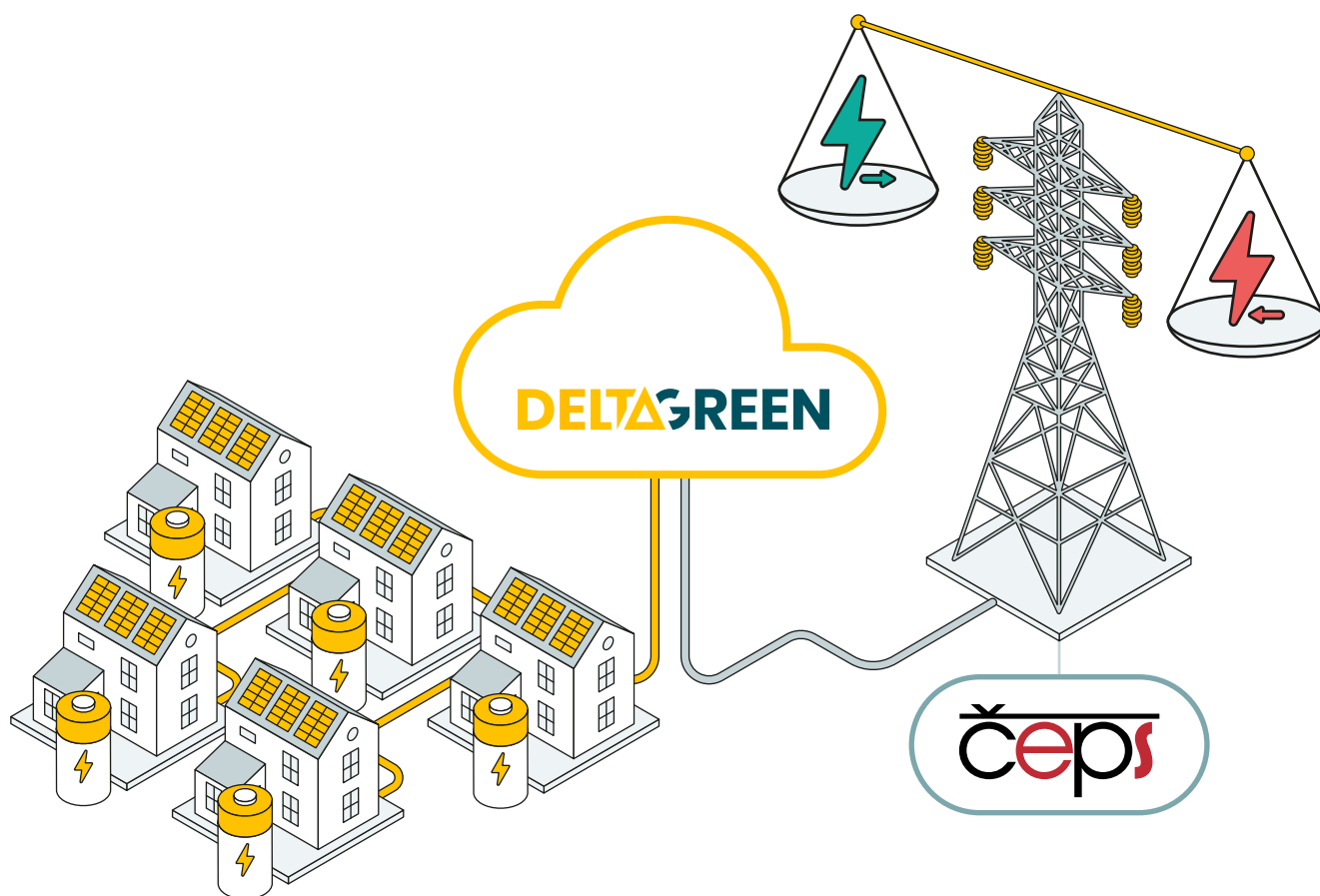




STUDIE: PRVNÍ TEST ZAPOJENÍ DOMÁCNOSTÍ DO VYROVNÁVÁNÍ SÍTĚ

Moderní a bezemisní energetika se neobejde bez služeb výkonové rovnováhy (SVR). Do těch se mohou zapojit i domácnosti, které dnes pro tuto službu nejsou využívány. Jejich potenciál přesunout spotřebu nebo výrobu elektřiny v čase je přitom obrovský.

Delta Green (dříve Nano Green) se dlouhodobě věnuje řízení a obchodování elektřiny. Patří mezi průkopníky agregace flexibility v Česku.

V prosinci 2023 realizovali společně s provozovatelem české elektroenergetické soustavy (ČEPS) první test služeb výkonové rovnováhy v domácnostech v Česku.

Tento text popisuje, za jakých podmínek a jakým způsobem test probíhal, jakých výsledků se podařilo dosáhnout a jaké kroky budou nyní následovat.

