



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

**Sdílení přeshraničních kapacit mezi trhy s elektřinou a regulačními
zálohami**

Cross-border capacity sharing between electricity and balancing markets

Diplomová práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Management energetiky a elektrotechniky

Vedoucí práce: doc. Ing. Július Bemš, Ph.D.

Bc. Daniel Běhal

Praha 2021

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Běhal** Jméno: **Daniel** Osobní číslo: **465850**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Management energetiky a elektrotechniky**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Sdílení přeshraničních kapacit mezi trhy s elektřinou a regulačními zálohami

Název diplomové práce anglicky:

Sharing cross-border capacities between electricity markets and reserve markets

Pokyny pro vypracování:

Způsoby přidělování kapacity mezi trhy s elektřinou (trh se silovou elektřinou (SE) a trh s regulačními zálohami (RZ). Zhodnocení a porovnání přístupů.
Metodiky ocenění hodnoty přeshraniční kapacity a její sdílení mezi jednotlivé trhy. Zhodnocení metodiky oceňování kapacity.
Porovnání přístupu založeném na stínových cenách a market spread. Zhodnocení dopadu nelinearity matematického problému.
Dopady implementace v ČR (simulace) - dopad na užitek a velikost kapacity.

Seznam doporučené literatury:

S. Price and C. Algorithm, "EUPHEMIA Public Description," no. April, 2019.
P. T. Czca, "Core CCR TSOs' Methodology for a market-based allocation process of cross zonal capacity for the exchange of balancing capacity or sharing of reserves in accordance with article 41 of the Commission Regulation
F. M. Baldursson, E. Lazarczyk, M. Ovaere, and S. Proost, "Cross-Border Exchange and Sharing of Generation Reserve Capacity," Energy J., vol. 39, no. 4, pp. 57–85, 2018, doi: 10.5547/01956574.39.4.fbal.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Július Bemš, Ph.D., FEL ČVUT v Praze, K 13116

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **30.09.2021**

Termín odevzdání diplomové práce: _____

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2023**

doc. Ing. Július Bemš, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně, a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze

Podpis autora

Poděkování

Rád bych v této části poděkoval svému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Július Bemšovi, Ph.D. za vedení diplomové práce a věcné připomínky. Dále bych chtěl poděkovat mnohým svým kolegům ze společnosti ČEPS, kteří mi pomáhali s prací v Simulation facility a doporučili mi řadu odborné literatury, jmenovitě Ing. Michaeli Němému a Ing. Martinu Marešovi. Moje díky patří také společnosti ČEPS, která mi poskytla pracovní nástroje a data nutná k zhotovení této diplomové práce. Na závěr bych chtěl poděkovat svým rodičům, kteří mě v průběhu celého studia podporovali.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá problematikou sdílení přeshraničních kapacit mezi trhy s elektřinou a regulačními zálohami. Nejprve je definována přeshraniční kapacita a způsoby jejího stanovení. Dále je provedeno porovnávání způsobů stanovení přeshraniční kapacity NTC metodou s FB metodou. U porovnání je kladen důraz na identifikaci dobrých a špatných vlastností těchto metod. Práce pokračuje kapitolou popisující trh se silovou elektřinou a market coupling. Poté se přechází k hlavnímu zkoumanému problému v této diplomové práci. Jedná se o rozdělování přeshraniční kapacity mezi trh se silovou elektřinou a trh s regulačními zálohami. Cílem zkoumání je analyzovat možnosti dosažení optimálního bodu, tedy bodu, ve kterém je dosaženo maximálního užitku z obou trhů. Za tímto účelem autor analyzoval metodické přístupy pro sdílení přeshraničních kapacit popisované v nařízení EB GL. Zkoumány byly celkem 4 přístupy. Jelikož tato diplomová práce zkoumá oceňování přeshraničních kapacit u denního trhu, byl nejlépe hodnocený přístup metodou Market Based. Po vyhodnocení metodických přístupů, popisuje autor užívané metody ohodnocení přeshraniční kapacity. Jedná se o metodu Market Spread a metodu Stínové Ceny. U obou zmíněných metod je v praxi využívané linearizování průběhu. V této práci je jedním z cílů vyhodnotit dopad linearizace na hodnotu užitku a jestli je rozumné ji využívat. Po teoretickém úvodu problematiky a vysvětlení nezbytných pojmů, provádí autor simulace v nástroji Simulation Facility. Simulace probíhají na principu redukování přeshraniční kapacity pro trh se silovou elektřinou. Výsledky těchto simulovaných trhů slouží k určení dopadu na ztrátu užitku a chování hodnot Market Spread a Stínové Ceny. Výsledky jsou zpracovány do grafů a diskutovány. Hlavní přínos diplomové práce je v prozkoumání chování oceňovacích metrik přeshraniční kapacity.

Klíčová slova

Přeshraniční přenosová kapacita, trh se silovou elektřinou, trh s regulačními zálohami, market coupling, flow-based alokace, NTC alokace, výnos z přetížení, Social welfare, Market welfare

Abstract

This diploma thesis deals with the issue of sharing cross-border capacities between electricity markets and balancing market. First, the cross-border capacity and the methods of its determination are defined. Furthermore, a comparison of the method of determining cross-border capacity by the NTC method with the FB method is made. The comparison emphasizes the identification of good and bad properties of these methods. The work continues with a chapter describing the power market and market coupling. Then we move on to the main research problem in this thesis. This is the distribution of cross-border capacity between the power market and the balancing market. The aim of the research is to analyse the possibilities of reaching the optimal point, the point at which the maximum benefit from both markets is achieved. To this end, the author analysed the methodological approaches for cross-border capacity sharing described in the EB GL Regulation. A total of 4 approaches were assessed. As this thesis examines the valuation of cross-border capacities in the daily market, the Market Based approach had highest assessment. After assessing the methodological approaches, the author describes the methods used to evaluate cross-border capacity. These are the Market Spread method and the Shadow Price method. In both methods, linearization of the curve is used in practice. In this work, one of the goals is to evaluate the impact of linearization on the value of welfare and whether it is reasonable to use it. After a theoretical introduction to the issue and an explanation of the necessary concepts, the author performs the simulation in the Simulation Facility tool. The simulations are based on the principle of reducing cross-border capacity for the power market. The results of these simulated markets are used to determine the impact on the loss of welfare and behaviour of Market Spread and Shadow Prices. The results are processed into graphs and discussed. The main contribution of the diploma thesis is in examining the behaviour of cross-border capacity valuation metrics.

Keywords

Cross-border capacity, energy market, balancing market, market coupling, flow-based allocation, NTC allocation, congestion income, Social welfare, Market welfare

Obsah

1. Úvod	15
2. Způsob přidělování přeshraniční kapacity mezi trhy se silovou elektřinou a regulačními zálohami	17
2.1. Přeshraniční kapacita	18
2.1.1. Stanovení přeshraniční kapacity.....	18
2.1.1.1. Kritérium N-1	19
2.1.2. NTC výpočet přeshraniční kapacity	19
2.1.2.1. Netting	21
2.1.3. Flow based výpočet přeshraniční kapacity.....	22
2.1.3.1. PTDF matice.....	23
2.1.4. Porovnání NTC a flow based.....	24
2.2. Trh se silovou elektřinou	26
2.2.1. Dlouhodobý trh	27
2.2.2. Krátkodobý trh.....	27
2.2.2.1. Denní trh.....	27
2.2.2.2. Vnitrodenní trh	27
2.2.2.3. Blokovaný trh.....	28
2.2.3. Market coupling	28
2.2.4. Výpočet tržního užitku.....	30
2.2.4.1. Market welfare	31
2.2.4.2. Social welfare	32
2.2.5. Typy aukcí.....	32
2.3. Rozdělování přeshraniční kapacity mezi trh se silovou elektřinou a trh regulačními zálohami	35
3. Metodiky alokace a ocenění přeshraniční kapacity.....	38
3.1. Co-optimization	39
3.2. Market Based	39
3.3. Inverted Market Based	41
3.4. Economic efficiency analysis	41
3.5. Zhodnocení metod přerozdělování přeshraniční kapacity.....	42
4. Způsoby ocenění užitku pro energetické trhy	45
4.1. Market spread	46
4.2. Stínová cena	47

4.3.	Srovnání metod	48
4.4.	Simulace	48
4.4.1.	Euphemia.....	50
5.	Provedení simulace	51
5.1.	Simulation Facility	51
5.2.	Popis postupu provedení měření	52
5.2.1.	Výchozí bod	52
5.2.2.	Kroková simulace.....	52
5.2.3.	Popis použitých souborů	54
5.3.	Výsledky simulace.....	54
5.3.1.	Výsledky Market spread	55
5.3.1.1.	Výsledky Market Spread H8	56
5.3.1.2.	Výsledky Market Spread H9	59
5.3.1.3.	Výsledky Market Spread H18	61
5.3.1.4.	Výsledky Market Spread H19	63
5.3.1.5.	Zhodnocení výsledků Market Spread	65
5.3.2.	Výsledky stínových cen.....	66
5.3.2.1.	Výsledky stínových cen H8	67
5.3.2.2.	Výsledky stínových cen H9	69
5.3.2.3.	Výsledky stínových cen H18	70
5.3.2.4.	Výsledky stínových cen H19	71
5.3.2.5.	Zhodnocení výsledků stínové ceny	73
5.4.	Výsledky Social Welfare.....	74
5.5.	Vyhodnocení výsledků simulace.....	78
6.	Závěr.....	80

Seznam zkratek

Zkratka	Význam zkratky
AAC	Already allocate capacity (Alokovaná kapacita)
ATC	Available Transfer Capacity (Dostupná přenosová kapacita)
CACM	Capacity Allocation & Congestion Management
CB	Critical branches (Kritické větve)
CfD	Contracts for Difference (Rozdílový kontrakt)
ČR	Česká republika
EBGL	Electricity balancing guideline
ENTSO-E	European Network of Transmission System Operators for Electricity
EU	Evropská unie
EUPHEMIA	Pan-European Hybrid Electricity Market Integration Algorithm
FB	Flow Based
FRM	Flow reliability margin (Bezpečnostní rezervy)
IGCC	International Grid Control Cooperation
MWh	Megawatthodina
MC	Market Coupling
MF	Maximal Flow (Maximální toky)
NTC	Net Transfer Capacity (Čistá přenosová kapacita)
NRÚ	Národní regulační úřad
OpHB	Operation Handbook ENTSO- E
OZE	Obnovitelné zdroje elektrické energie
PCR	Price Coupling Region
PPS	Provozovatel přenosové soustavy

PTDF	Power Transfer Distribution Factors
RAM	Remaining available margin
RR	Záloha pro náhradu
SDAC	Single Day Ahead Coupling
SOGL	System Operation Guideline
SAFA	Synchronous Area Framework Agreement
SW	Social welfare
SP	Shadow price, stínová cena
TRM	Spolehlivostní rezerva
TTC	Celková přenosová kapacita
XBID	Cross-border Intraday Coupling

1. Úvod

Elektrická energie se pro nás v průběhu 21. století stala naprostou samozřejmostí, bez které si již svět nedokážeme představit. Energetika se svým meziodvětvovým charakterem přitom patří mezi významnou část národního hospodářství, a proto podléhá dohledu státu. Dříve bylo běžné, že stát vlastnil a provozoval výrobu, distribuci a přenos elektrické energie. Čisté řízení státem bez kontrolních orgánů nebylo tržně efektivní a spolupráce se sousedními trhy složitá a riziková. To byl jeden z důvodů, proč byla vytvořena idea volného propojeného evropského trhu s elektrickou energií. Propojený evropský trh s elektrickou energií patří mezi nástroje pro vypořádávání se s obtížnou skladovatelností elektrické energie a nutností neustálého udržování rovnováhy mezi výrobou a spotřebou elektrické energie. K volnotržnímu přístupu se přibližují evropské státy postupnou liberalizací trhu s elektrickou energií. Během liberalizace liberalizačními balíčky došlo k rozbití velkých státních energetických podniků a k rozdělení výrobní, distribuční, obchodní a kontrolní částí energetického byznysu. Nově vzniklé kontrolní orgány pak dohlížejí na trh a chování jednotlivých subjektů.

Po provedené liberalizaci energetického sektoru se nyní EU zaměřuje na integraci národních trhů do jednotného evropského trhu. Důvodem pro integraci není jen tržní efektivita, ale i řešení nestálosti a dlouhodobé nepředvídatelnosti výroby způsobené zvyšujícím se podílem OZE. U integrace trhů a oblastí se setkáváme s přeshraniční kapacitou, která udává technické omezení přenosu mezi trhy, oblastmi, nebo státy.

Při propojení soustavy a integraci trhu je nutná harmonizace pravidel a produktů, aby mohlo docházet k obchodu a bezpečnému fungování soustavy. Právě nařízení EB GL mimo jiné zavázalo PPS k vzájemné spolupráci na harmonizaci pravidel pro poskytovatele služeb výkonové rovnováhy, regulační energie a subjekty zúčtování. Zároveň také stanovuje obchodní pravidla a podmínky pro nákup regulačních záloh ze zahraničí, harmonizuje způsob aktivace, typy produktů a ocenění regulační energie.

V této práci se budu zabývat přidělováním přeshraniční kapacity mezi trh se silovou elektřinou a trh s regulačními zálohami. Cílem je stanovit vhodné ukazatele k měření výkonosti trhů a efektivně mezi trhy přidělit přeshraniční kapacitu.

