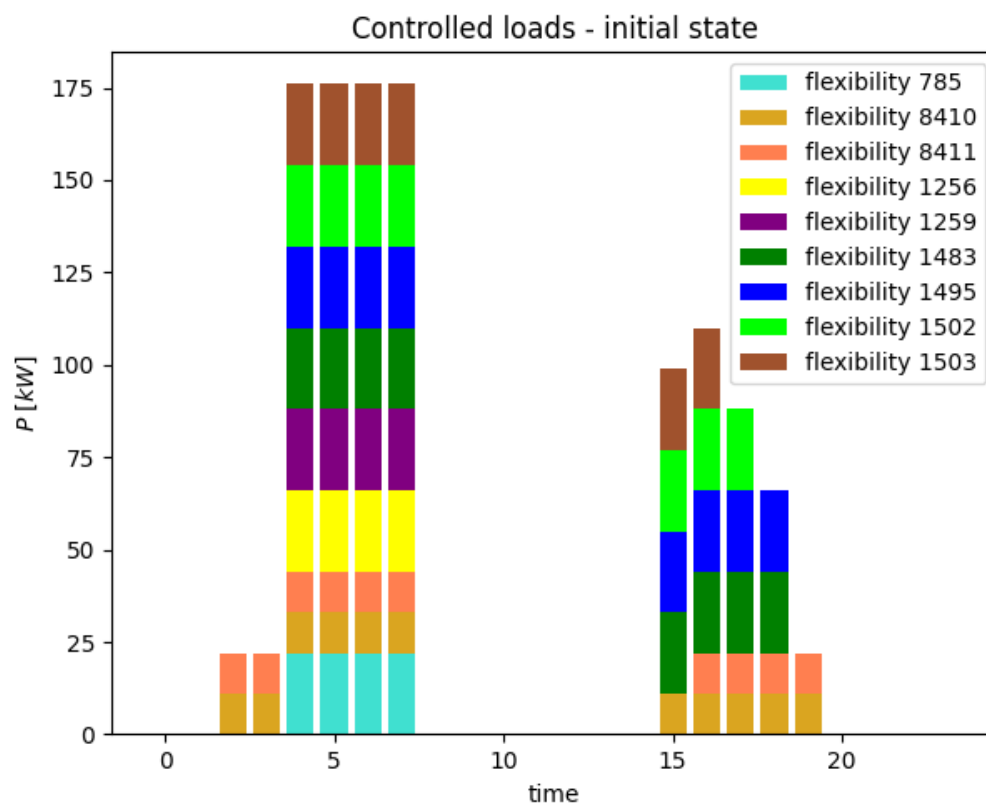
Očekávaný odběr DoS (bez optimalizace)

Povolený odběr DoS (optimalizace)