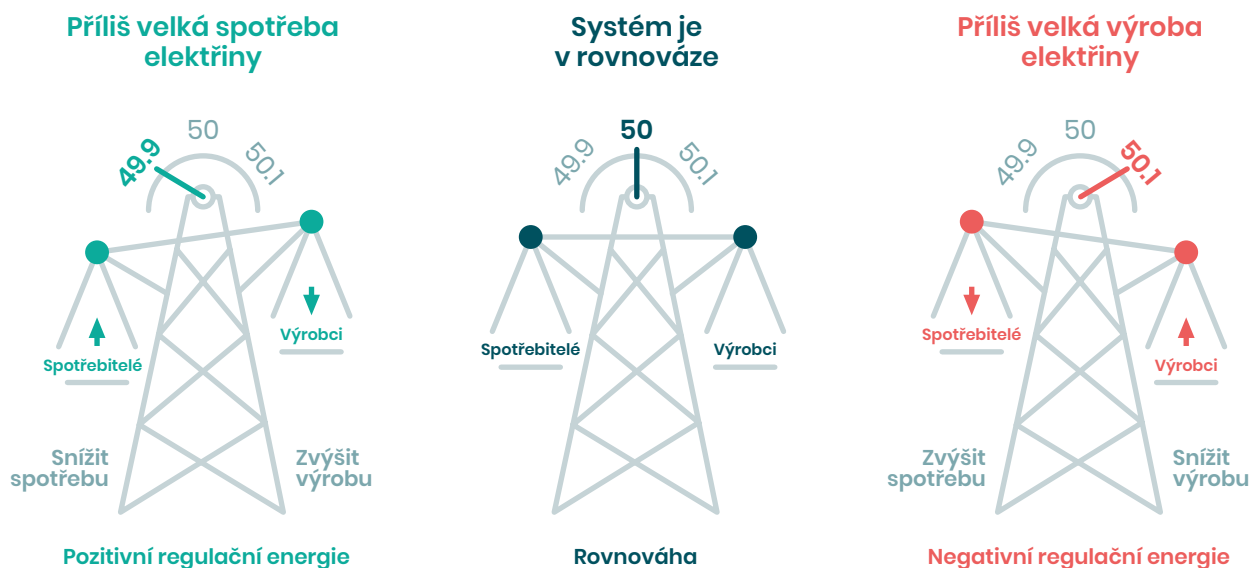
KRÁTKÝ ÚVOD DO TEORIE FLEXIBILITY

SLUŽBY VÝKONOVÉ ROVNOVÁHY

Elektrizační soustava musí být neustále v rovnováze. O její stabilitu a zajištění bezpečnosti dodávek elektřiny se stará provozovatel přenosové sítě – v České republice společnost ČEPS. Jedním z nástrojů, který k tomu používá, jsou podpůrné služby. Do jejich poskytování se ale může, za splnění předem definovaných podmínek, zapojit jakýkoliv subjekt připojený do elektrizační soustavy.

Služby výkonové rovnováhy (SVR)

Pomocné služby, které jsou nezbytné pro udržení spolehlivosti a stability rozvodné sítě. Jde například o vyrovnavání nabídky a poptávky v rámci sítě. Dělí se na dva typy. Prvním jsou služby výkonové rovnováhy (SVR), které se používají k zajištění rovnováhy mezi výrobou a spotřebou. Druhým jsou Ostatní podpůrné služby, které slouží k zajištění kvality napětí a provozu přenosové sítě.



Zdroj: Nano Energies

Služby výkonové rovnováhy dělíme na tři typy – FCR, aFRR a mFRR. Popisují různé záložní služby pro regulaci frekvence a výkonu. Liší se ale dobou aktivace i způsobem, jakým vyrovňávají síť.

Domácnosti se mohou zapojit do kterékoliv z těchto tří služeb, pokud splní požadavky na jejich kvalitu.

FCR (Frequency Containment Reserve)

Funguje jako primární regulace výkonu, která musí být aktivována do 30 vteřin. Používá se pouze pro počáteční stabilizaci sítě, když je potřeba vrátit síťovou frekvenci na její hodnotu po výchylných.

To se může stát například při náhlém zvýšení poptávky nebo když poskytovatel energie nečekaně přestane vyrábět elektřinu. Poskytovateli této služby jsou většinou velké elektrárny a jiné velké výrobní jednotky.