V první části této práce se věnuji definování nezbytných pojmů a metrik. Nejprve definuji, co je přeshraniční kapacita a jak se stanovuje. Popisuji výhody a nevýhody NTC a FB metod stanovující přeshraniční kapacitu.

V další části popisuji trh se silovou elektřinou v obecné rovině, avšak ve výpočetní části pracuji pouze s denním trhem. Jedna z podkapitol je věnována Market Coupling. V této podkapitole popisuji základní principy při propojování trhů jednotlivých členských zemí EU.

Poté se v této práci věnuji problematice efektivního přidělování přeshraniční kapacity mezi trh se silovou elektřinou a trh s regulačními zálohami. U problematiky zkoumám navrhované metodiky v EG BL a v materiálech ENTSO-E a provádím jejich hodnocení. U metodik hodnotím jejich proveditelnost, přínosy a slabé stránky.

Po zhodnocení metodik popisuji tržní ukazatele potřebné k ohodnocení užitku přeshraniční kapacity. Porovnám ohodnocení pomocí MS a SP. Formuluji hypotézy pro oba typy ohodnocení.

Hypotézy testuji pomocí nástroje Simulation Facility, který pomocí algoritmu EUPHEMIA počítá výsledky trhu. Z naměřených a zpracovaných hodnot jsem vytvořil grafy na kterých popisuji chování jednotlivých typů ohodnocení přeshraniční kapacity. U každého grafu vyhodnocuji, jestli došlo k potvrzení hypotéz a zkoumám, jestli jde dedukovat nějaké obecné pravidlo.

Nakonec provádím srovnání se SW, který by měl podle teorie být nejlepší dostupnou metrikou ocenění dopadu na trh.

2. Způsob přidělování přeshraniční kapacity mezi trhy se silovou elektřinou a regulačními zálohami

Historicky byly přenosové soustavy budovány primárně pro vnitrostátní vedení elektrické energie. Z toho důvodu nebyla na hranicích aktivně budována přeshraniční vedení. S postupnou integrací evropského trhu dochází k posilování přeshraničních vedení a zvýšení jejich přenosové kapacity. Přeshraniční propojení jsou, ale stále slabší než propojení vnitrostátní, a proto bývá přeshraniční kapacita limitujícím prvkem v energetickém obchodu. [1]

PPS jako poskytovatel přeshraniční kapacity poskytuje v případě dostatečné kapacity přeshraniční přenos zdarma. Pro případy přetížení (tj. poptávaná kapacita je vyšší než nabízená kapacita) dochází k vytvoření ceny za přidělení kapacity, pro účastníky trhu. Cena je stanovena aukčním mechanismem. Výnos z prodeje přeshraniční přenosové kapacity se označuje, jako výnos z přetížení a je rozdělován mezi zúčastněné PPS podle předem sjednaných pravidel.[1], [2], [3]

Dříve se o přeshraniční kapacitu se většinou ucházel trh se silovou elektřinou, kde byla přeshraniční kapacita efektivně a transparentně přidělována. Využití přeshraniční kapacity trhem s regulačními zálohami bylo vzácné. Vše změnilo nařízení EB GL, které si mimo jiné klade za cíl propojení trhu s regulačními zálohami. Trh s regulačními zálohami je tedy novým hráčem ucházejícím se o přeshraniční kapacitu. Vzniká proto potřeba efektivně přidělovat přeshraniční kapacitu mezi oba trhy.[1], [4]

Nejprve, než představím a zhodnotím metodiky zabývající se efektivním přidělováním přeshraniční kapacity, definuji základní pojmy, se kterými se v práci dále pracuje.

2.1. Přeshraniční kapacita

Přeshraniční kapacita je veličina udávající schopnost přenosu elektrické energie mezi dvěma státy (resp. zónami). Velikost přeshraniční kapacity je dána technickými, provozními a bezpečnostními možnostmi vedení mezi státy (resp. zónami) a topologií soustav ve státech (resp. zónách). [1], [2]

Přeshraniční kapacita je vždy přidělována pro určitý časový úsek. Délka časového úseku se může u různých PPS lišit. V ČR je délka časového úseku, stejně jako i u řady jiných evropských zemí, 1 hodina. Dalšími obvyklými délkami jsou 30 minut a 15 minut. Kratší délka časového úseku umožňuje flexibilnější obchodování a snazší řízení soustavy. Na druhé straně, ale zvyšuje výpočetní a technickou náročnost realizace.

Pro každý časový úsek probíhá sesouhlasení přeshraniční kapacity mezi sousedícími PPS, kteří jsou schopni velikost přeshraniční kapacity podle nutnosti upravit. V případě, že nedojde k sesouhlasení hodnot nastává speciální stav, při kterém se vždy počítá s nižší hodnotou. Zároveň dochází ke kontrole a případně k řešení pověřenou osobou. Důvod, proč v případě nesouhlasení je použita nižší hodnota je bezpečnost sítě. [1], [2]

Obrázek 1 Ilustrace přeshraniční kapacitami mezi zónami A B



2.1.1. Stanovení přeshraniční kapacity

Výpočet přeshraniční kapacity vychází z technických a bezpečnostních možností přenosových soustav. Každý prvek v přenosové soustavě má svoji maximální přenosovou kapacitu, která úzce souvisí s tepelným zatížením. Do výstupu kromě technického omezení přenosové kapacity vstupují bezpečnostní opatření. Primárně se jedná o umělé snížení maximální přenosové kapacity, aby v případě poruchy nedošlo k selhání sítě a velkým škodám. Největším vlivem působí *kritérium N-1* viz. kapitola 2.1.1.1. [1], [2], [5]

Každá PPS sama počítá přeshraniční kapacity. Aby sousedním PPS nevycházeli příliš rozdílné hodnoty, přišlo nařízení CACM s požadavkem na harmonizaci výpočtu kapacit v rámci regionů. Za tímto účelem vznikají v regionech samostatné entity. Entita má za úkol řešit výpočet kapacit pro daný region. Při výpočtu se používá společný model sítě zahrnující pro každou hodinu odhady výroby, zatížení a stavu sítě. [1], [2], [5]

Pro výpočet přeshraniční kapacity se standardně používá jedna z následujících dvou metod. Jedná se o metodu NTC a metodu flow based.

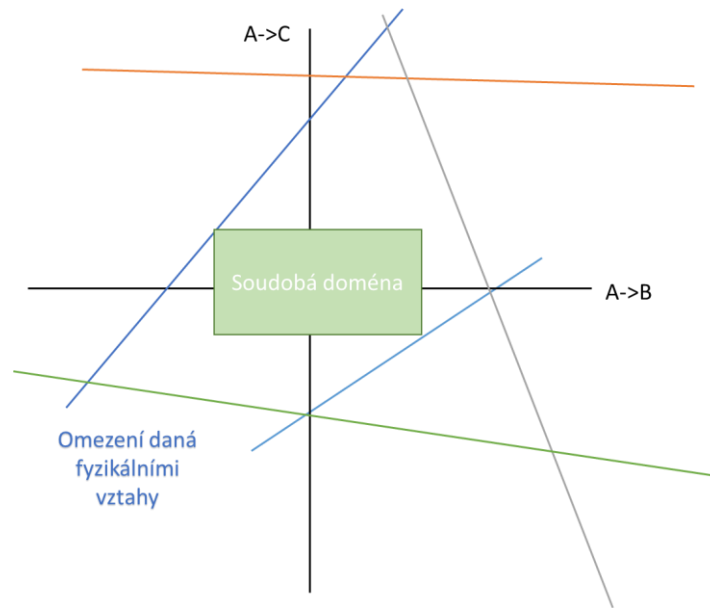
2.1.1.1. Kritérium N-1

Jedná se o základní bezpečnostní kritérium spolehlivosti provozu elektrizační soustavy. Kritérium reprezentuje schopnost soustavy udržet normální parametry chodu při výpadku, kteréhokoliv prvku soustavy. V případě nutnosti může docházet ke krátkodobému lokálnímu omezení spotřeby. Velikost zálohy je počítána z pravidla podle největšího prvku v soustavě.[6]

2.1.2. NTC výpočet přeshraniční kapacity

NTC (Net Transmission Capacity) v překladu metoda čisté přenosové kapacity je soudobá metoda s relativně jednoduchým výpočtem, která nyní ustupuje ve prospěch flow based metody. Soudobost metody se projevuje vzájemnou nezávislostí jednotlivých hodnot na profilech. Příklad NTC domény je na *Obrázek 2* , zelený obdélník.[7], [8]

Obrázek 2 Grafické zobrazení NTC domény



Pro výpočet si nejprve definuji použité proměnné:

- TTC* (Celková přenosová kapacita)
- NTC* (Čistá přenosová kapacita)
- TRM* (Spolehlivostní rezerva)
- ATC* (Dostupná přenosová kapacita)
- AAC* (Alokovaná kapacita)

TTC udává maximální přenosovou kapacitu, která je určena na základě technických parametrů (např. technické limity prvků sítě, odhad výroby a spotřeby, topologie soustavy) s respektováním *kritéria N-1*. [7], [8]

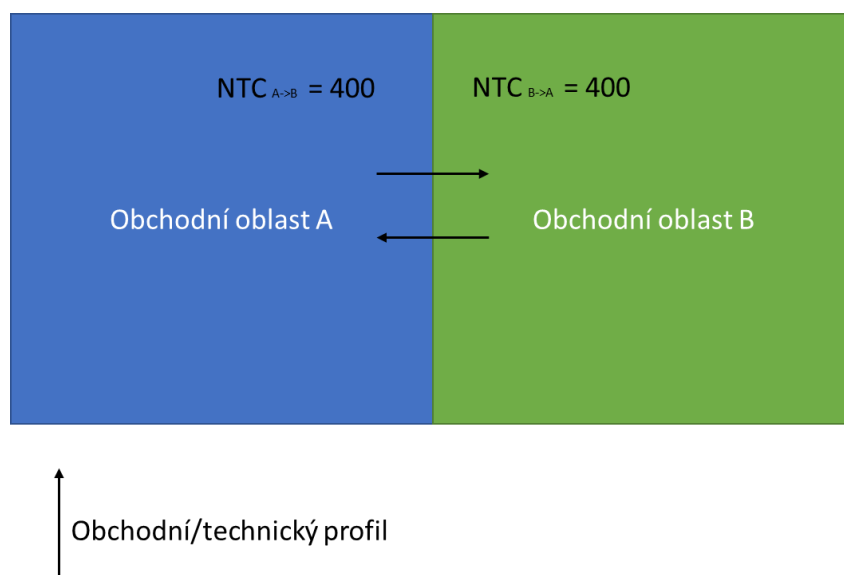
NTC je hodnota kapacity TTC po odečtení spolehlivostní rezervy TRM. Hodnoty NTC jsou každou PPS počítány zvlášť a následně dochází k harmonizaci hodnot. V případě rozdílných hodnot se vybírá nižší hodnota. [7], [8]

Rovnice 1) Výpočet hodnoty NTC

$$NTC = TTC - TRM$$

Po vypočítání hodnoty kapacity NTC dojde následně k alokaci této kapacity pro přeshraniční obchod. V různých časových rámcích (typů trhů) dochází k postupné alokaci kapacity. Hodnota NTC je stanovena pro oba obchodní/technické profily. [7], [8]

Obrázek 3 Ilustrace NTC hodnot pro oblasti A,B



Po alokování kapacity se setkáváme s veličinami AAC a ATC, kde AAC reprezentuje velikost již alokované kapacity a ATC udává zbývající dostupnou kapacitu. Obě tyto veličiny se v čase mění. Na konci aukčního kole vzroste AAC o alokovanou kapacitu a ATC se o stejnou hodnotu sníží. [7], [8]

Rovnice 2 Výpočet hodnoty ATC

$$ATC = NTC - AAC$$

2.1.2.1. Netting

Hodnota NTC mezi dvěma zónami se určuje pro oba směry. V případě že dochází k alokaci v obou směrech, tak se používá pro zvýšení efektivity tzv. netting. Netting je proces při kterém se vyhodnocuje ATC profilu v závislosti na opačném směru. V případě, že alokují kapacitu ve směru A->B, mohou zvýšit dostupnou kapacitu A<-B o stejné množství. Tento vztah vychází z fyzikálního principu, že elektrická energie neteče dvěma směry zároveň a v případě obchodování oběma směry nás zajímá saldo obchodů a směr. [7], [8]