$P_{max}^{(DOS)}$

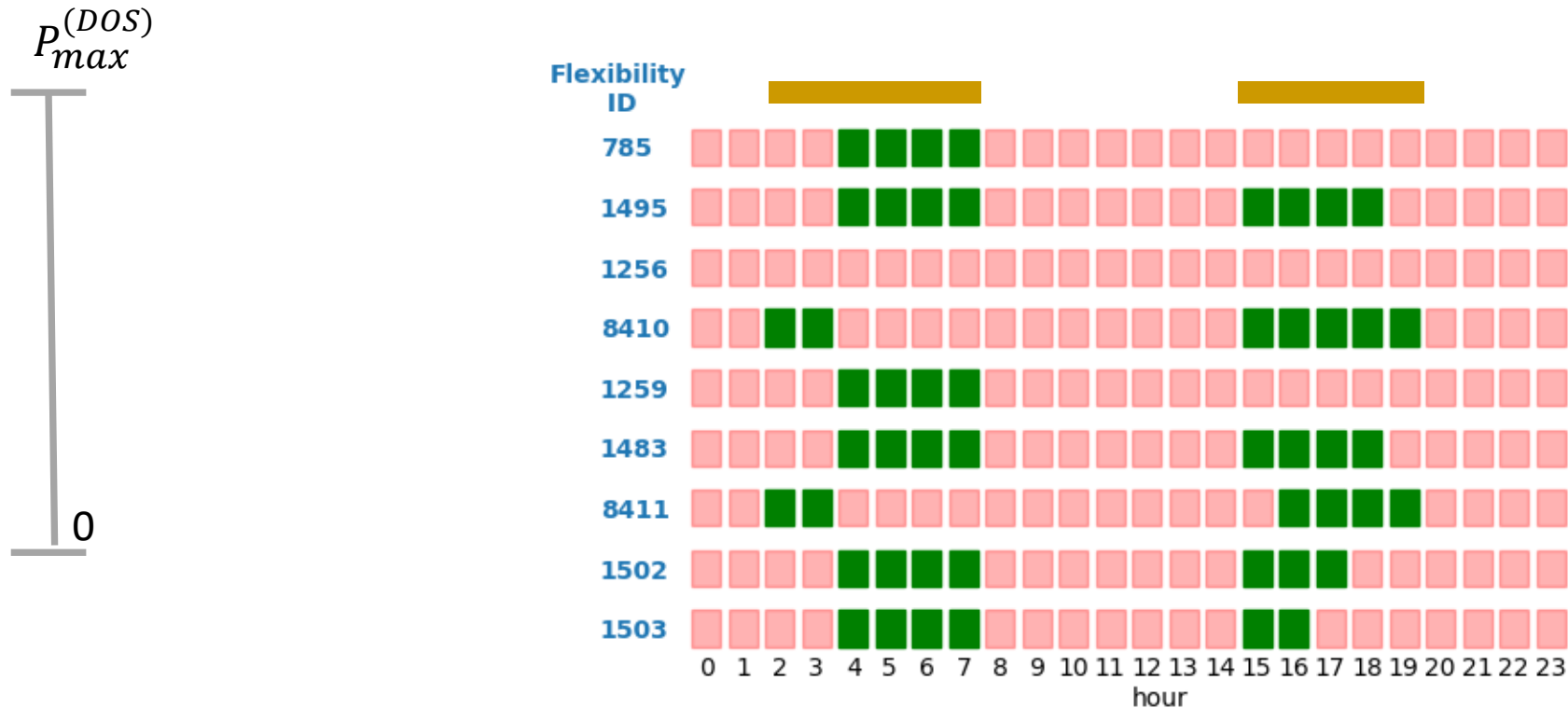


0



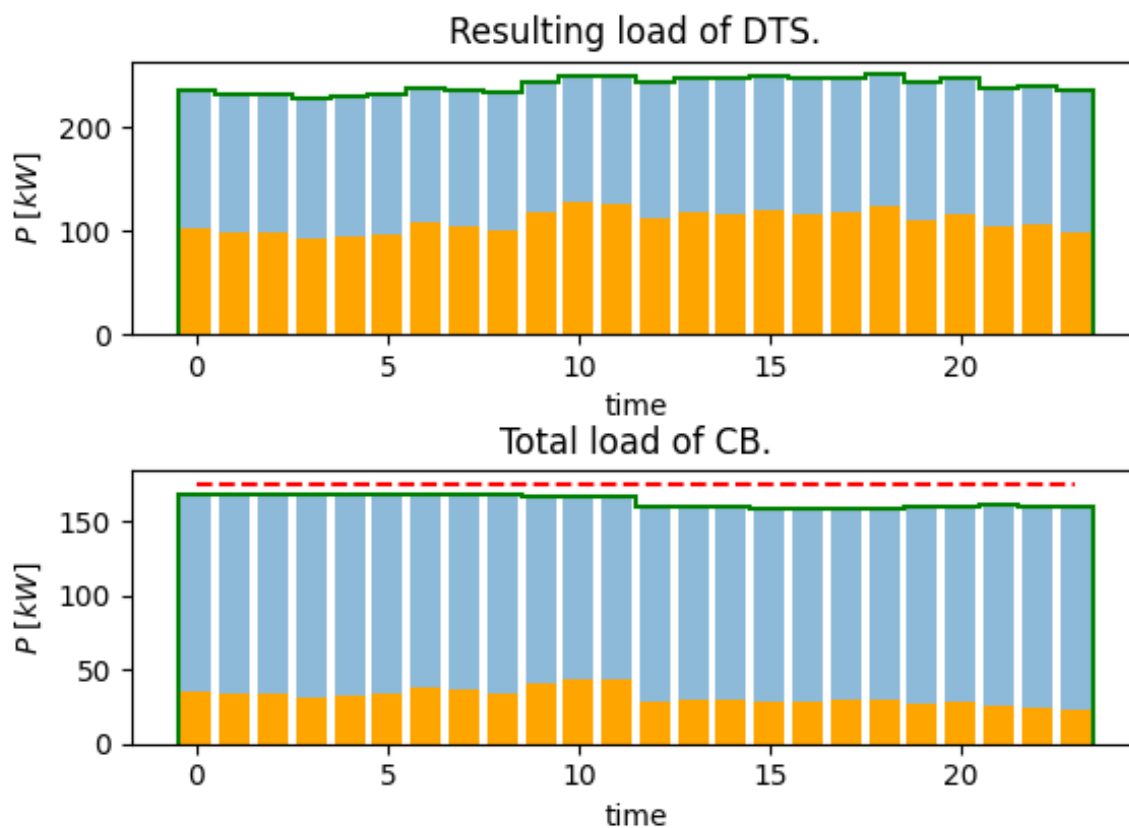
Rozdělení volné kapacity DS v jednotlivých časových okamžicích mezi říditelná odběrná místa při dodržení výkonových omezení linek a požadovaného rozsahu amplitudy uzlových napětí