aFRR

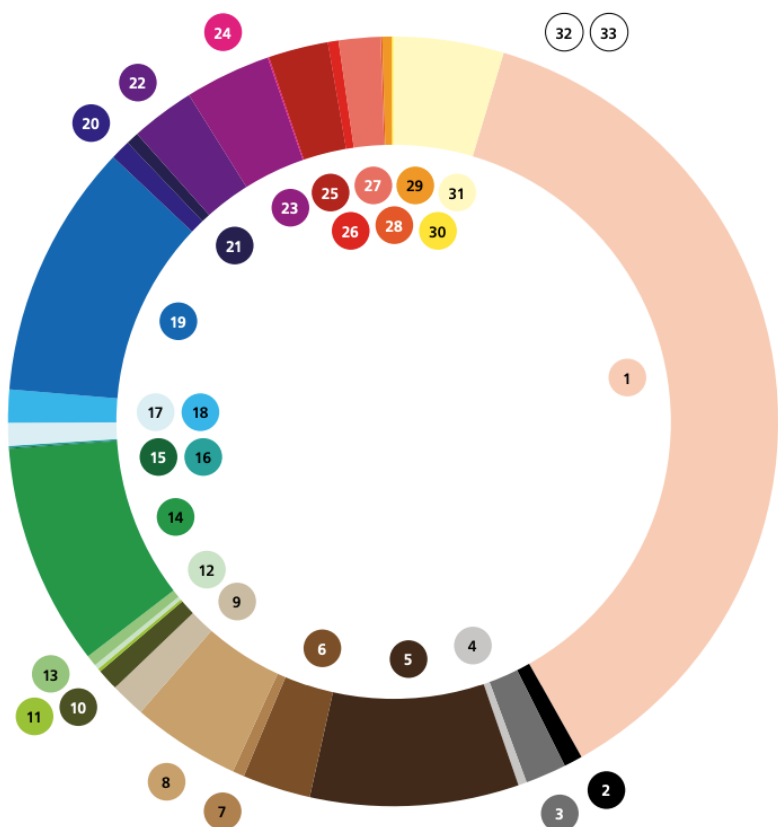
Zálohy pro regulaci výkonové rovnováhy s automatickou aktivací, které musí být aktivovány do 7,5 minut. Tuto službu poskytuje mnoho různých zařízení. Mohou to být bioplynové stanice, ale také třeba kombinace bioplynky a baterie.

mFRR

Zálohy pro regulaci výkonové rovnováhy s manuální aktivací, které musí být aktivovány do 12,5 minut. Tato zařízení jsou zapínána a vypínána manuálně.

Spolu s tím, jak narůstá počet obnovitelných zdrojů energie, roste i význam služeb výkonové rovnováhy. Obnovitelné zdroje jsou přirozeně nestabilní – výkon slunečních nebo větrných elektráren může být obtížné predikovat.

A pokud dojde k neočekávané situaci, je potřeba síť vyrovnat. O to se dnes v Česku starají primárně uhelné elektrárny, ty ale čeká postupný útlum. Pomoci je nahradit mohou právě SVR.

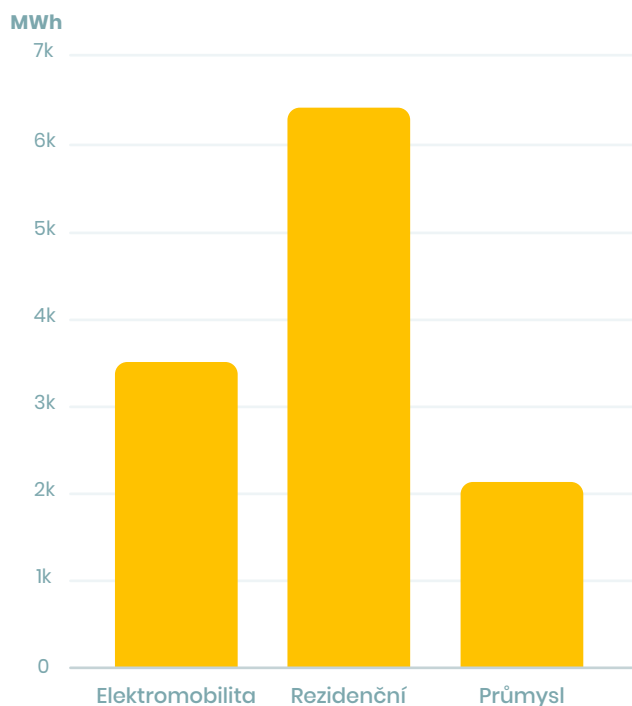


Zdroj: Výroční zpráva ČEPS za rok 2022

1	ČEZ	37,22 %
2	Digital Energy Services, s.r.o.	0,78 %
3	E.ON Energie	1,72 %
4	Elektrárna Dětmorovice	0,36 %
5	Elektrárna Chvaletice	8,76 %
6	Elektrárna Počeradý	2,86 %
7	Elektrárna Tisová	0,49 %
8	Elektrárna Opatovice	4,55 %
9	Energeon	1,47 %
10	Energo Píbram	0,91 %
11	Energotrans	0,14 %
12	Innogy Energo	0,21 %
13	Local Energies	0,47 %
14	Plzeňská teplárenská	9,30 %
15	Pražská energetika	0,05 %
16	Sokolovská uhelná	0,08 %
17	ŠKO-ENERGO	0,96 %
18	Tamero Invest	1,38 %
19	Teplárna Kladno	10,72 %
20	Teplárna Kyjov	0,84 %
21	Teplárna Otrokovice	0,53 %
22	Teplárny Brno	2,69 %
23	UCED Elektrárna	3,61 %
24	UCED Energy	0,06 %
25	United Energy	2,51 %
26	Veolia Kolín	0,44 %
27	Veolia Energie	1,75 %
28	Teplárna Loučovice	0,07 %
29	UCED AGR	0,39 %
30	SUAS BESS	0,06 %
31	C-Energy Planá	4,64 %
32	AUXILIEN	0,00 %
33	CEZ ESCO	0,00 %

Do vyrovnávání sítě se dnes v Česku zapojují zejména průmyslové zdroje. Podle analýzy **Nano Energies** ale v domácnostech leží ještě větší, zatím nevyužitý, potenciál energetické flexibility. Tedy možnosti přesunout spotřebu a výrobu v čase. To je dáno zejména tím, že zatímco v průmyslu jsou na sebe často procesy přesně navázané, u domácností tento problém mizí.