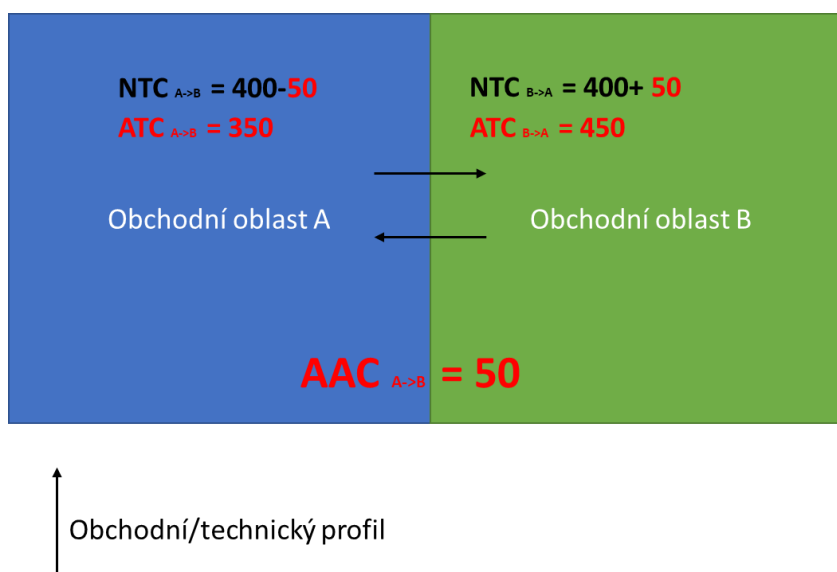
Rovnice 3 Výpočet hodnoty ATC při nettingu

$$ATC_{A->B} = NTC_{A->B} - netAAC_{A->B}$$

Rovnice 4 Výpočet nettované kapacity AAC

$$netAAC_{A->B} = AAC_{A->B} - AAC_{B->A}$$

Obrázek 4 Ilustrace provedení nettingu pro obchodní oblasti A B



Na *Obrázek 4* je simulace případu s dvěma obchodními zónami kde dojde k alokaci 50MW ve směru A->B. Tato operace se projeví na snížení $ATC_{A \rightarrow B}$ o 50MW na hodnotu 350 MW a zvýšení $ATC_{B \rightarrow A}$ o 50MW na hodnotu 450 MW. Tento případ nám ukazuje, že alokováním kapacity pro silový trh v jednom směru uvolňujeme zároveň kapacitu ve směru opačném. [7], [8]

2.1.3. Flow based výpočet přeshraniční kapacity

Flow based metoda alokace kapacity je metoda založená na fyzikálních tocích. Metoda oproti alternativní NTC se zaměřuje na reálný tok elektrické energie, kde NTC sleduje tok obchodní. Pro metodu je charakteristické, že počítá technický vliv transakcí na přenosovou soustavu. Nevýhodou metody je nutnost známosti většího objemu dat a výpočetní kapacity. Flow based metoda se zatím považuje za finální metodu výpočtu kapacity pro státy EU dle nařízení CACM. Důvodem, proč byla dříve požitá metoda NTC, je její snazší implementace a jednalo se o první krok ke koordinaci jednotlivých subjektů.[2], [9]–[11]

Flow based metoda je úspěšně implementována a užívána od května 2015 v regionu CWE (Centrální-Západní Evropa). Získaná data z tohoto regionu potvrzují velké ekonomické přínosy. Tyto ekonomické přínosy můžeme pozorovat na větším počtu spárovaných přeshraničních transakcí. [2], [9]–[11]

Flow based metoda je primárně používána u krátkodobých trhů s elektřinou. Na dlouhodobých trzích je značná nejistota, jak bude soustava v době budoucí dodávky vypadat. Proto není správné v dlouhých horizontech používat čistě flow based přístup. Pro dlouhodobé nominace je vhodné použít NTC přístup a poté přejít k převodu do flow based domény. [2], [9]–[11]

Výpočet přeshraniční kapacity flow based metodou probíhá v následujících krocích:

- 1) Komprese prvků do virtuálních prvků (pro zjednodušení výpočtu)
- 2) Identifikace limitujících prvků – CB critical branches (kritické větve)
- 3) Stanovení base case (základní scénář)
- 4) Započtení všech přeshraničních transakcí, které byly alokovány v dřívějších aukcích a z nich předpokládané vyplývající toky na hranicích společného regionu
- 5) Zahrnutí FRM (Flow reliability margin – bezpečnostní rezervy)

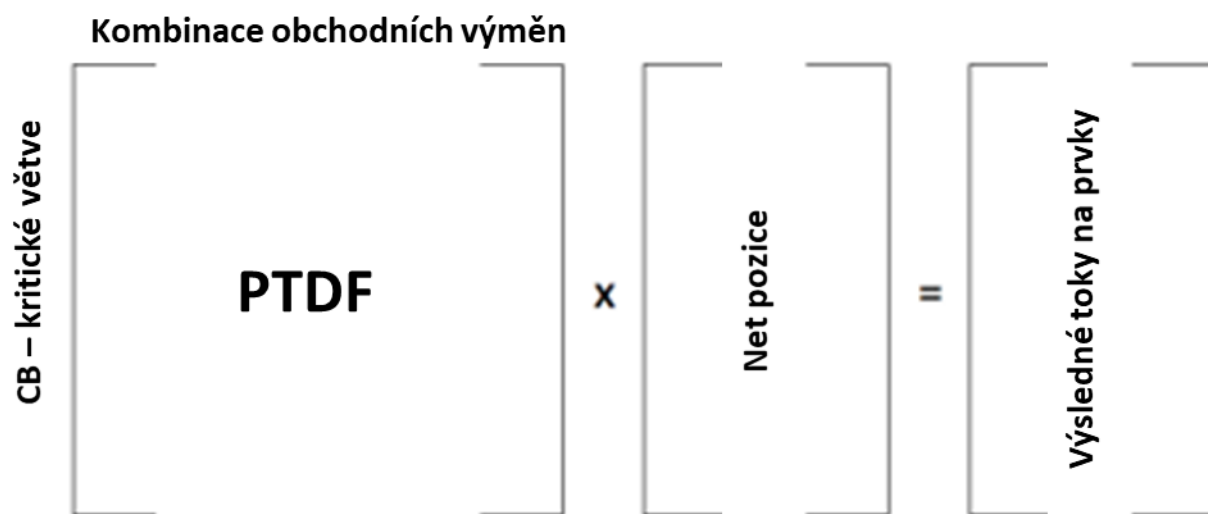
Z těchto parametrů jsou vypočteny MF maximální toky, které slouží jako omezující podmínka pro aukční transakce. Při vyhodnocování aukce jsou obchodní transakce přepočítány na fyzické toky za pomoci PTDF matice. Podle těchto toků se určuje zatížení prvků v soustavě a jejich zbývající přenosová kapacita. [2], [9]–[11]

Základním případem je myšlen odhad toků v síti s předpokladem, že nedochází k přeshraniční výměně.

2.1.3.1. PTDF matice

PTDF matice (Power Transfer Distribution Factor) definuje pro všechny kombinace možných obchodních výměn poměrný podíl vlivu obchodní transakce na jednotlivé uvažované prvky sítě. Pokud vliv CB v PTDF matici dosahuje více jak 5 %, je považován za významný pro alokaci. Nevýznamné prvky pak nebývají započítávány.[10]–[12]

Obrázek 5 Výpočet toků FB přes PTDF matici



Na *Obrázek 5* je výpočet toků na kritických prvcích soustavy. U transakcí je ověřováno, jestli nepřesahují hodnoty MF. V případě splnění ověření je transakce přijata. V opačném případě dochází k zamítnutí. Tento princip se podobá NTC přístupu.

2.1.4. Porovnání NTC a flow based

Obě z uvedených metod mají své kladné a záporné stránky. Cílem této podkapitoly je popsat a určit pro jaké případy jsou metodiky vhodné.

Problémy NTC

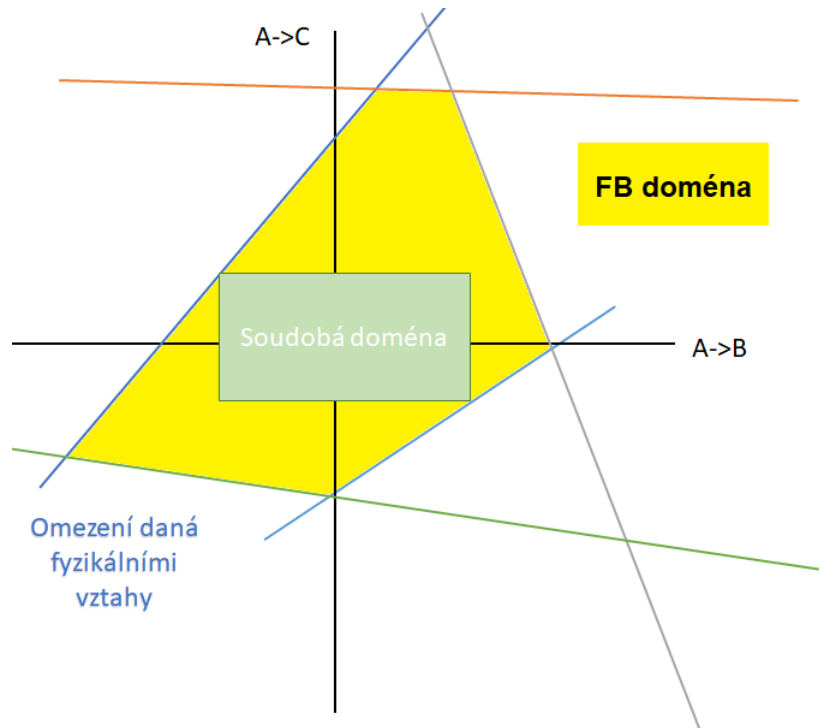
- Nevyužití veškeré dostupné kapacity pro trh viz. *Obrázek 6*
- Metoda nemusí reflektovat skutečné toky, jelikož zjednodušuje přenos pouze na profily a nepočítá s okružními toky přes jiné hranice a profily

Problémy flow based

- Náročnost výpočtu
- Nerealizovatelnost pro dlouhodobé trhy z důvodu nedostatku dat o budoucím stavu sítě
- Nepřesnosti zaviněné zjednodušováním

- Nebere v potaz velikost obchodních zón – může ovlivňovat fyzikální toky
- Základní tok na prvku je větší než kapacita prvku – vzniká upřednostňování vnitrostátních transakcí

Obrázek 6 Ilustrace FB domény a NTC domény



Ze získaných informací o metodách je patrné, že flow based metoda nabízí větší obchodovatelný potenciál, ale bohužel není schopna sama o sobě fungovat na dlouhodobých trzích.

Flow-based výpočet kapacit bude v roce 2022 aplikována v regionu Core¹ v rámci propojení denního trhu se silovou elektřinou. Nicméně pro trh s regulačními zálohami se stále uvažuje využívání pouze NTC přístupu po jednotlivých hranicích. Tato diplomová práce zohlední tato specifika.

¹ <https://www.ceps.cz/cs/core-ccr>

2.2. Trh se silovou elektřinou

Po liberalizaci energetického odvětví vznikl trh se silovou elektřinou. Na trhu se silovou elektřinou vystupuje řada subjektů s určitými rolami, funkcemi a povinnostmi. V této kapitole nejprve zmíním subjekty a popíšu typy trhů. Pak vysvětlím princip propojení trhů a jeho přínosy. Nakonec v této kapitole vysvětlím omezení a možnosti propojení trhů.

Subjekty operující na trhu se silovou elektřinou

- 1) Výrobce – licencovaný výrobce elektrické energie
- 2) Odběratel – spotřebitel elektrické energie
- 3) Obchodník – překupník s elektrickou energií
- 4) Provozovatel přenosové soustavy – zajišťuje provoz a bezpečnost přenosové soustavy
- 5) Provozovatel distribuční soustavy – zajišťuje provoz a bezpečnost distribuční soustavy
- 6) Burza – zprostředkovatel a organizátor organizovaných trhů s elektřinou
- 7) Operátor trhu s elektřinou – zajišťovatel fungování trhu s elektřinou
- 8) Energetický regulační úřad – národní subjekt dohlížecí na plnění pravidel trhu
- 9) Evropské subjekty – Společenství PPS a regulační orgány EU

Trh je možné rozdělit několika způsoby. Prvním z dělení je na velkoobchod (burza) a maloobchod (obchodníci a odběratelé). Druhým typem dělení je podle typu na organizovaný a neorganizovaný. [1], [13]

Neorganizovaný trh funguje na principu uzavírání bilaterálních dohod. Dvě strany se domlouvají samostatně na průběhu obchodu a nejsou omezovány pravidly. Výsledná dohoda je s určitým předstihem nahlašována operátorovi trhu. Nevýhodou tohoto přístupu je potřeba nalezení protistrany k realizaci obchodu. Výhodou pak může být realizace velice specifických obchodů. [1], [13]

Organizovaný trh je zprostředkován burzou. Burza zde funguje, jako centrální protistrana pro všechny účastníky. Burza trh spravuje, určuje pravidla a zajišťuje finanční vypořádání obchodů. Obchodní transakce na burzách probíhají formou aukcí anebo obchody probíhají průběžně, kdy jsou nabídky a poptávky párovány okamžitě, pokud existuje odpovídající protistrana. [1], [13]

V případě aukcí se setkáváme s dlouhodobými i krátkodobými trhy.

2.2.1. Dlouhodobý trh

Název napovídá, že se jedná o trh na delší a vzdálenější časové horizonty. Produkty na dlouhodobém trhu se obchodují od měsíce, až po několik let dopředu. Trh je využíván k zajištění ceny elektrické energie. Na trhu se obchodují finanční nástroje jako: opce, futures, forwards, nebo CfD (Contracts for Difference). Výsledkem produktu nemusí vždy být fyzická dodávka elektrické energie. [1], [13], [14]

2.2.2. Krátkodobý trh

Na trhu se obchodují produkty s dodávkou maximálně do několika dní. U krátkodobého trhu jsou nejvýznamnější tyto trhy: denní trh, vnitrodenní trh, blokový trh.