ToU tabulka blokace DoS



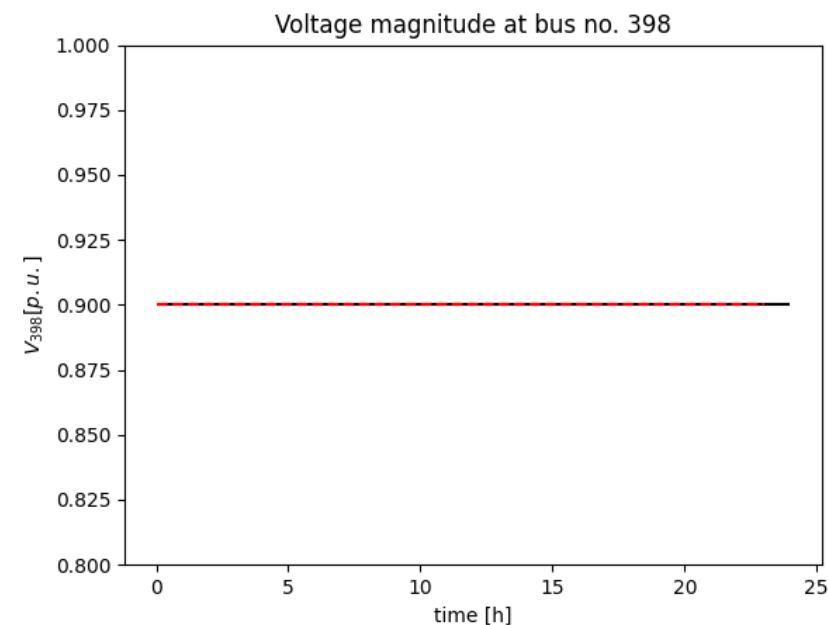
Rozdělení volné kapacity DS v jednotlivých časových okamžicích mezi říditelná odběrná místa při dodržení výkonových omezení linek a požadovaného rozsahu amplitudy uzlových napětí

### Zatížení při aktivaci DoS (s optimalizací)



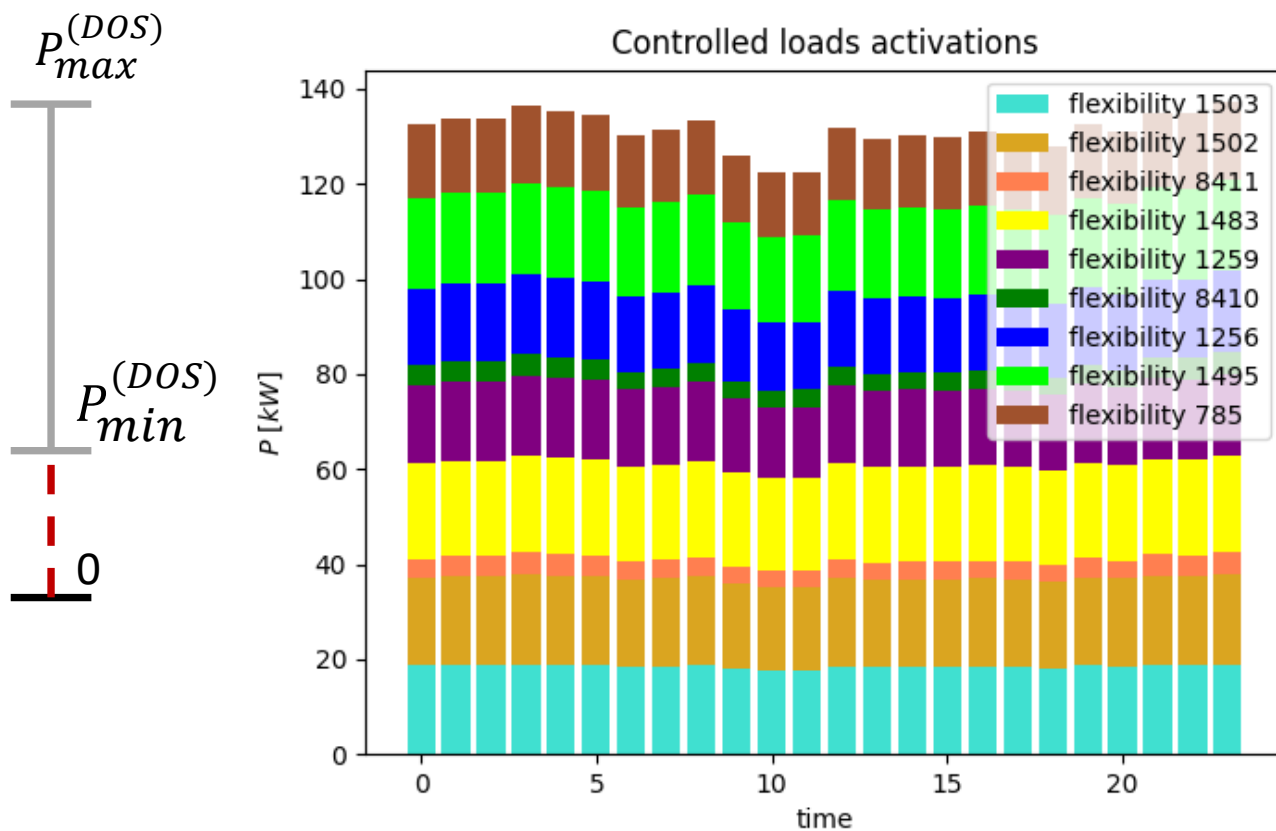
resulting load    --- CB rated power limit    inflexible load    optimized flexi