ODHAD KAPACITY FLEXIBILITY PRO ROK 2023



Zdroj: Studie Nano Energies, rok 2022

Energetická spotřeba je tvořena asi z 15 % ohřevem vody a z 60 % vytápěním. U obou procesů je přitom velká míra flexibility. S nárůstem elektromobility (některá data uvádějí, že **vozidlo stojí až 96 % času**) naroste potenciál flexibility domácností ještě výrazně více. A velký potenciál je i v bateriích, kterými je vybaveno až až 97% nově instalovaných fotovoltaických elektráren v domácnostech s fotovoltaikou.

Agregace flexibility

Proces, při kterém se shromažďují a koordinují flexibilní zdroje nebo spotřebiče energie od různých poskytovatelů, aby se vytvořil jeden velký a efektivnější zdroj nebo spotřebič energie.

Dnes agregované bloky obsahují nižší jednotky zařízení, které jsou téměř výhradně na úrovni vysokého napětí (VN). Často se jedná o točivé stroje – typicky kogenerační stanice nebo diesel agregáty. V případě agregace na hladině nízkého napětí (NN), tedy i v domácnostech, je potřeba zajistit agregaci nižších stovek zařízení, která dohromady musejí dát říditelný výkon, nebo spotřebu 1 MW. Řízení takto velkého množství je výpočetně náročnější, ale již reálné.

JAK REGULOVAT FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY?

Test SVR jsme realizovali pomocí vzdáleného řízení systému fotovoltaických elektráren a na ně napojených baterií.

Vysoký počet bateriových uložišť napojených na fotovoltaiky nabízí dvě možnosti zapojení do služeb výkonové rovnováhy:

01 VYUŽITÍ BATERIE

- Většina stávajících fotovoltaických systémů umožňuje povelovat baterii jednoduchými povely typu: „nabíjej ze sítě“, „vybíjej do sítě“ nebo „nedělej nic“. Reakce baterie na povely je v řádech jednotek sekund a díky přesnému integrovanému měření proudů a napětí ve střídači FVE lze s velkou přesností a jistotou říct, jak probíhala její reakce.
- V zimním období není baterie nevyužita (fotovoltaika neprodukuje dostatek energie, aby uspokojila spotřebu a ještě nabíla baterii), proto je vhodným kandidátem pro využití pro SVR na službu down. Její nabití na vyšší hodnotu SoC (State of Charge) navíc prodlužuje životnost baterie, která by jinak zůstala nabitá na cca 20% (minimální SoC většiny systémů).
- Naopak v letním období je baterie většinu času nabitá a je vhodným kandidátem na službu up.
- Vhodným povelováním baterie je možné baterii připravit do jakéhokoliv stavu tak, aby mohla dodávat jak službu up, tak i down. Tento způsob byl využit i v rámci testů, kdy byly baterie přednabity na 60%

02 SNIŽOVÁNÍM DODÁVKY DO SÍTĚ

- I v odborné energetické komunitě často panuje přesvědčení, že fotovoltaiky jsou špatně regulovatelné. To je jen částečná pravda. Pokud slunce svítí a fotovoltaika vyrábí, je její regulace jednoduchou a hlavně velice rychlou záležitostí.
- Nevýhodou této metody je závislost na dobrých predikcích. Poskytovatel flexibility musí zobchodovat flexibilitu s určitým časovým předstihem (den nebo hodinu předem) a aby mohl nabídnout 1 kW regulačního výkonu, musí mít jistotu, že fotovoltaika bude minimálně 1 kW vyrábět. Závislost na dobrých a přesných predikcích je pro tuto metodu naprosto stěžejní.

PRŮBĚH TESTU

Pro test jsme využili baterie napojené na fotovoltaické systémy v předem oslovených domácnostech zákazníků Delta Green. Ti potvrdili dobrovolné a bezplatné zapojení do testu, při kterém nedošlo k překročení jejich rezervované kapacity dodávky do sítě.

Test byl rozdělen na tři části, všechny byly realizovány v noci. Důvodem byla nízká cena na spotu. Zákazníci tak v případě aktivace směrem dolů (odběr ze sítě) nebyli vystaveni vysokým cenám energie.

Minimální velikost regulačního bloku pro podpurné služby je 1 MW.

Pro testování jsme ale velikost bloku volili podle aktuálního disponibilního výkonu baterií. Povel 1 MW tedy znamenal 100 % výkonu bloku do sítě, naopak -1 MW znamenalo -100 % výkonu bloku do sítě.

Vytvořili jsme napojení na řídicí signál služby výkonové rovnováhy typu aFRR. Ten jsme integrovali do agregační platformy Delta Green. Signál aFRR byl kopií reálného bloku, který je nabízen s nízkou cenou aktivace. K jeho aktivaci tak dochází téměř ve 100 % případů. Agregační blok byl symetrický (stejný výkon up/down) a měl velikost 1 MW. Povel aFRR přicházely s frekvencí cca 1 sekundy.