2.2.2.1. Denní trh

Na denním trhu je obchodována dodávka elektrické energie na následující den. Aukce dodávky probíhá pro každou z hodin (24 aukcí). Výsledkem každé aukce je zobchodované množství elektrické energie a výsledná clearingová cena. Princip aukce pay as cleared je vysvětlen v kapitole 2.2.5. . [1], [13]

2.2.2.2. Vnitrodenní trh

Na denním trhu je obchodována dodávka elektrické energie na aktuální den minimálně hodinu před dodávkou. Tento trh primárně slouží pro subjekty, co nebyly schopny uspokojit svoji potřebu na denní trhu, nebo pro subjekty poznamenány náhlou událostí způsobující nedostatek/přebytek elektrické energie. [1], [13]

2.2.2.3. Blokový trh

Na blokovém trhu oproti předchozím trhů se obchodují produkty dodávky elektrické energie v určitých blocích (několik hodin přiřazených k sobě). Produkty na tomto trhu jsou Base, Peak a Off-Peak. [1], [13]

➤ Base	celodenní dodávka	Základní
➤ Peak	dodávka od 8:00 do 20:00	Špičkový
➤ Off-Peak	dodávka od 20:00 do 8:00	Mimo špičkový

2.2.3. Market coupling

Market coupling, neboli propojení energetických trhů je jednou z priorit EU v oblasti energetiky. Jedná se o snahu propojit celý energetický trh EU. Cílem projektu je harmonizace různých tržních systému a snížení rozdílu cen mezi jednotlivými oblastmi. Market coupling rovněž posiluje konkurenci subjektů na trhu a zvyšuje velikost obchodovaného množství. Zároveň dochází k „sjednocování“ výsledné ceny, výsledná cena je pro oblasti podobná, ne-li stejná. [1], [9]–[11], [15], [16]

K realizaci přeshraničních obchodů je nutná přeshraniční přenosová kapacita. Jelikož existují rozdíly cen mezi zeměmi, mají obchodníci podnět k realizaci přeshraničních obchodů a tyto ceny vyrovnat. [1], [9]–[11], [15], [16]

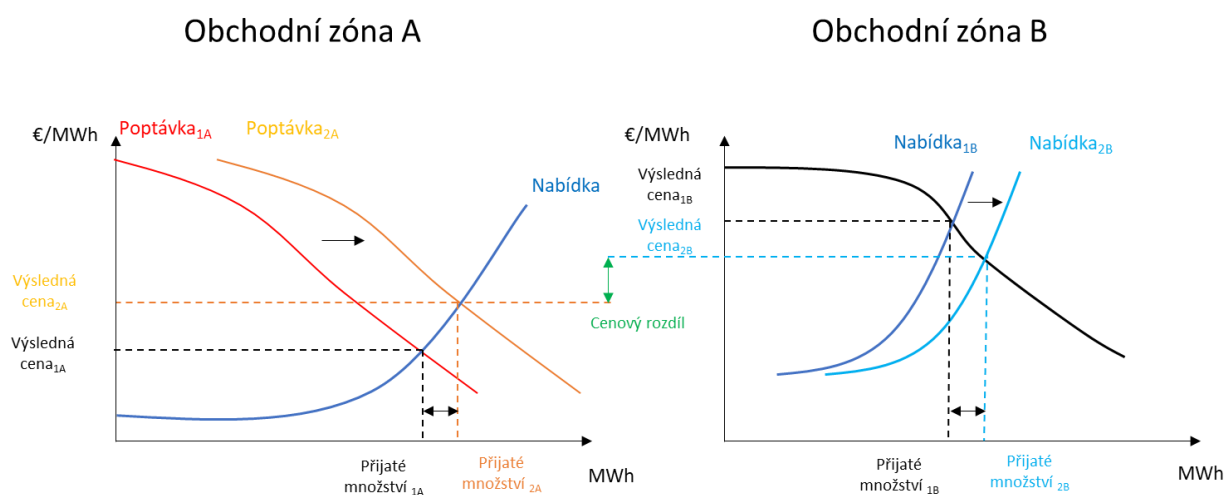
Přidělování přeshraniční kapacity mezi subjekty je založeno na aukčním principu. Velikost nabízené přeshraniční kapacity je spočtena podle některé z metod viz. kapitola 2.1.1. . Zde narážíme na první z problému pro market coupling. V případech velkého nedostatku/přebytku energie v jednom trhu se nemusí vždy podařit vyvážit tento trh a cenu importem/exportem ze sousedních trhů z důvodu nedostatečné přeshraniční kapacity. To je jedním z důvodů, proč se snažíme maximalizovat přenosové možnosti soustavy, aby nebyly zbytečným limitujícím omezením trhu. [1], [9]–[11], [15], [16]

Na *Obrázek 7* je příklad 2 obchodních zón, kde je ukázán vliv přeshraničního obchodu na oba trhy.

V prvním případě (1A,1B) není mezi zónami žádná volná přeshraniční kapacita. Pro trhy obou obchodních zón je stanovena výsledná cena a přijaté množství v bodech průtnutí nabídkové a poptávkové křivky.

V druhém případě (2A, 2B) jsou obchodní zony A a B propojeny a je zde volná přeshraniční kapacita. Jelikož v zóně B se poptává elektrická energie za vyšší cenu, tak dochází k jejímu exportování ze zony A do zony B, dokud nedojde k vyrovnání cen. V modelovém příkladu je ale volná přeshraniční kapacita nedostatečná a nedokáže přenést dostatečné množství elektrické energie k tomuto vyrovnání. Pak dochází k stanovení výsledných cen a obchodovaného množství po využití této kapacity pro obě obchodní zony. Z obrázku je patrné, že přeshraniční obchodování vedlo k zvýšení výsledné ceny v zóně A a snížení výsledné ceny v zóně B. Rozdíl výsledných cen mezi zónami oproti prvnímu případu klesl a celkové přijaté množství (zobchodované množství) elektrické energie vzrostlo. Cenový rozdíl, také označovaný pojmem market spread, zobrazuje určitý užitek při prodeji energie v zóně B oproti zóně A. Právě do výše tohoto cenového rozdílu jsou obchodníci ochotni zaplatit na aukci za přeshraniční kapacitu, aby pro ně tato transakce byla výhodná. Tento výnos PPS z aukcí se označuje za výnos z přetížení.

Obrázek 7 Vliv market coupling na trh s elektřinou



V prostoru EU existuje v dnešní době 9 zón s rozdílnými výpočty přeshraniční kapacity. Česká republika je součástí zóny Core. Pro budoucí integraci trhu je důležité, aby docházelo k postupnému slučování těchto zón.

K dosažení tohoto cíle vzniká řada projektů a market coupling systémů a platforem, jako PCR, FBMC, SDAC a XBID. Tyto projekty integrují denní a vnitrodenní trh s elektřinou.[17]

PCR (Price Coupling of Regions) je projekt ve kterém 7 evropských burz vyvinulo společné cenové sjednocení (price coupling). Cílem projektu je dosažení nejlepší kalkulace ceny elektřiny a efektivní využití přeshraniční kapacity.[18] Přínosy:

- Společný algoritmus pro výpočet ceny elektřiny (zvýšení transparentnosti)
- Individuální zodpovědnost burz za svůj region
- Decentralizovaná práce s daty

XBID(Cross-border Intraday Coupling) je projekt 11 zemí spolu s Českou republikou pro kontinuální přeshraniční vnitrodenní obchodování za předpokladu, že je dostupná přeshraniční kapacita. Projekt patří mezi úspěšné a byl spuštěn v roce 2018.[19]

SDAC (Single Day Ahead Coupling) cílí na vytvoření jednotného evropského přeshraničního denního trhu s elektrickou energií. Snaží se optimálně využívat vzácnou přeshraniční kapacitu přes různé regiony a maximalizovat social welfare.[20]

2.2.4. Výpočet tržního užítku

Při přerozdělování přeshraniční kapacity na základě jejího ocenění je nezbytné si zvolit veličinu nejlépe vystihující užitek. Účelem této veličiny je její maximalizace. V případě přeshraniční kapacity nejlépe vystihují ekonomický užitek tyto ukazatele: consumer surplus, producer surplus a příjem z přetížení (Congestion Income). Tyto ukazatele získáváme z nabídkové a poptávkové křivky pro dané časové období.[21]

Consumer surplus (Přebytek zákazníka) je veličina, která udává úsporu zákazníka. Úspora zákazníka je počítána, jako rozdíl ceny, kterou by zákazník byl ochoten zaplatit a výslednou cenou vynásobeno požadovaným a přijatým množstvím elektrické energie.
[21]

Producer surplus (Přebytek výrobce) je veličina, která udává přebytek výrobce nad jím požadovaný výnos. Přebytek je stanoven na základě rozdílu výsledné ceny a nabízené ceny výrobce. Přebytek je roven tomuto rozdílu vynásobeném nabízeným a přijatým množstvím elektrické energie. [21]

Congestion Income (výnos z přetížení) je veličina udávající příjem PPS z aukcí přeshraniční kapacity mezi státy. Příjem si rozdělují PPS, kteří se podíleli na přenosu. S výnosem z přetížení se setkáváme, když přeshraniční kapacita je nedostatečná. K spravedlivému přidělení dochází na základě aukce kapacity, kde se setkáním nabídkové a poptávkové aukce určí cena za přenesenou MWh. [21]

Na grafu je znázorněn modelový případ obchodování na krátkodobých trzích s elektrickou energií. Pro zvolený časový úsek podávali výrobci a spotřebitelé své bidy (nabídky) ze kterých se pak integrovala nabídková a poptávková křivka. V případě nabídkové křivky (resp. poptávkové křivky) se řadily, jednotlivé bidy sestupně (resp. vzestupně) za sebou. O bodu protnutí nabídkové a poptávkové křivky mluvíme, jako o rovnovážném bodu, který nám udává výslednou cenu (clearing price) a zobchodované množství (accepted volume). Veškeré bidy napravo za tímto bodem nejsou akceptovány. V případě, že se křivky neprotnou, nedojde k žádnému obchodu.

2.2.4.1. Market welfare

Market welfare patří mezi metriky měřící tržní užitek. Definujeme jej jako součet přebytků výrobce a zákazníka. Na grafu by se jednalo o součet oblastí mezi modrou a červenou křivkou. Matematicky jej definujeme jako rozdíl mezi všemi poptávkovými a nabídkovými bidy před dosažením rovnovážného bodu. Market welfare není závislý na typu alokování kapacity a ani na principu přerozdělování výnosu za přetížení mezi provozovatele přenosových soustav. [21]

Rovnice 5 Market welfare

$$\text{Market welfare} = \sum_{\text{uzavřené nabídky}} C_{ps} * M_{ps} - C_{nv} * M_{nv}$$

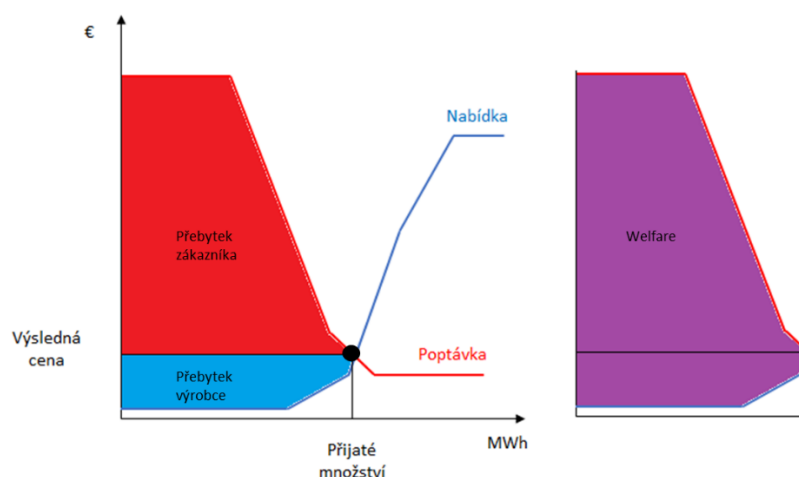
C_{ps} Poptávaná cena nakupujícím

M_{ps} Poptávané množství nakupujícím

C_{nv} Nabízená cena prodávajícím

M_{nv} Nabízené množství prodávajícím

Obrázek 8 Rozdělení welfare mezi výrobce a zákazníka



2.2.4.2. Social welfare

Social welfare je rozšířenou metrikou vycházející z market welfare. Na rozdíl od market welfare započítává social welfare příjem z přetížení. Social welfare není závislý na typu alokování kapacity a ani na principu přerozdělování výnosu za přetížení mezi provozovatele přenosových soustav. Social welfare je používanou metrikou evropskými institucemi při hodnocení trhu. [21]

Rovnice 6 Social welfare

$$\text{Social welfare} = \sum_{\text{uzavřené nabídky}} C_{ps} * M_{ps} - C_{nv} * M_{nv} - \sum_{\text{všechny trhy}} MNP - MCP$$

MNP Market Net Position – čistá tržní pozice

MCP Market Clearing Price – tržní clearingová cena

2.2.5. Typy aukcí

U trhů s energetickými produkty je možné se setkat s dvěma různými přístupy k obchodované ceně. Tyto přístupy přímo ovlivňují velikost a rozdělení welfare. V předchozích definicích pojmů byl použit častější typ aukce Pay as Cleared.