### Amplituda napětí v kritickém uzlu při aktivaci povolených DoS

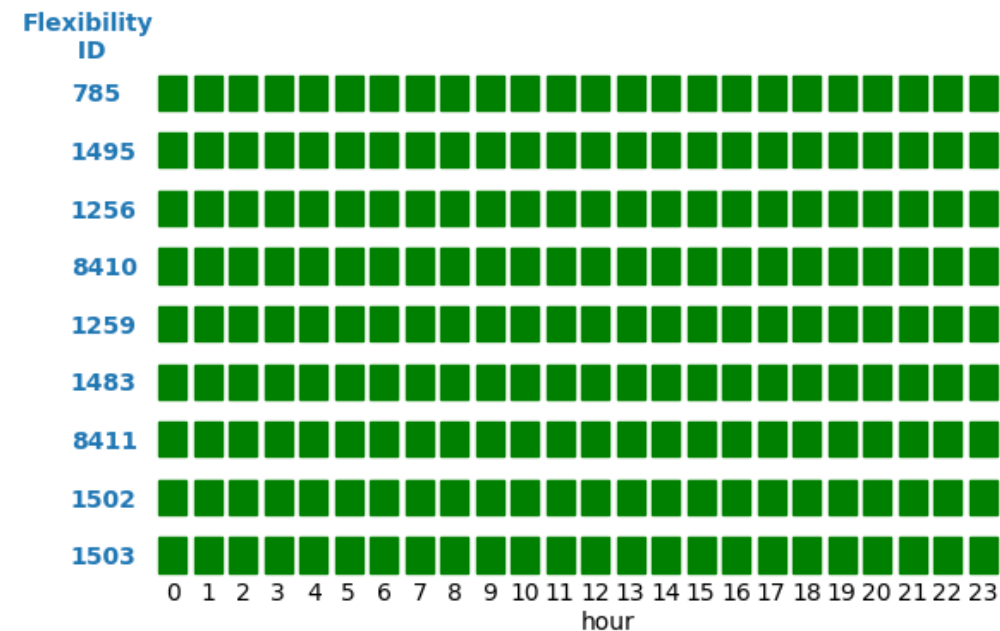


Rozdělení volné kapacity DS v jednotlivých časových okamžicích mezi říditelná odběrná místa při dodržení výkonových omezení linek a požadovaného rozsahu amplitudy uzlových napětí