Konkrétně šlo o tyto dny, počty účastníků a velikosti bloků:

Test 1		11. 12. 2023 3:00 – 4:00	
23 fotovoltaik s baterií	30_{kW} výkon bloku	Test 2	12. 12. 2023 4:00 – 4:15
		24 fotovoltaik s baterií	120_{kW} výkon bloku
Test 3		13. 12. 2023 3:00 – 3:30	
27 fotovoltaik s baterií	75_{kW} výkon bloku		

Před testy byly baterie nabity na 60 %. Nabíjení skončilo vždy pět minut před každým testem, aby mohla být stanovena počáteční baseline (spotřeba v době aktivace) daného odběrného a předávacího místa (OPM).

Problematika baseline je komplikovaná. Pro jednoduchost a srozumitelnost výsledků jsme zvolili baseline, které je reprezentována hodnotou před započítáním regulační periody. Odhad, jak by se dané OPM chovalo v případě, kdyby neprobíhal regulační zásah, je tak dán poslední hodnotou naměřenou před započítáním regulace a je po celou dobu stejný.

Všechny fotovoltaiky s bateriemi byly agregovány do jednoho řízeného bloku s 15sekundovou regulační smyčkou. Měření a regulace probíhala na úrovni celých odběrných a předávacích míst. Celkový dopad regulace byl viditelný na průběhovém elektroměru daného OPM. V případě, že by došlo ke zvýšení/snížení spotřeby uvnitř OPM oproti počáteční hodnotě z důvodu zapnutí/vypnutí spotřebiče, regulace v rámci testu by se tento výkyv snažila vyrovnat. Tento systém řízení doručoval reálný regulační výkon, který byl odstíněn od vlivů spotřebičů domácnosti.

VÝSLEDKY

Celkem proběhlo sedm regulačních period, z toho pět úspěšných. Důvodem, proč dvě regulační periody neprošly kritérii aFRR, byla špatná regulace celého bloku a nedostatečné vyrovnání změny na OPM. Chyba regulace byla do dalšího testu opravena a všechny ostatní regulační periody byly bezchybné.

Vzhledem k omezenému množství zapojených míst a zvolené metodě baseline bylo přesné řízení poměrně složité. Velké změny na jednotlivých odběrných místech se často statisticky nevyrusí a je nutné je výrazně korigovat. Předpokládáme, že se zvětšením agregačního bloku by celkové řízení mělo být výrazně přesnější.

Kritéria pro úspěšné doručení služby výkonové rovnováhy byly historicky nastavovány pro točivé stroje, zejména generátory elektráren. Střídače FVE však neobsahují žádné točivé části a výstupní střídavé napětí je tvořeno převážně polovodičovými prvky, které dovolují kvalitní a velice rychlou regulaci. Z níže uvedených grafů je zřejmé, že v případě dobré regulace celého bloku je možné dosáhnout excelentních výsledků, kterou svojí kvalitou bezproblémově splňují kritéria aFRR.

K vyhodnocení byla použita [oficiální šablona společnosti ČEPS](#).

TEST 1

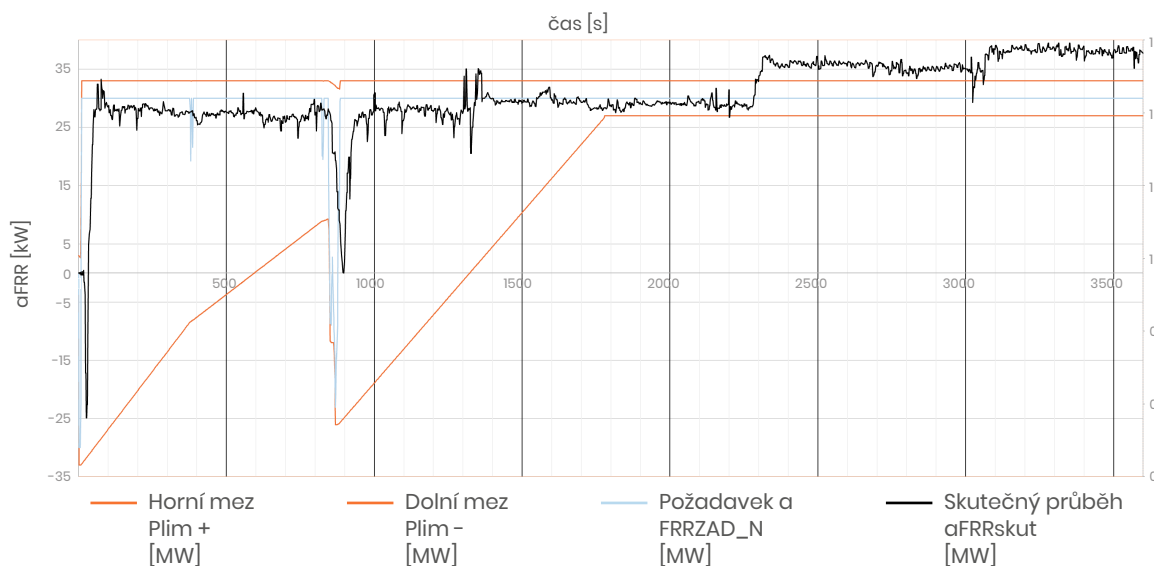
23 fotovoltaik
s baterií

30kW výkon
bloku

4 / 2 počet regulačních period / z toho úspěšných
28,2 / 0 kWh dodaná/odebraná akceptovaná regulační energie