Tabulka 1 Rozdíly typu aukcí Pay as Bid a Pay as Cleared

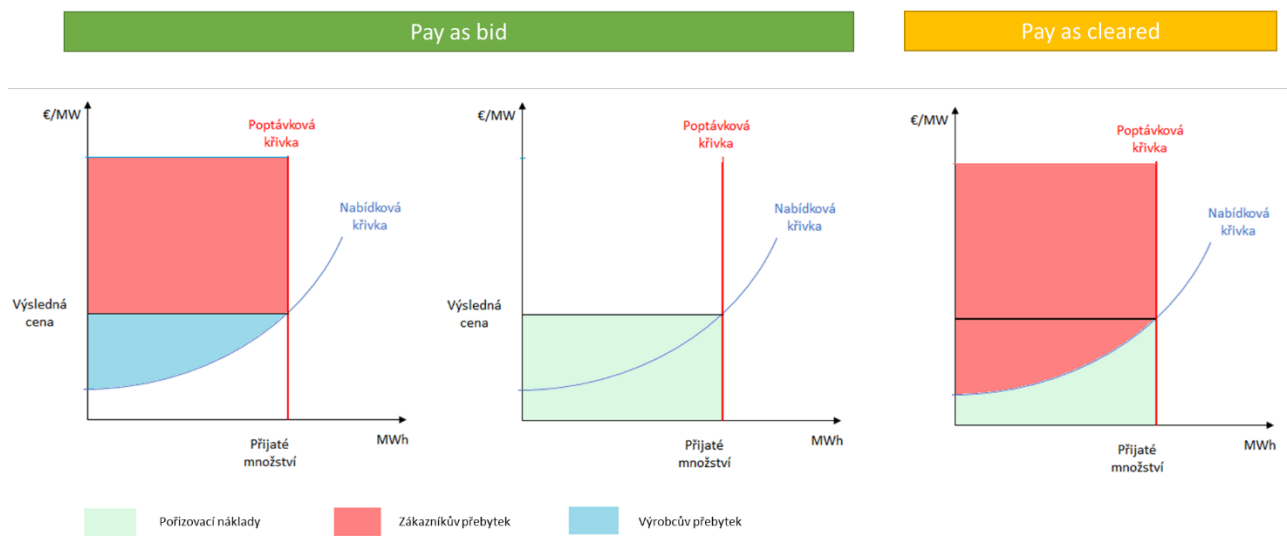
Typ aukce	Pay as Cleared	Pay as Bid
Výskyt	Častý, vyšší počet subjektů na obou stranách	V případech, kde je jen jeden subjekt na straně poptávky
Výsledná cena	Pro všechny subjekty stejná, vycházející z rovnovážného bodu	Různá v závislosti na nabídkových bidech
Rozdělení welfare	Mezi obě strany	Pouze pro stranu poptávky
Merit order	Funkční	Nefunkční
Investiční signály	Přehledné, vycházející z merit order	Nepřehledné
Konkurenční boj	Skoro žádný, hlavní snaha snižovat marginální náklady	Velký, nutnost predikce konkurence a protistrany

U přístupu **Pay as Cleared** je výsledná cena stejná pro celé zobchodované množství. Cena spolu se zobchodovaným množstvím jsou určeny rovnovážným bodem. Pro subjekty před rovnovážným bodem to znamená, že každý nakupující subjekt zaplatí za každou nakoupenou jednotku výslednou cenu a každý prodávající subjekt prodá každou jednotku za výslednou cenu. Nakupující a prodávající subjekty za rovnovážným bodem nerealizují žádný obchod. Výhoda tohoto přístupu je, že dává jasné tržní signály a s funkčním merit order. Merit order je vzestupné řazení prodávajících (zdrojů) dle nabízených cen, které velmi často vychází z krátkodobých marginálních výrobních nákladů. Můžeme tedy předpokládat, že poté dochází k efektivnímu nasazování zdrojů. Welfare je rozdělen mezi obě tržní strany. [21]

U přístupu **Pay as Bid** na rozdíl od přístupu Pay as Cleared neexistuje stejná výsledná cena pro všechny prodávající subjekty. Proávající subjekty nabízejí množství elektrické energie za určitou jednotkovou cenu. V případě, že se jejich bidy nacházejí před rovnovážným bodem, jsou akceptovány a je za ně zaplácena jednotková cena požadována prodávajícím. Aukce typu Pay as Bid je z pravidla aplikována pouze v případech, že na straně poptávky je pouze jedna strana, například by se jednalo o PPS poptávající regulační zálohy na domácím trhu. Tento přístup zároveň nutí prodávající subjekty predikovat chování konkurence a protistrany. Odchylka v predikci poptávaného množství a ceny v rovnovážném bodu znamená ztrátu welfare ve prospěch protistrany, a tedy k neoptimálnímu výsledku pro prodávajícího, nebo k neuskutečnění obchodu. Typ aukce Pay as Bid vede k vyššímu konkurenčnímu boji na straně nabídky ve prospěch strany poptávky, ale zároveň způsobuje nefunkční merit order, neefektivní nasazování zdrojů a vysílá nejasné investiční signály. [21]

Na následujícím obrázku je ukázán příklad obou přístupů pro případ, kdy je na straně poptávky pouze jeden subjekt. Jak již bylo zmíněno, můžeme sledovat rozdílné rozdělení welfare a rozdílnou celkovou pořizovací cenu.

Obrázek 9 Rozdělení welfare na základě typu aukce

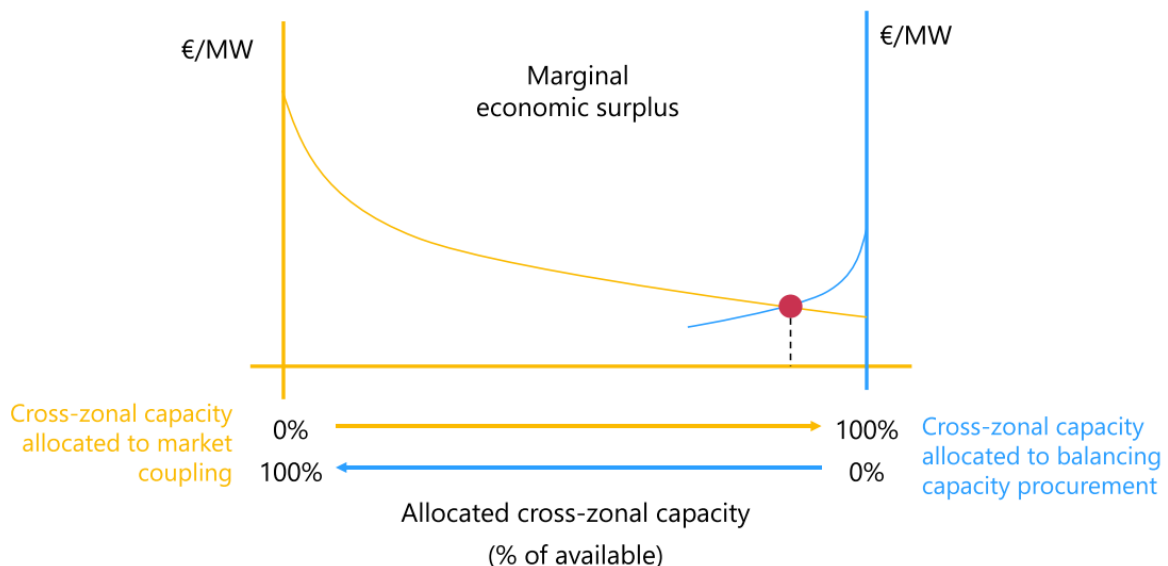


2.3. Rozdělování přeshraniční kapacity mezi trh se silovou elektřinou a trh regulačními zálohami

Rozdělení přeshraniční kapacity v závislosti na její hodnotě v rámci trhů je klasická ekonomická úloha, s cílem dosáhnout optimálním rozdělením dostupné přeshraniční kapacity. Optimálního rozdělení je dosaženo v případě, že se mezní hodnota společensko-ekonomického přebytku obou trhů rovná. Pro případy nerovnosti (neexistuje bod zkrřížení křivek) se hledá rozdělení s minimálním marginálním rozdílem v hodnotách.

Optimem je dosažení maximální hodnoty součtu užiteků z obou trhů. Příklad optimálního rozdělení kapacity pro oba trhy je na následujícím obrázku. Kromě bodu určující optimální rozdělení je patrný rozdílný tvar křivky reprezentující mezní ekonomický přbytek trhu s regulačními zálohami. Tento jev nastává z důvodu rychlejšího „nasyčení“ poptávky a přijatými omezeními ve schválených metodikách. Obvyklý maximální povolený rozsah je v mezích intervalu do 10 % dle metodiky EB GL. Uvedený příklad by platil v ideálním světě, kde pro křivky mezní hodnoty platí, že jsou monotónně nerostoucí. V reálném světě platí předpoklad nerostoucích křivek, ale obecně nelze tvrdit, že platí předpoklad monotónnosti.[4], [22], [23]

Graf 1 Marginální ekonomický přbytek u trhů se silovou elektřinou a regulačními rezervami



V praxi je stanovení optimálního rozdělení přeshraniční kapacity pro oba trhy velmi složité. Na jedné straně je trh se silovou elektřinou, který je rozsahem násobně větší, než trh s regulačními rezervami a velmi dynamicky reaguje na tržní změny. U trhu se silovou elektřinou se silně ovlivňují jednotlivé nabídky, kde alokováním kapacity v jednom směru ovlivňuje kapacitu v opačném směru. Predikovat tento trh jde velmi složitě a je to možné pouze s významnou nejistotou predikce. [4], [22], [23]

Na druhé straně je trh s regulačními zálohami, který je esenciální pro některé PPS k získání potřebných záloh. Navíc se jedná o trh sloužící k zajištění bezpečnosti sítě jednotlivých PPS, i celé evropské energetické soustavy. Tento trh se liší od silového primárně typem obchodovaných produktů a služeb. Krátkodobý silový trh pracuje s dodávkou elektrické energie, naproti tomu na trhu s regulačními zálohami dochází k obchodování opcí na dodávky regulační energie. Jelikož se jedná o opce, není je pak nutné na rozdíl od dodávek na trhu se silovou elektřinou uplatnit. Následkem toho je, že nemůžeme nettovat přeshraniční kapacity u tohoto trhu. Proto pak simulujeme přidávání přeshraniční kapacity trhu s regulačními zálohami, jako odebrání celkové kapacity pro trh se silovou elektřinou. [4], [22], [23]

Vzniká pak otázka, proč až na nezbytně nutné případy by mělo k takovému obchodování docházet. Důvodem je, že nejenže existují PPS, kteří nejsou schopni regulační zálohy zajistit ve své oblasti a musí proto tyto služby importovat. Současně ale v řadě zemí nedochází k efektivnímu využití zdrojů nabízející tyto služby, přeshraniční obchodování tak vede k zefektivnění trhu.

Představme si 2 zóny A a B. V zóně A je velmi těžké zajistit regulační zálohy. PPS v zóně A za ně platí vysokou cenu C_a . Naproti tomu v zóně B je situace opačná a je zde mnoho zdrojů schopných nabízet regulační zálohy a jejich cena C_b je nízká. Přeshraniční kapacita mezi zónami není drahá, ale je značně využívána. Platbu za přeshraniční kapacitu si můžeme představit, jako jednotkovou přírážku X . Za předpokladu, že $C_a > X + C_b$ tak má ekonomický smysl zkoumat pro PPS importování do zóny A. Pokud získaný užitek z trhu s regulačními zálohami je vyšší než ztracený užitek na trhu se silovou elektřinou, pak vyčlenění přeshraniční kapacity pro tento trh je validní.

Tato diplomová práce je zaměřená na ztrátu užítku na trhu se silovou elektřinou ve prospěch trhu s regulačními zálohami. Podle vypočítané ztráty užítku se určuje užitek, který musí získat trh s regulačními zálohami $C_a - C_b > X$. V praxi se používá řada zjednodušujících metod k určování tohoto užítku. Snahou této práce je prozkoumat tyto metody a zhodnotit jejich

možné použití. Kromě užitku, práce zkoumá metody alokace přeshraniční kapacity pro trhy. Trh se silovou elektřinou a trh s regulačními zálohami nemusí probíhat ve stejný čas. To značně komplikuje určení užitku obou trhů a následné přerozdělení přeshraniční kapacity. V příští kapitole budou popsány 4 metody, ocenění a alokace přeshraniční kapacity podle nařízení EB GL a dalších zveřejněných materiálů.

3. Metodiky alokace a ocenění přeshraniční kapacity

PPS napříč členskými státy EU jsou postaveny před otázkou jakým způsobem by se měla alokovat přeshraniční kapacita, aby kromě propojených trhů se silovou elektřinou se mohly zapojit trhy s regulačními zálohami na designovaných platformách. Cílem je dosažení rozdělení, které se bude nejvíce a nejčastěji přibližovat optimální variantě. Optimální varianta rozdělení dosahuje maximálního užitku a nediskriminuje žádné hráče na trzích.[4], [24]

V nařízení EB GL jsou předloženy 3 regionální metodiky, kde každá z nich popisuje způsob fungování a vyhodnocování trhů se silovou elektřinou a regulačními zálohami. Kromě těchto 3 metodik existuje čtvrtá metodika, u které se zatím zkoumá její realizovatelnost a přínosnost. Tato čtvrtá metodika je pospána v podkladech od ENTSO-E. [4]

Metodiky se od sebe primárně liší v užitých hodnotách pro vyhodnocení a časování trhů se silovou elektřinou a regulačními zálohami. Hodnoty rozdělujeme na skutečné a predikované. Skutečné hodnoty vychází z výsledku trhu, naproti tomu predikované hodnoty pro trh jsou predikovány na základě různých algoritmů a historických dat. Jelikož trhy s regulačními zálohami a trh se silovou elektřinou nemusí probíhat současně, vzniká pak potřeba predikce výsledků následujícího trhu k spravedlivému rozdělení přeshraniční kapacity. [4]

V této práci se budu zabývat pouze denním trhem pro který budu hodnotit metodiky. V obecnější aplikaci by pak mohlo docházet ke kombinaci metodik a hodnocení i pro další trhy, které nepatří mezi hlavní cíle této práce a zasloužily by si hloubkovou analýzu.