### Povolené max. odběry při aktivaci DoS



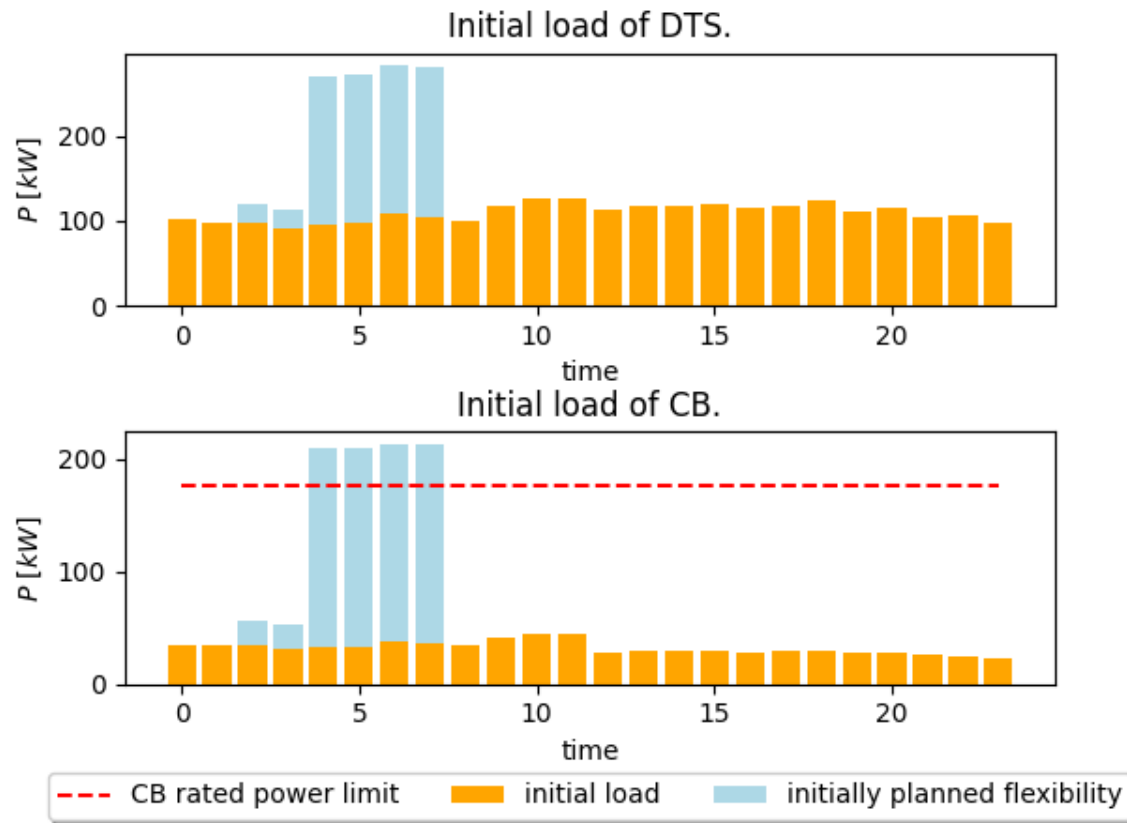
### ToU tabulka blokace DoS



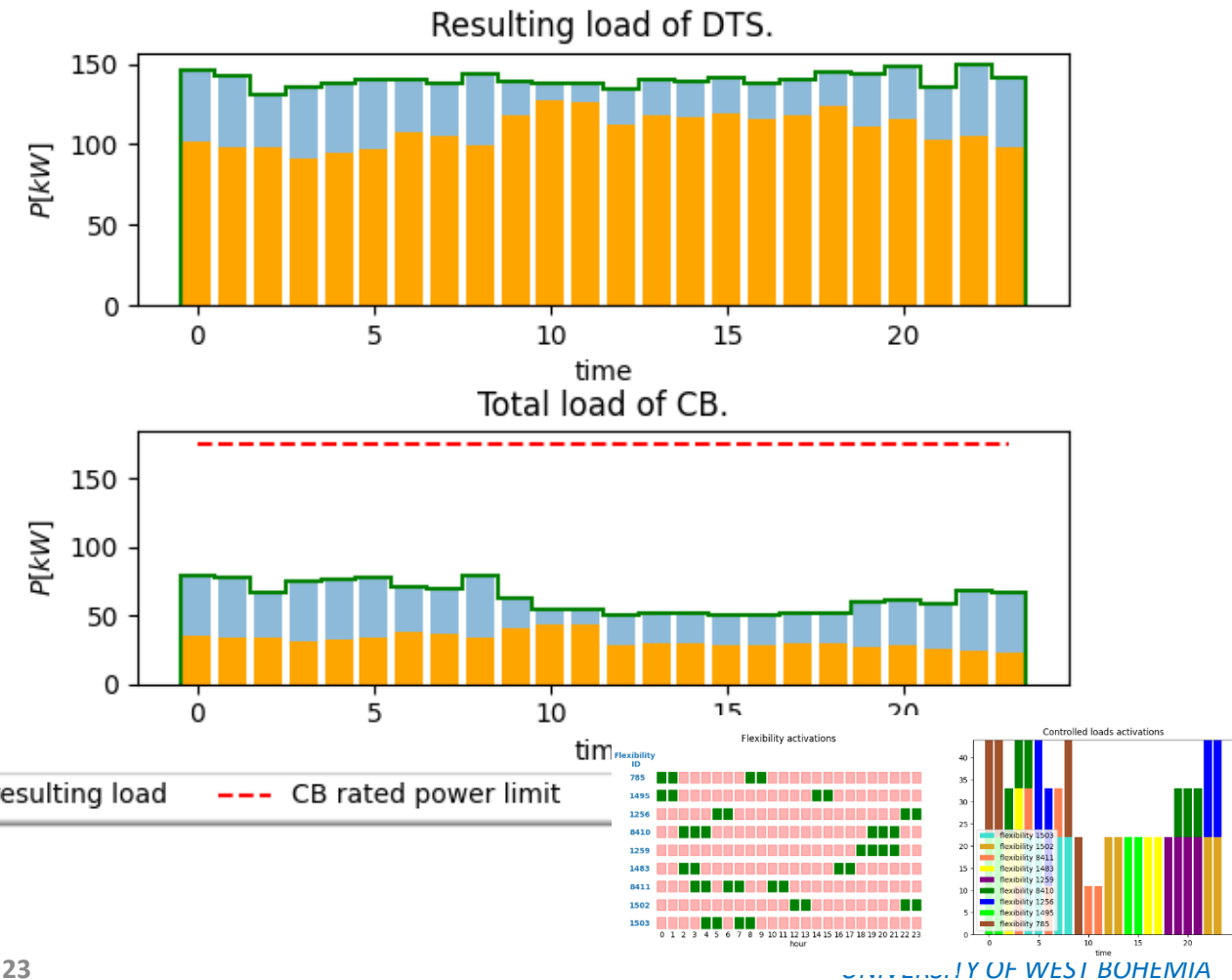
## Cíl

Rozdělit aktivace flexibility na zvoleném časovém horizontu tak, aby byly **minimalizovány