Ze čtyř regulačních period byly splněny dvě. První dvě regulační periody cílový výkon relativně přesně kopíroval aktivační signál. V rámci třetí periody ale dodávaná regulační energie překročila horní limit. Situace nastala kvůli velké změně na několika odběrných místech, kdy došlo k náhlému snížení spotřebovávané elektřiny a baterie nebyly schopné tuto spotřebu nahradit (a celková služba up tak překročila limity služby aFRR).

V návaznosti na tento problém byl upraven agregační algoritmus, aby v obdobných případech docházelo k větší korekci i na ostatních odběrných místech zapojených do agregačního bloku.



TEST 2

24

 fotovoltaik
s baterií

120kW

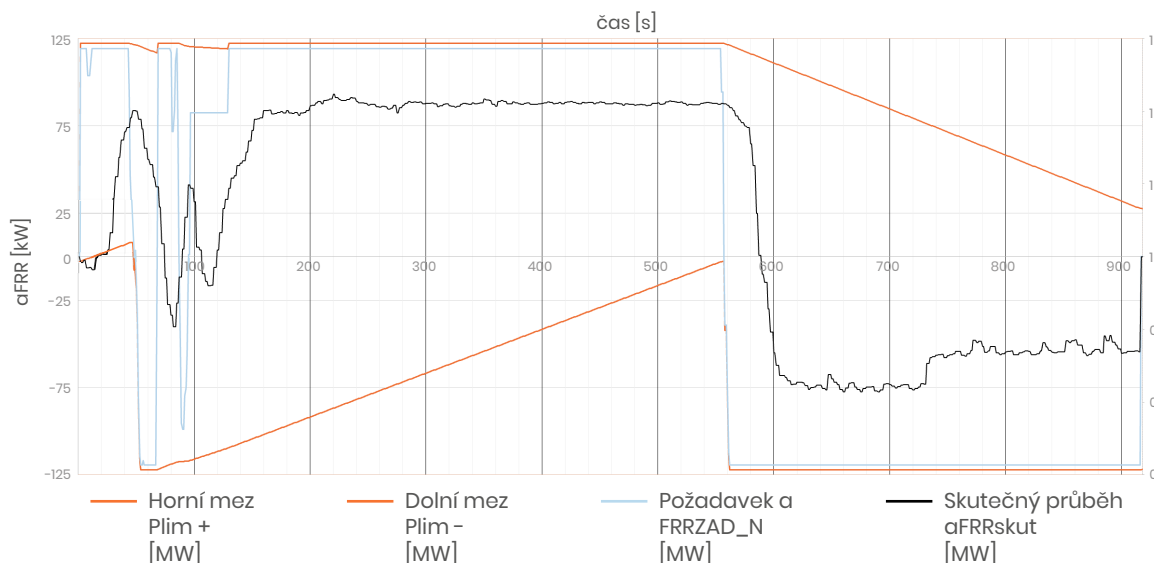
 výkon
bloku

1/1
10,7/7,2kWh

 počet regulačních period / z toho úspěšných
dodaná/odebraná akceptovaná regulační energie

Druhá aktivace byla testována na jedné regulační periodě. Celá aktivace byla vyhodnocena jako úspěšná, nicméně jak plusová tak minusová nedosáhla 100 % hodnot předpokládaných výkonů. Vzhledem k náběhovým rampám však aktivace splnila požadované limity.

V této souvislosti byl dále upravován algoritmus tak, aby odhadované maximální výkony reflektovaly reálné možnosti agregačního bloku vyrovnávat lokální výkyvy ve spotřebě.