3.1. Co-optimization

Co-optimization je metoda přidělování přeshraniční kapacity mezi trh se silovou elektřinou a trh s regulačními zálohami. Metoda počítá se skutečnými hodnotami a může se využít pro implicitní i explicitní aukce. Systém funguje na principu paralelního průběhu obou trhů. Hodnota přeshraniční kapacity je proto určena tržně a probíhá zohlednění welfare na obou trzích. Metoda je velmi transparentní pro všechny účastníky a nabízí přesné informace pro PPS při nabízení přeshraniční kapacity. Protože metoda pracuje se skutečnými hodnotami, nedochází k žádným predikcím, které by mohly negativně ovlivnit cenu a určení welfare. Na druhé straně se jedná o metodu těžce proveditelnou, obzvláště u implicitních aukcí. Navíc existují limitace v nabízených typech vyrovnávacích produktů a době jejich trvání. Obtíže nastávají i u sbírání nabídek, protože musí probíhat současně. Tato metoda neumožňuje účastnit se obou trhů zároveň ve smyslu, kde by například výrobce nejdříve nabídl silovou elektřinu a v případě neúspěchu by provedl nabídku na trhu s regulačními zálohami. Proveditelnost metody je na evropské úrovni u části subjektů zpochybňována.[4], [22], [25]

- Oba trhy probíhají zároveň a všechny vstupy se vyhodnocují dohromady
- Žádné dilema v přerozdělování kapacity
- Transparentní a férová
- Obtížná a možná i nerealizovatelná implementace

3.2. Market Based

Market Based je metoda přidělování přeshraniční kapacity mezi trhem se silovou elektřinou a trhem s regulačními zálohami. Metoda počítá se skutečnými a predikovanými hodnotami. Ve výpočtech je počítáno se skutečnými hodnotami trhu s regulačními zálohami a predikovanými hodnotami ceny na trhu se silovou elektřinou, ze kterých pak vychází predikce ceny přeshraniční kapacity. [4], [22], [26]

Tato metoda umožňuje vyšší flexibilitu plánování času aukcí trhu s regulačními zálohami nezávisle na alokaci kapacity. Zároveň je umožněno nejprve nabízet produkty na trhu s regulačními zálohami a v případě nesesouhlasení (resp. neúspěchu nabídky) je možné pokračovat na trhu se silovou elektřinou. Jednoduchost a možnost rychlé implementace a

technické proveditelnosti patří mezi silné stránky této metody. Nicméně se tato metoda potýká s vysokou nejistotou predikce, které může potenciálně ovlivnit velké obchodované objemy a způsobovat značné ztráty welfare. Tato metoda rovněž neumožňuje ex post korekce. Nejistota se snižuje úměrně s přibližováním se ke konci obchodování pro daný časový úsek z důvodu zpřesňování predikce a nových vstupních dat. Využití této metody je realizovatelné u krátkodobých aukcí, kde riziko nejistoty predikce je únosné. [4], [22], [26]

Další silnou stránkou metody je, že se prvně vyhodnocuje trh s regulačními zálohami. V opačném případě by mohl nastat, že trh se silovou elektřinou vykoupí veškerou výrobní kapacitu a nebude možné pořídit produkty na trhu s regulačními zálohami. To by mohlo vést ke snížení bezpečnosti energetické soustavy. [4], [22], [26]

Hodnoty trhu se silovou elektřinou se predikují na základě historických hodnot a hodnot získaných od dalších subjektů na trhu.

- Trh s regulačními zálohami probíhá před trhem se silovou elektřinou
- Nabízí možnost účastnit se obou trhů
- Chrání dostupnost přeshraniční kapacity pro trh s regulačními zálohami (nedojde k vykoupení na trhu se silovou elektřinou před trhem s regulačními zálohami)
- Cena přeshraniční kapacity je pro trh s regulačními zálohami predikována
- Metoda je implementovatelná
- U metody se setkáváme s nejistotou u predikce, která může způsobit velké škody na welfare
- Nejistota se snižuje úměrně k přiblížení konci obchodování pro daný časový úsek

3.3. Inverted Market Based

Inverted Market Based je nová metoda, která zatím není zahrnuta v EB GL, ale pouze v návrhu ENTSO-E. Inverted Market Based na rozdíl od Market Based metody pracuje se skutečnými hodnotami z trhu se silovou elektřinou a provádí predikci trhu s regulačními zálohami. Ceny přeshraniční kapacity se predikují na základě skutečných hodnot z trhu se silovou elektřinou a predikovaných hodnot trhu s regulačními zálohami. [26]

Tato metoda se na první pohled zdá správnější z pohledu welfare oproti market based. Nejprve vypořádává větší trh a snižuje případný dopad nejistoty predikovaného trhu. V metodě jsou navíc použity nástroje pro širší práci s kapacitami a různé možnosti řešení dlouhodobých aukcí. [26]

Bohužel nejistota možnosti získání regulačních záloh pro PPS, znamená, že některá PPS tuto metodu kategoricky odmítají.

V roce 2021 navíc došlo k téměř úplnému odklonu od této metody.

- Aplikovatelnost na dlouhodobých a krátkodobých trzích
- Redukce nejistoty v hodnotě welfare
- Nevhodná pro některé PPS
- Nezajišťuje garanci možnosti získání regulačních záloh

3.4. Economic efficiency analysis

Economic efficiency analysis je metoda přidělování přeshraniční kapacity mezi trhem se silovou elektřinou a trhem s regulačními zálohami. U této metody je jedním z hlavních hráčů NRÚ (Národní regulační úřad), který podle návrhu PPS rozhoduje o rozdělení přeshraniční kapacity mezi trhy. [4], [22], [27]

Rozhodování o rozdělení přeshraniční kapacity probíhá dlouho dopředu a každá změna musí být znovu schválena. Tento přístup není zcela vhodný pro dynamické prostředí, jakým je energetický trh. Jelikož PPS vyjednává s NRÚ, může se tato metoda jevit netransparentně. Navíc se jedná o metodu velmi nepřesnou, protože predikuje hodnoty

silového trhu a trhu s regulačními zálohami. Výsledná cena přeshraniční kapacity, tedy vychází pouze z predikovaných hodnot. [4], [22], [27]

Na druhé straně metoda je velmi jednoduchá na implementaci a umožňuje v některých případech zpětné hodnocení a přerozdělení přeshraniční kapacity. Schvalování NRÚ dává metodě vysokou kredibilitu a vysílá jasné investiční a obchodní signály.

Tato metodika je velmi pragmatická a je pravděpodobné, že bude nasazena, jako startovací metodika z důvodu jednoduchosti a bezpečnosti pro trh s regulačními zálohami.

- Jednoduchá metodika
- Silně kontrolována NRÚ
- Bazická metodika (když se nepřijme jiná, bude se používat tato)
- Netransparentní
- Neflexibilní
- Neefektivní

3.5. Zhodnocení metod přerozdělování přeshraniční kapacity

Každá z uvažovaných metodik k přerozdělování přeshraniční kapacity se zaměřuje na určitý aspekt, nebo trh. V případě metodik pracujících se skutečnými hodnotami je kladen důraz na přesnost ceny, ale jejich výpočetní náročnost a proveditelnost je nezdědká zpochybňována. U metodik pracujících s predikovanými hodnotami je možnost flexibilnějšího přístupu na úkor přesnosti, která je přímo ovlivněna nejistotami predikce. Se zkracujícím se obchodním oknem se zvedá přesnost predikce, a proto tyto metodiky jsou vhodné zejména na krátkodobé trhy. V následující tabulce je přehled metod a hodnot s kterými pracují.

Tabulka 2 Porovnání typů hodnot u metod

Metoda přístupu	Hodnota z trhu s regulačními zálohami	Hodnota z trhu se silovou elektřinou	Hodnota přeshraniční kapacity	Možný čas rezervování přeshraniční kapacity pro regulační rezervy
Co- Optimization	Skutečná hodnota (*)	Skutečná hodnota	Skutečná tržní hodnota	Běžná alokace kapacity a získávání regulačních rezerv probíhá paralelně
Market Based Reservation	Skutečná hodnota (*)	Predikovaná hodnota	Predikovaná tržní hodnota	Při získávání regulačních rezerv
Economic Efficiency Analysis	Predikovaná hodnota (*)	Predikovaná hodnota	Predikovaná tržní hodnota	Kdykoliv
Inverted Market Based	Predikovaná hodnota (*)	Skutečná hodnota	Predikovaná tržní hodnota	Při běžné alokaci kapacity
(*) Hodnota pro vyrovnávací trh by měla být považována za nejlepší hodnocení social welfare, který může být získat z dostupných dat při aplikaci metody				

Pro porovnání metod přístupu jsem vytvořil *Tabulka 3*, kde jsem stanovil na základě dostupných informací hodnocení metod. Použil jsem tři hodnotící stupně: *nizká*, *střední*, *vysoká*. Stupeň *nizká* znamená u kritérií, že daná metoda velmi špatně vyhodnocuje dané kritérium, nebo vlastnost. Například pro případ *nizké* proveditelnosti to znamená, že metoda je obtížně proveditelná, ba dokonce neproveditelná. Stupeň *střední* u metody přístupu značí, že kritérium, popřípadě vlastnost je splněna v rámci mezí, nejedná se o optimální řešení. Poslední stupeň *vysoká*, udává vysokou míru správnosti dodržení kritéria, popřípadě vlastnosti.

Nejlépe hodnocenou metodou vyšla Co-optimization s vysokou transparentností a správností výsledků pro trh, kterého dosahuje eliminováním predikce hodnot. Hodnota přeshraniční kapacity čistě vychází ze skutečných hodnot. Realizovatelnost metody je problematická a je pravděpodobné, že nebude používána. Nejhůře hodnocenou metodou je Economic Efficiency Analysis, která kromě jednoduché proveditelnosti neposkytuje požadované vlastnosti.

Tabulka 3 Porovnání vlastností u metod

Metoda přístupu	Proveditelnost	Transparentnost	Správnost výsledků pro krátkodobé trhy	Správnost výsledků pro dlouhodobé trhy
Co- Optimization	nízká	vysoká	vysoká	vysoká
Market Based	vysoká	střední	vysoká	nízká
Economic Efficiency Analysis	vysoká	nízká	nízká	nízká
Inverted Market Based	střední	střední	střední	střední
* Hodnocení kritérií 3 stupni - nízká, střední, vysoká				

V přehledu vedlejších důležitých tržních parametrů v *Tabulka 4* stojí za povšimnutí vlastnost metody ochránit trh s regulačními zálohami, před úplným vykoupením výrobní kapacity na trhu se silovou elektřinou. V případě výkupu celé výrobní kapacity vzniká nejistota pro PPS, kteří musejí pořídit regulační zálohy. Právě u Inverted Market Based metody se setkáváme s tímto problémem. Důvodem je, že první probíhá trh se silovou elektřinou. Trh se silovou elektřinou je násobně větší a může dojít k získání veškeré přeshraniční kapacity tímto trhem, předtím, než může proběhnout trh s regulačními zálohami. Dále je z tabulky patrné, že při používání predikovaných hodnot pak nelze stanovit skutečná hodnota přeshraniční kapacity.

Tabulka 4 Porovnání tržních parametrů u metod

Metoda přístupu	Ochrana dostupnosti regulačních záloh pro PPS	Skutečná hodnota přeshraniční kapacity	Použití predikovaných hodnot
Co- Optimization	Ano	Ano	Ne
Market Based	Ano	Ne	Ano
Economic Efficiency Analysis	Ano	Ne	Ano
Inverted Market Based	Ne	Ne	Ano

Na základě předchozích hodnocení jsem došel k závěru, že je možné vybírat reálně mezi metodikami Market based a Economic efficiency analysis. Economic efficiency analysis a její použití je horší než Market Based pro zkoumaný denní trh. Proto tato diplomová práce bude ve výpočetní části využívat pouze metodiku Market based.

4. Způsoby ocenění užitku pro energetické trhy

V této kapitole popíšu, jakým způsobem se přistupuje k oceňování přeshraniční kapacity a užitků vznikajících na energetických trzích. Existuje řada metod, jak se užitek definuje a počítá. Přístup k užitku a jeho zkoumání je hlavní částí diplomové práce. Cílem je dosažení optimálního rozdělení přeshraniční kapacity mezi trhy, aby se absolutní hodnota marginální změny užitku obou trhů rovnala.

V diplomové práci pracuji s market based metodou na denním trhu. U market based metody je nejprve odhadnuta hodnota kapacit pro trh se silovou elektřinou. Odhadem vznikají predikované veličiny (výsledky trhu), které pak soutěží o přeshraniční kapacitu s reálnými bídou trhu s regulačními zálohami. Hlavním cílem je zhodnotit metody odhadu vlivu na trh.

V denní praxi bude nutné vyhodnotit, kolik by přibylo užitku pro trh se silovou elektřinou, pokud by se kapacita nepřidělila regulačním zálohám, ale zůstala by pro trh se silovou elektřinou. Tento ušlý užitek by měl být generován v trhu s regulačními zálohami, aby vyjmutí kapacity z trhu se silovou elektřinou a její přidělení pro trh s regulačními zálohami bylo ekonomicky efektivní.