špičky zatížení DS** při dodržení napěťových omezení a výkonových omezení linek DS.

## Zatížení při plánované aktivaci DoS



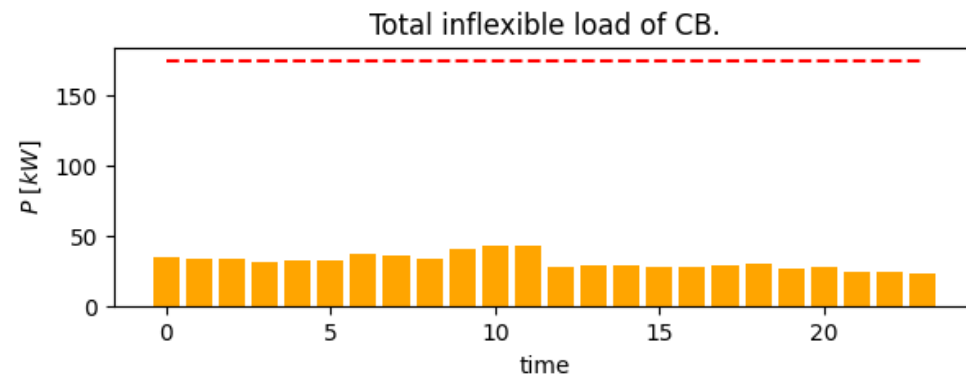
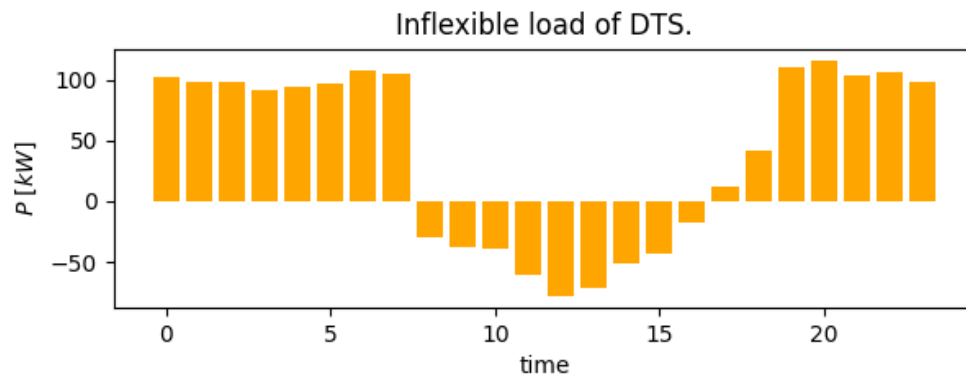
## Rozložení zatížení v čase