TEST 3

27

 fotovoltaik
s baterií

75kW

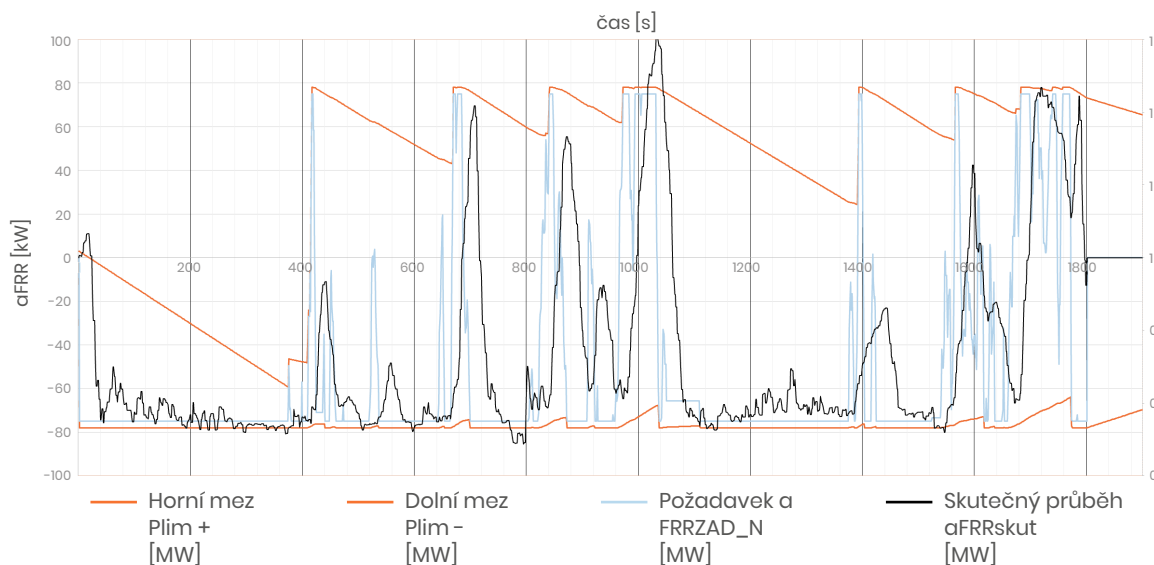
 výkon
bloku

2/2
1,53/23,53kWh

 počet regulačních period / z toho úspěšných
dodaná/odebraná akceptovaná regulační energie

Třetí aktivace obsahovala dvě regulační periody. Převážně se jednalo o minusovou službu, nicméně s lokálními výkyvy do služby plusové. Aktivace relativně přesně kopírovala požadované výkony.

V izolovaných momentech dodané výkony přesahovaly požadované limity, nicméně problémy z předchozích aktivací se podařilo z větší části eliminovat.



SESTAVENÍ AGREGAČNÍHO BLOKU

Agregační blok sestavený z bateriových systémů fotovoltaik je vždy omezen dostupnou kapacitou baterií, výkonem střídače/baterie a situací v daném OPM. Níže je uvedena ukázka, jak může vypadat agregovaný výkon v náhodně vybraný okamžik pro různé délky regulačních zásahů. Blok dokáže dodávat maximální výkon při nejkratším časovém úseku, tedy 15 minut. Hlavním omezením je výkon střídače/baterie. Naopak pro nejdelší časový úsek (dvě hodiny) jsou výkony bloku omezeny hlavně kapacitou baterie, která musí mít dostatek energie pro celé dvě hodiny.

Situace uvnitř OPM ovlivňuje velikost bloků nezávisle na délce regulačního zásahu. V případě, že dané OPM odebírá ze sítě, je potřeba, aby baterie pokryla spotřebu uvnitř OPM a nad to ještě dodala výkon do sítě. Pokud bude velikost spotřeby stejná jako výkon střídače/baterie, je možnost dodávky do sítě nulová.

Disponibilní výkony v uvedené ukázce jsou poníženy o aktuální reálnou spotřebu nebo výrobu v daném OPM. Ty se v čase budou měnit v závislosti na chování domácnosti, a tak se bude měnit i velikost disponibilního výkonu.

Ukázka agregovaného bloku v náhodně vybraném intervalu

Délka regulačního intervalu	Disponibilní výkon (aktuální/maximální)	Disponibilní energie (aktuální/maximální)
15 minut	- 214,26 kW / 214,48 kW + 84,21 kW / 143,72 kW	- 53,56 kW / 471,42kW + 21,05 kW / 108,85 kW
30 minut	- 198,52 kW / 214,48 kW + 72,54 kW / 143,72 kW	- 99,26 kW / 471,42kW + 36,27 kW / 108,85 kW
1 hodina	- 179,94 kW / 214,48 kW + 58,67 kW / 143,72 kW	- 179,94 kW / 471,42kW + 58,67 kW / 108,85 kW
2 hodiny	- 146,17 kW / 214,48 kW + 38,95 kW / 143,72 kW	- 292,34 kW / 471,42kW + 77,91 kW / 108,85 kW

TESTOVANÝ AGREGAČNÍ BLOK

Průměrná kapacita bateriového uložení napojeného na fotovoltaiku byla 19.3 kWh, což je výrazně více, než uvádějí dostupné veřejné statistiky.

Průměrné hodnoty výkonů OPM dle testů:

- **Test 1** – 2 hodiny: 1,3 kW
- **Test 2** – 15 minut: 5 kW
- **Test 3** – 30 minut: 2,78 kW

Pro test byla zvolena symetrická služba aFRR, tedy stejný výkon up (dodávka) i down (odběr), s předpokladem, že výkony pro vybíjení a nabíjení baterie jsou standardně stejné. Test ale ukázal, že agregovaný blok byl výrazně asymetrický. Možnosti služby down (spotřeba) dosahovaly přibližně 3x vyšších hodnot než u služby up (dodávka do sítě). Právě služba dodávky do sítě výrazně omezovala velikost celého bloku.

Důvodem této asymetrie byl hlavně fakt, že v domácnostech byla v levných nočních hodinách puštěna spotřeba a tu baterie musí "přetlačit", aby se požadovaný výkon projevil na celém OPM. Někteří účastníci testu neměli navíc povolené přetoky do distribuční sítě, což jen více přispělo k vyšší asymetrii bloku.