K ohodnocení vlivů na trhy je možné použít některý z těchto přístupů: market spread, stínová cena (shadow price) a užitek (welfare). Cílem je mít co nejjednodušší přístup -> tj. ideálně jedno číslo, které se zohlední v rámci trhu s regulačními zálohami.

Používané postup stanovení hodnoty přeshraniční kapacity

Market spread

Hodnota kapacity se stanoví jako market spread v odhadovaném tržním bodě redukované domény a vynásobí se vyjmutou kapacitou.

Shadow price

Hodnota kapacity se stanoví podle PTDF matice, shadow price v redukované doméně a vynásobí se vyjmutou kapacitou.

Oba tyto přístupy předpokládají lineární průběh dané veličiny.

V této práci budu zkoumat následující:

1. Zda se tyto veličiny chovají lineárně a lze použít tento zjednodušený přístup.
2. Zda tyto veličiny reprezentují správně změnu užitku.

4.1. Market spread

Market spread neboli metoda cenových rozdílů je nejjednodušší metodou používána pro stanovování hodnoty přeshraniční kapacity. Tato metoda pouze zohledňuje příjmy z přetížení. V této metodě se pracuje s cenami silové elektřiny v jednotlivých zónách.

Například pokud budeme mít zónu A a B, kde v zóně A bude cena $C_A=50\text{Eur/MWh}$ a v zóně B bude cena $C_B=70\text{Eur/MWh}$. Můžeme stanovit hodnotu market spread jako $MS=C_B-C_A=20\text{Eur/MWh}$. Právě zde můžeme identifikovat první z problémů této metody.

Velmi často se u této metody setkáme se zjednodušením ve formě linearizace. Linearizace se projevuje tak, že MS jednotkovou cenou násobíme příslušné množství. Tento přístup by byl správný, pokud by platil předpoklad, že marginální cena přeshraniční kapacity v celém rozsahu bude vždy stejná. Ověření tohoto předpokladu můžeme provést v simulaci.

Ve vyhodnocení simulace bude provedeno porovnání linearizovaného market spread a market spread každého řezu provedeného v simulaci. Pokud se projeví předpoklad, že marginální cena přeshraniční kapacity je různá v intervalu celkové kapacity, mělo by platit, že křivky linearizovaného a market spreadu a křivky market spreadu vytvořeného na základě řezů ze simulace se budou lišit.

Výhody metody:

- Snadný výpočet užitku
- Transparentní metoda

Nevýhody metody:

- Zohledňuje pouze výnos z přetížení, nikoliv celý welfare

4.2. Stínová cena

Stínovou cenou měří mezní ekonomický efekt vyvolaný jednotkovou změnou nabídky (resp. poptávky) daného statku, tj. nedostatkové přeshraniční kapacity. [28]

U metody pracující se stínovými cenami dochází k přiřazování stínové ceny k limitujícímu prvku v soustavě. Rozšířením tohoto prvku o jednu jednotku by pak došlo k uvolnění části trhu a mohl by vzniknout užitek rovnající se stínové ceně.

Pro správné aplikování stínové ceny bude postupovat u simulace následujícím způsobem. V simulaci bude uvažováno, že dochází k rozšiřování domény. To znamená, že předem vyjmutá kapacita pro trh s regulačními zálohami se bude vracet do trhu se silovou elektřinou. V tomto případě nám hodnota stínové ceny bude udávat užitek, který bychom získali zvýšením limitující kapacity o 1 MW. Tento užitek však musíme násobit PTDF koeficienty, protože námi přidaná přeshraniční kapacita se neprojevuje v celé míře na limitujícím prvku.

Ve vyhodnocení simulace bude obdobně provedené porovnání křivek, jako u market spread. Simulací budeme zároveň ověřovat, jestli se bude měnit limitující prvek. U limitujícího prvku je zkoumána změna hodnoty stínové ceny v řezech. Jelikož stínová cena a její stanovení se velmi přibližuje metodám stanovení welfare, bude provedeno porovnání a okomentování výsledků.

Výhody metody:

- Odhad změny welfare

Nevýhody metody:

- Počítá přínos právě pro změnu o jednu jednotku
- Netransparentní (neveřejné)
- Nutné přepočítat přes PTDF dopad na danou hranici

4.3. Srovnání metod

Srovnání metod je provedeno pomocí simulace. Užitek získaný metodami Market Spread a stínové ceny porovnáám mezi sebou a s dopadem na welfare, který pro účel této práce budu považovat za skutečný užitek. Výchozím stavem je redukováná doména, ke které se postupně přidává přeshraniční kapacity. Přidávání probíhá po určitém množství (kroku) dokud není dosaženo nezredukované domény. Tento přístup je zvolen, aby bylo možné správně a jednoduše aplikovat stínovou cenu.

Pro každý krok je vytvořena simulace a spočítány výsledky trhu spolu s měřenými ukazateli. První a poslední měření je použito pro vytvoření linearizovaných křivek. Další křivky jsou vytvořeny z řezů. U Market Spread a stínové ceny jsem provedl analýzu křivek mezi sebou. Další srovnání jsem provedl mezi křivkami složenými z řezů.

Ve srovnání se snažím potvrdit nebo vyvrátit následující hypotézy:

1. U metod MS a SP se liší od sebe krajní linearizované křivky, pokud stínová je nenulová, alespoň v jednom řezu
2. Průběh křivek vytvořených z řezů nemá lineární charakter v celém rozsahu
3. Stínová cena je přesnější metrika, než market spread

4.4. Simulace

FB výpočet a přidělování kapacit, znamená, že vyjmutí kapacity pro jednu hranici, kde probíhá propojený trh s regulačními zálohami ovlivní kapacity v celém regionu pro výpočet kapacit.

V této práci budu simulovat zjednodušený příklad, kdy budu uvažovat propojení pouze dvou trhů s regulačními zálohami přes jednu hranici nabídkových zón.

Pro účely simulace budu uvažovat, že se vyjme max cca 10 % přiděleného toku (5 % obchodního toku) – hodnotu 10 % určím jako 10 % z dnešních NTC hodnot. Hodnoty NTC jsou dostupné na stránkách². V metodice FB nelze totiž jednoduše určit, co znamená

² <https://www.ote-cr.cz/cs/kratkodobe-trhy/elektrina/multi-regional-coupling>

vyjmutí určitého množství přeshraniční kapacity, protože FB metoda se počítá podle FB domény a jejich prvků.

Vyjmutí kapacity pro trh s RZ provedu jako redukci FB domény přes PTDF koeficienty.

Výše zmíněný problém budu simulovat následovně:

- Simulace výsledku trhu s elektřinou v EU pro situaci, kdy je FB doména snížena o maximální kapacitu určenou pro trh s regulačními zálohami -> výchozí bod.
 - V tomto bodě odečtu jak hodnoty market spread, stínových cen, tak i social welfare, přebytky a výnos z přetížení
- Simulace výsledku trhu s elektřinou pro jednotlivé řezy, kdy snižuji kapacitu pro trh s regulačními zálohami a tuto kapacitu přiděluji trhu s elektřinou. Tyto řezy provádím až do doby, kdy pro trh s regulačními kapacitami nezbyde žádná kapacita, ta je využita pouze pro trh se silovou elektřinou – tj., jako by neexistoval trh s RZ
 - Řezy jsou od sebe o předem definovaný krok (celková odebraná kapacita dělená počtem měření)

Na základě těchto simulací získám tyto datové řady pro každý řez

- Market spread na dané hranici
- Stínové ceny
- Social welfare
- Výnos z přetížení
- Consumer surplus
- Producer surplus

Simulátor je založen na skutečných datech (z paralelního běhu Core Flow-based výpočtu kapacity) a skutečných nabídkových křivkách využívá algoritmus Euphemia, který se používá pro propojování denního trhu s elektřinou v EU.

Pro účely simulace se předpokládá princip ceteris paribus, tj. že se účastníci trhu s elektřinou chovají stejně pro všechny simulované stavy.

4.4.1. Euphemia

Euphemia je akronym pro Pan-European Hybrid Electricity Market Integration Algorithm. Algoritmus vycházející z požadavku projektu PCR (Price Coupling of Regions) na vytvoření algoritmu, řešící problémy spojené s propojováním denních energetických trhů v PCR oblasti. Cílem algoritmu je maximalizovat social welfare. Zároveň je vyžadována schopnost zvládat jednoduché, ale i složitější typy příkazů spolu se všemi jejich požadavky a omezeními denního trhu s elektřinou v EU. Při užívání algoritmu se rovněž používá časové omezení, kdy se bere nejlepší výsledek, ke kterému výpočetní zařízení došlo. V simulačním nástroji a v praxi je omezení na najetí nejlepší varianty 17 minut.[29]

5. Provedení simulace

Pro provedení simulace jsem si zvolil den 12. září 2021. K měření jsem mohl vybrat jen z omezeného rozsahu dní, kvůli dostupnosti dat na Simulation Facility. Z rozsahu jsem vybral den 12. 9. 2021, protože prošel kontrolním výpočtem na Simulaton Facility. V tomto dni provádím úpravu přeshraniční kapacity na česko-německém profilu. Časová perioda je jedna hodina a já se rozhodl simulovat změnu přeshraniční kapacity v hodinách:

- 1) H8 7:00-8:00
- 2) H9 8:00-9:00
- 3) H18 17:00-18:00
- 4) H19 18:00-19:00

Výběr upravovaných hodin jsem provedl na základě analýzy výsledků původního trhu pro den 12. 9. 2021. Jedná se výběr hodin obsahující špičkové a nešpičkové zatížení sítě. Zatížení sítě má velký vliv na ceny na trhu s energiemi, a proto zde vidím zajímavý testovací potenciál pro účely této práce.

Simulaci jsem prováděl na celém vybraném dni, protože se jedná o nejkratší časový úsek, který je schopen Simulation facility řešit. Zároveň jsem nechtěl provádět výpočty pro delší časovou periodu, protože jsem byl upozorněn kolegy z ČEPS, že pak může dojít k selhání výpočtu Simulation Facility.

U stanovení míry vyčlenění přeshraniční kapacity jsem postupoval dle EB GL a ve výchozím bodu jsem vyčlenil okolo 5 % přeshraniční kapacity, které odpovídají přibližně 10 % přiděleného toku na profilu CZ-DE v obou směrech. Maximální vyčleněná kapacita byla 160MW, protože celková kapacita se pohybovala okolo 3 200 MW.

5.1. Simulation Facility

Simulation Facility je nástroj PPS pro testování řady stavů energetické soustavy. Jedná se o nástroj v režimu tajném s velmi omezeným přístupem. Z těchto důvodů je část použitých dat anonymizována, zejména se jedná o prvky v síti.

Simulation Facility má přístup k řadě veřejných a neveřejných dat z energetických burz a PpS. V Simulatoin Facility je možné nahrávat vlastní typy dat. Této možnosti jsem využíval pro tuto práci.

5.2. Popis postupu provedení měření

5.2.1. Výchozí bod

Nejprve jsem zajistil potřebné soubory k provedení simulace. Jednalo se o hodinové soubory s modelem celé energetické soustavy s pracovním označením F316 a soubor F271 se speciálními omezujícími podmínkami některých PPS. Popis pracovních souborů viz. *Kapitola 5.2.3.*

Získané soubory bylo nutné upravit do speciálního tvaru. Pro tuto úpravu jsem naprogramoval script v python, který automatizoval proces. Skript mimo jiné je schopen upravovat přeshraniční kapacitu v profilech s definovaným krokem a počtem provedených simulací. O skriptu více v dodatku A.

Z neupravených souborů F316 jsem pomocí scriptu vytvořil PTDF soubor vhodný pro Simulation Facility. Dále jsem upravil poskytnutým nástrojem soubor F271 do speciálních omezení, která se vyskytují v Polsku a Belgii. Omezující soubory byly rovněž nahrány do Simulation Facility.

Ostatní parametry jsem nemusel upravovat, nebo jsem pouze vybíral správné nastavení. Výběry byly konány ve spolupráci Ing. Michala Němého, jako jednoho z hlavních expertů na Simulation Facility v ČEPS.

Po kontrole jsem spustil Simulatoin Facility, která po 17 minutách poskytla výsledky trhu. Výsledky byly v nepříznivém tvaru, a proto jsem je rovněž musel upravit do korektního tvaru pro vyhodnocení. Zde jsem upravil neveřejný vyhodnocovací script, který mi byl poskytnut k získání hodnot výsledků trhu. Hodnoty jsem zapsal do databáze, jako výchozí bod.

5.2.2. Kroková simulace

K vytvoření simulací, které se od sebe liší o určitou hodnotu v obousměrném profilu CZ-DE, jsem vytvořil automatizační script. Automatizační script přepisuje hodnotu RAM u každého podle PTDF koeficientů ve vybraných hodinových souborech. Hodnota RAM se přepisuje dle vztahu:

$$RAM_{nová} = RAM_{původní} - X * ABS(PTDF CZ - PTDF DE)$$

X odebírané množství na profilu

ABS() absolutní hodnota čísel

PTDF CZ PTDF koeficient prvku pro Česko

PTDF DE PTDF koeficient prvku pro Německo

Po přepsání hodnoty RAM a uložení upravených hodinových souborů načte script všech 24 hodinových souborů. Je provedena selekce prvků, jestli se jedná o CNEC prvky. Po menších operačních úpravách vygeneruje script 3 soubory: Header, Constraints, Factor potřebných pro Simulation Facility. Proces se opakuje do doby, než proběhne zadaný počet simulací. Proměnná v simulacích je hodnota X, která se mění se zadaným krokem, např. 4MW.