## Cíl

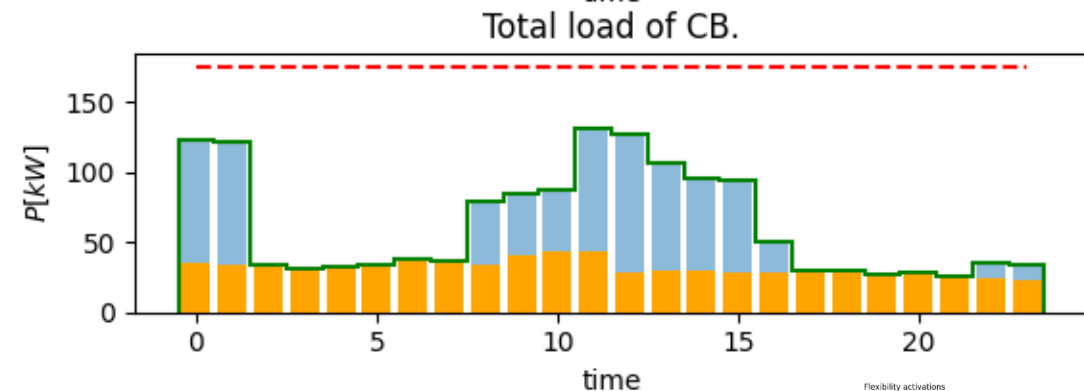
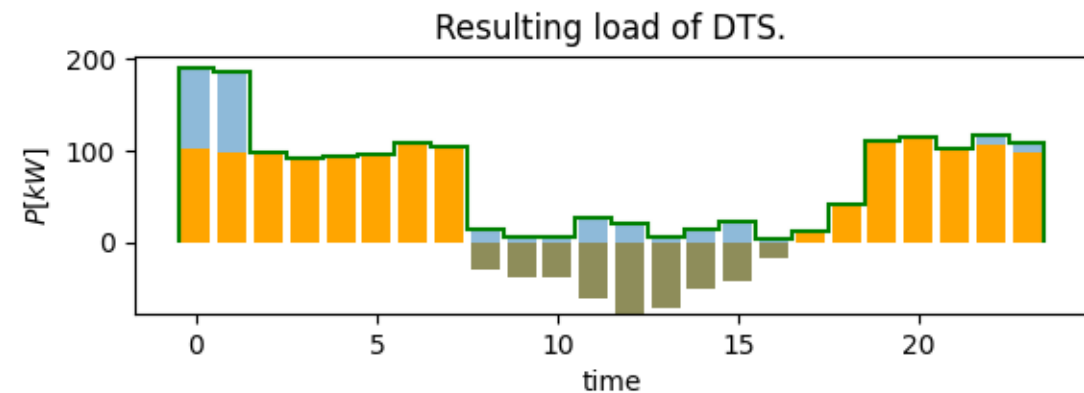
Rozdělit aktivace flexibility (resp. blokace dle ToU) na zvoleném časovém horizontu tak, aby byl **minimalizován přetok do vyšší úrovně DS** při dodržení napěťových omezení a výkonových omezení linek DS.