BUDOUCNOST AGREGACE FLEXIBILITY V DOMÁCNOSTECH

Test potvrdil, že **domácnosti jsou připraveny zapojit se do poskytování služeb výkonové rovnováhy**. Legislativně tomuto kroku nic nebrání. Delta Green plánuje službu spustit ještě v roce 2024 a do řízení zapojit nejen domácnosti s fotovoltaikami, ale rozšířit je i o zařízení jako jsou elektroauta nebo tepelné čerpadla.

Aby bylo možné službu spustit, musí být realizováno několik kroků. V nejbližších měsících proběhnou další testy, do kterých bude zapojeno více druhů zařízení a bude také navýšen výkon.

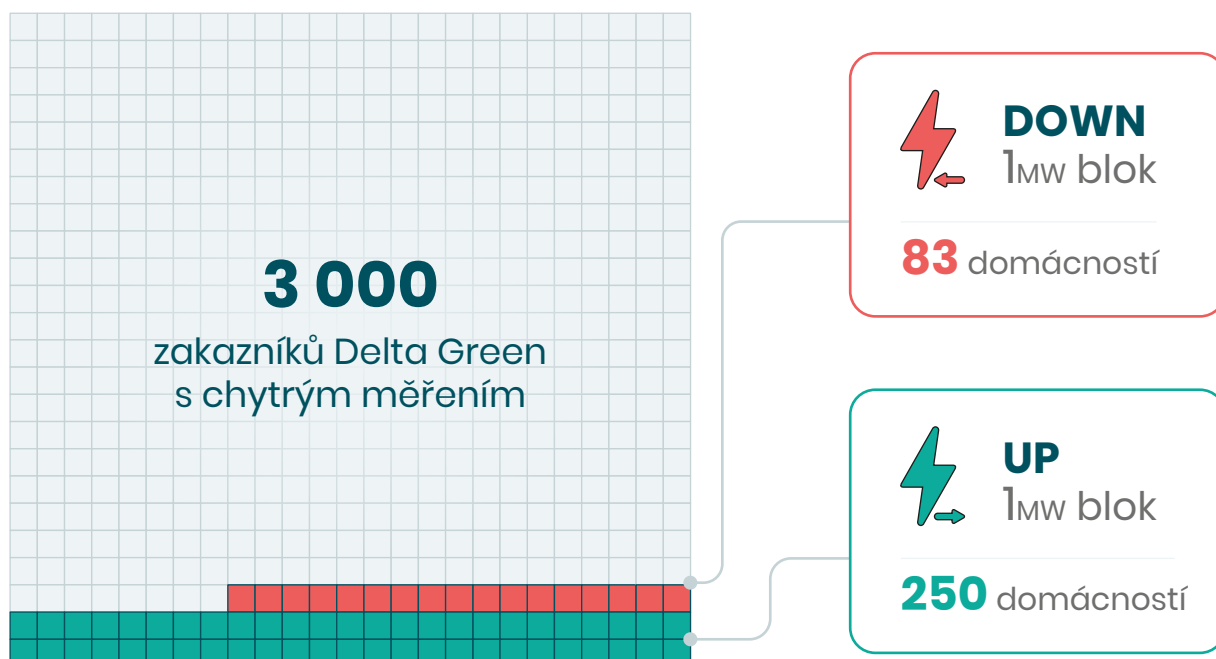
Za předpokladu, že budou testy úspěšné, bude následovat certifikace agregačního bloku o velikosti 1 MW. Tímto výkonem ČEPS stanovuje minimální hranici pro vstup do služeb vyrovnávání sítě.

Delta Green má k dnešnímu dni přes 3 000 zákazníků, kteří vlastní fotovoltaiky a mohli by se do služeb zapojit okamžitě. Pro ilustraci: pro sestavení bloků pro služby dodávky (up) a odběru elektřiny ze sítě (down) je dle výsledků testu potřeba minimálně toto množství fotovoltaik s baterií:

- **down:** 83 fotovoltaik s baterií
- **up:** 250 fotovoltaik s baterií

Pokud ale budeme uvažovat, že výkon domácí fotovoltaiky se pohybuje okolo čtyř až pěti kilowattů, pak pro 1 MW blok bude potřeba cca 200 domácností. Tyto počty nezahrnují tepelná čerpadla a řízení nabíjení a elektromobilů, které potenciál ještě značně navyšují.

Plně elektrifikovaná domácnost by podle našich odhadů mohla zapojením do SVR vydělat až 10 tisíc korun ročně.



TEST PROBĚHL VE **SPOLUPRÁCI**

Delta Green s.r.o.

Palác Špork,
Hybernská 1034/5,
110 00 Praha 1

IČ: 02406233

DIČ: CZ02406233

Vedená u Městského soudu v Praze,
sp.zn.: C 219030

Kontakt pro média

Zuzana Fatura
(+420) 775 766 613
zuzana@deltagreen.cz

ČEPS, a.s.

Elektrárenská 774/2,
101 52 Praha 10

IČ: 25702556

DIČ: CZ25702556

Vedená u Městského soudu v Praze,
oddíl B, vložka 5597

Kontakt pro média

Hana Klímová
(+420) 720 964 876
klimova@ceps.cz