### Očekávané zatížení DTS (bez optimalizace)

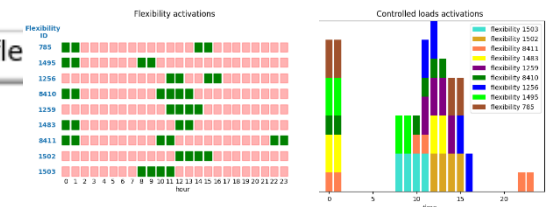


--- CB rated power limit    inflexible load

### Výsledné zatížení DTS (po optimalizaci)



resulting load    --- CB rated power limit    infle

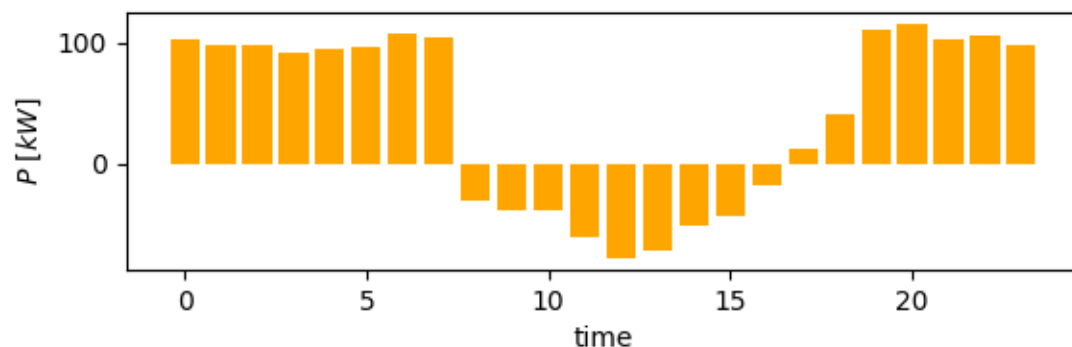




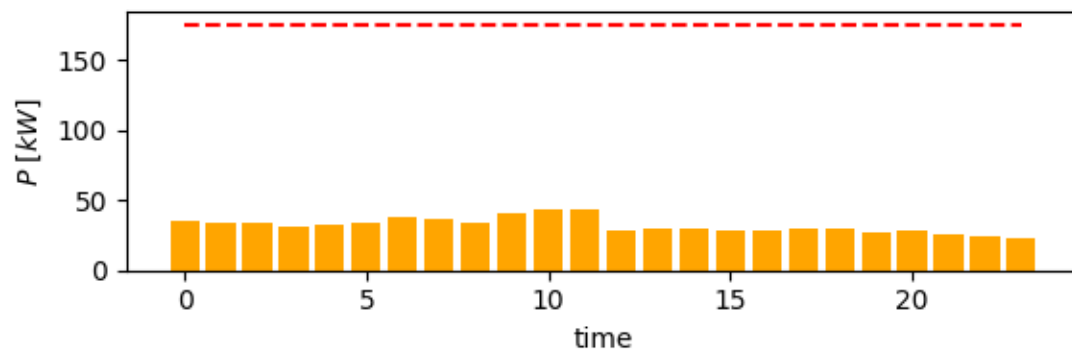
Rozdělit aktivace flexibility (resp. blokace dle ToU) na zvoleném časovém horizontu tak, aby byla **maximalizována rezerva na DTS**. Tím pádem dojde i k minimalizaci toků přes DS.

### Očekávané zatížení DTS (bez optimalizace)

Inflexible load of DTS.



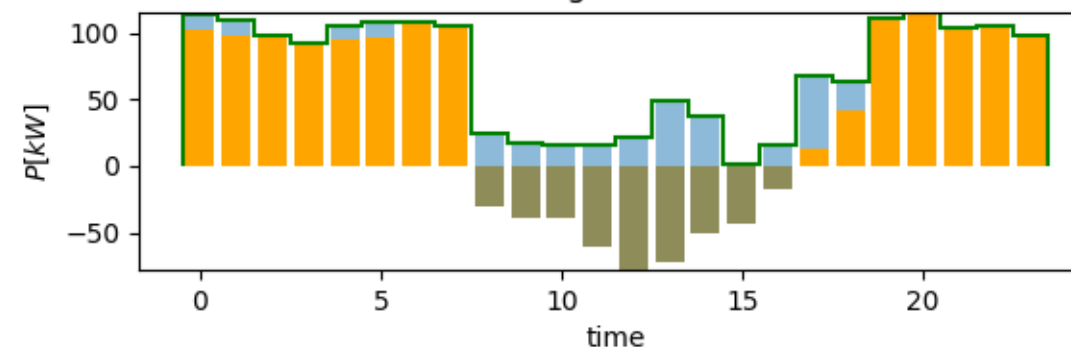
Total inflexible load of CB.



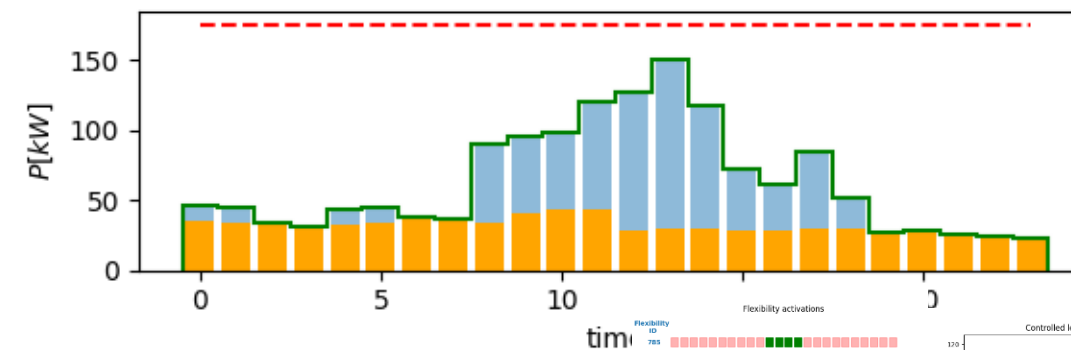
--- CB rated power limit      inflexible load

### Výsledné zatížení DTS (po optimalizaci)

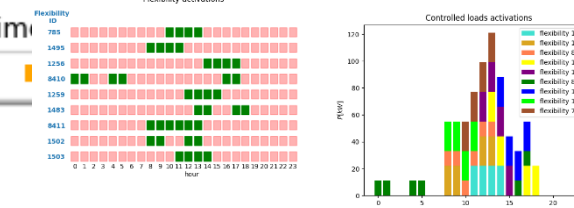
Resulting load of DTS.



Total load of CB.



resulting load      --- CB rated power limit



- Výkonovou flexibilitu spojenou s nabíjením EV lze i technicky využít
- Při integraci do řídicích procesů nutno zohlednit
  - Neurčitost plynoucí z volatility výkonových injekcí (např. OZE, spotřeba )
    - Při odhadu výkonových výměn
    - Při vyhodnocení stavu elektrizační soustavy
  - Vysokou dimensionalitu opt. problému
    - Zejména u spínaných flexibilit
  - Nelineární charakter chování elektrizační soustavy (zejména v napětí)
- Výsledné řešení je vždy dáno výběrem technologie na základě požadavků na kvalitu, výkonnost a cenu řešení

DĚKUJI ZA POZORNOST ...