Vygenerované soubory jsem manuálně nahrál do Simulation Facility. V Simulation Facility jsem manuálně nastavoval a spouštěl každou simulaci. Výsledky simulace po provedeném výpočtu jsou staženy ze serveru. Výsledky simulace zpracovávám do potřebné formy a zaznamenávám do databáze.

5.2.3. Popis použitých souborů

V souboru 316 jsou zaznamenány hodinové parametry prvků, jako například:

- F_max– maximální zatížení prvku
- RAM- zbývající kapacita prvku
- Contingency- provázání prvků
- PTDF koeficienty

Mezi prvky se rovněž nachází uměle vytvořené prvky reprezentující stav podle kritéria N-1. Každý prvek je hodnocen, jestli se jedná o CNEC, kritický prvek sítě. Contingency jsou data k určení vazeb mezi prvky. Tento parametr je využíván například u kritéria N-1. Ke zpracování jsem použil vlastní script, dodatek A.

V souboru F271 jsou speciální omezující parametry. Některé PPS, jako například Polsko mají vytvořené speciální bariery u přístupu k jejich přeshraniční kapacitě. Soubor F271 byl upraven modifikovaným nástrojem dostupný pro PPS.

5.3. Výsledky simulace

Z každé simulace vznikla řada souborů s výsledky. Pro přehlednost a zpracování byla zkoumaná data vykopírována do databáze pro další zpracování. Databáze je součástí příloh, příloha B. Výsledky byly zpracovány do grafů a pomocných tabulek. Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, je postupováno z výchozího bodu. Výchozí bod je bod s maximem odebrané přeshraniční kapacity pro trh s regulačními zálohami. Od výchozího bodu postupně přidávám krokem 4 MW kapacitu, až do 160 MW, kdy už není pro trh s regulačními zálohami vyčleněná žádná přeshraniční kapacita.

5.3.1. Výsledky Market spread

Získaných hodnot Market Spread ze simulací jsem zpracoval do grafů. V grafech používám absolutní hodnoty Market spread. Při vyjímání přeshraniční kapacity omezují kapacitu pro oba směry, a tudíž mě z pohledu úbytku užitku zajímá pouze absolutní hodnota.

V *Graf 2* jsou zobrazeny průběhy 4 zkoumaných hodin. Z grafu jsem vyčetl následující:

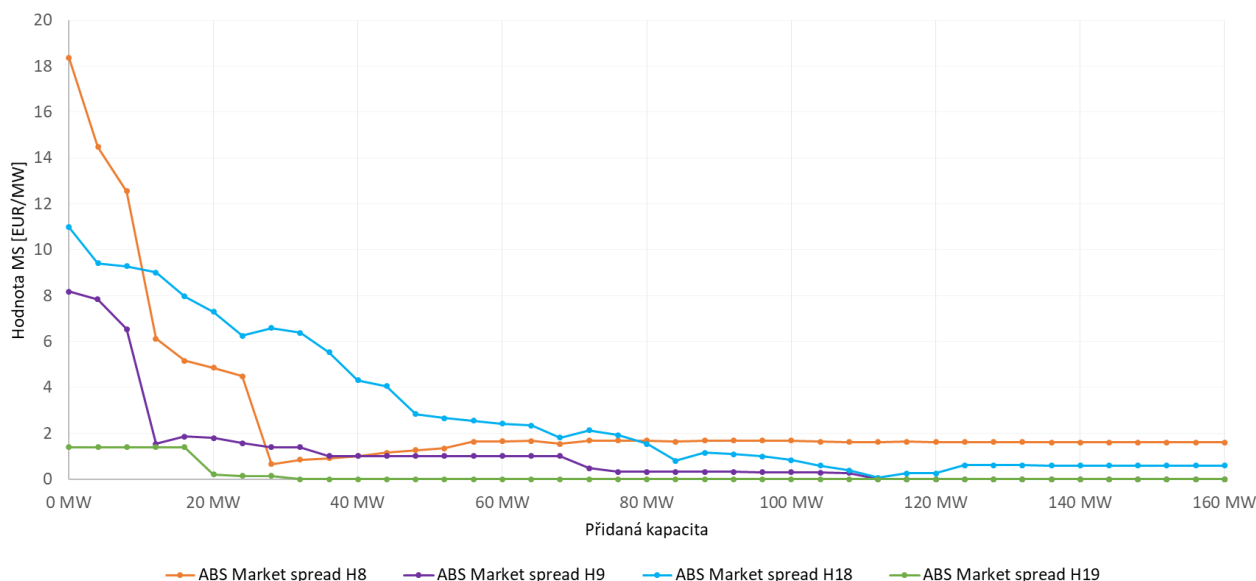
- U všech zkoumaných hodin došlo k ustálení hodnoty MS a další přidávání přeshraniční kapacity výrazně neměnilo hodnotu MS
- Největší výkyvy byly u hodin H8 H9 H17
- Ustálení hodnoty MS neproběhlo ve stejných bodech a hodnotách
- Hodnoty MS ve výchozích bodech mezi hodinami se liší až o cca. 18 EUR
- Křivky nejsou lineární v celém rozsahu
- Změny hodnoty MS (delta MS) také nejsou lineární

Z grafu můžeme tedy vyvodit, že průběhy market spread se u různých hodin ve stejném dni liší. Hodnoty MS mezi hodinami jsou značně odlišné. Žádná z vytvořených křivek neměla lineární průběh v celém rozsahu. Linearity MS se dosáhlo, až po v určitém kroku. Některé hodiny se ustálily na hodnotě $MS=0$ u těchto hodin pravděpodobně došlo k uspokojení trhu se silovou elektřinou a další přeshraniční kapacita nebyla potřebná.

Případy, kdy se hodnota MS ustálila na $MS \neq 0$ indikují, že zde existuje stále využití pro přeshraniční kapacitu.

U většiny křivek neplatí předpoklad monotonie. Rozdílnost výkyvů a průběhu je navázána na tržní bidy a omezující podmínky.

Porovnání hodnot Market Spread v řezech pro všechny sledované hodiny



Graf 2 Porovnání MS v řezech pro všechny hodiny

V samotných hodinách budu také zkoumat kumulativní užitek, který definuji, jako:

Výpočetní vztah kumulativního užitku:

$$Užitek_1 = krok * MS_1 = 0$$

$$Užitek_x = Užitek_{x-1} + krok * MS_x$$

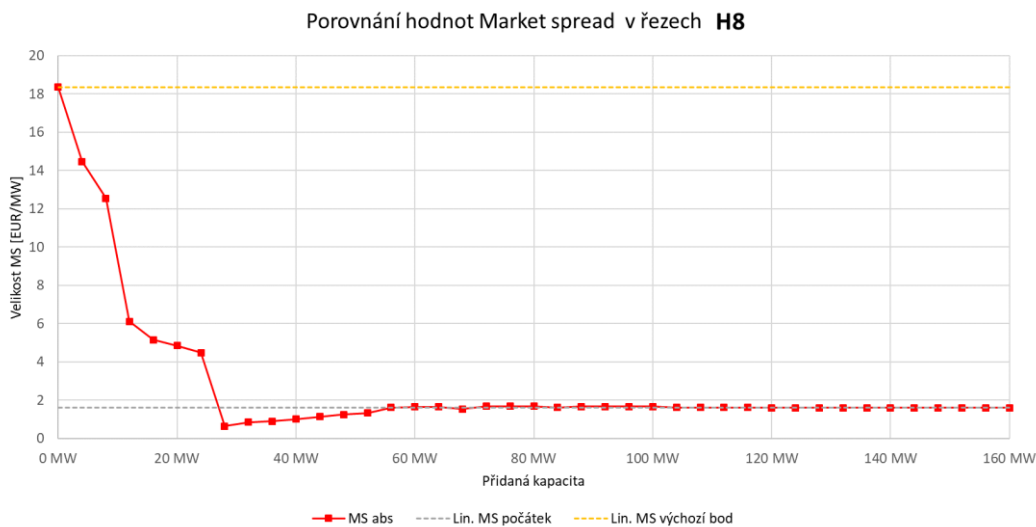
5.3.1.1. Výsledky Market Spread H8

U každé hodiny jsem vytvořil 3 grafy. Na prvním grafu je křivka vývoje absolutní hodnoty MS a křivky linearizovaných krajních bodů. Krajními body jsou výchozí bod. Výchozí bod je bod, ve kterém nebyla přidána přeshraniční kapacita. Bod počátek je bod, kde bylo přidáno 160 MW přenosové kapacity.

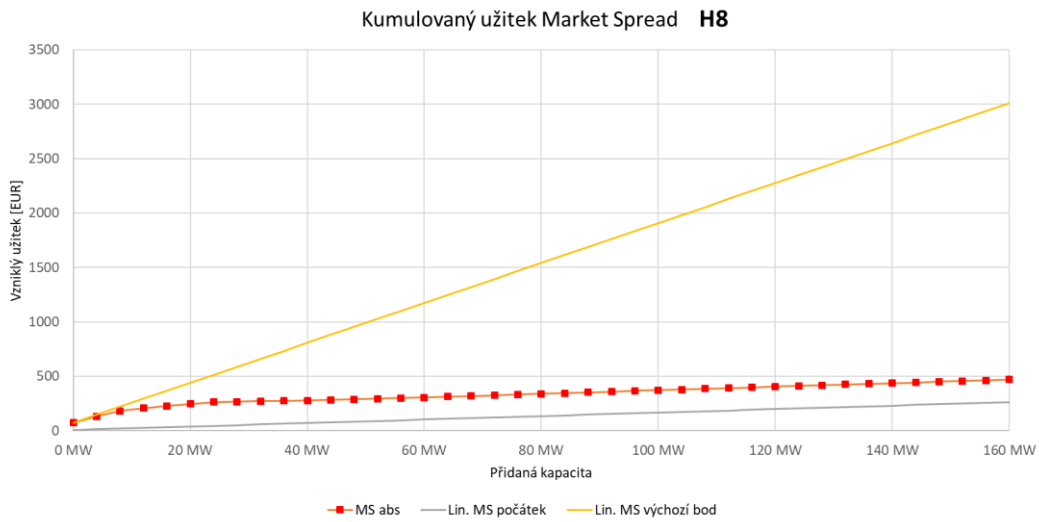
Ve třetí grafu je zkoumaná citlivost linearizace na zvolení kapacity. Linearizované hodnoty MS jsou od sebe posunuty o 20 MW. Linearizace křivky probíhá vždy od určitého bodu. Například u křivky *Kumul.lin 100 MW*, je křivka totožná s křivkou abs MS do přidání kapacity 100 MW, poté je u křivky lineární růst podle MS v bodě 100 MW. Tento graf slouží k prozkoumání vlivu výběru bodu linearizace křivky a možné dopady na hodnocení užitku. Křivky jsou označeny následujícím způsobem *Kumul.lin XXX MW*, kde XXX je množství přidané kapacity.

U hodiny H8 pozorují na vytvořených grafech následující skutečnosti:

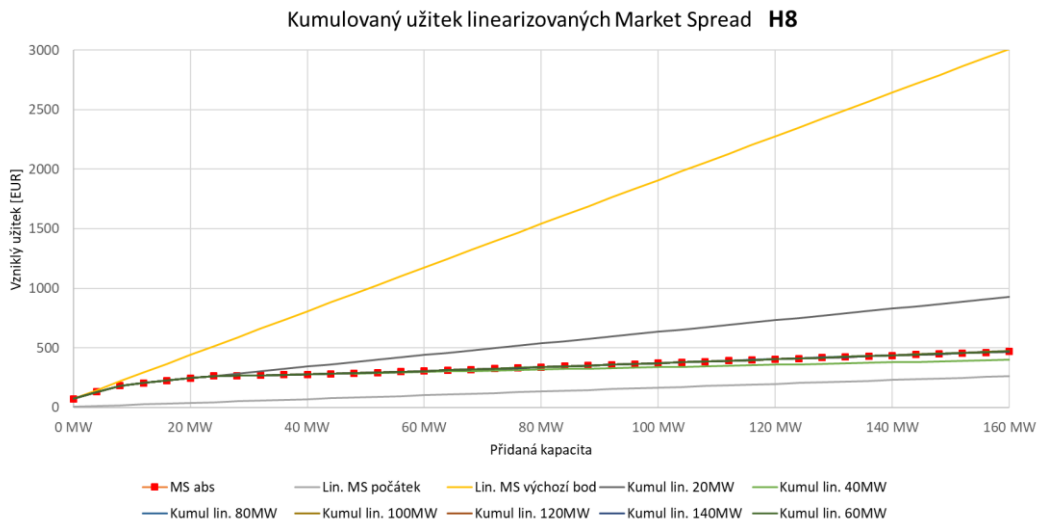
- Průběh MS a delta MS nejsou lineární v celém rozsahu (Graf 3)
- Vývoj abs MS není monotónní (Graf 3)
- Je zde velký rozdíl mezi linearizovanými křivkami cca 16 EUR/MW (Graf 3)
- V určitých bodech je hodnota křivky MS nižší než lin. MS počátek (Graf 3)
- Vypočítané užítky se řádově liší (Graf 4)
- V rozsahu přidávání kapacity 0-20 MW dochází k největší změně MS (Graf 3)
- Velký vliv na užitek linearizace má výběr bodu, ze kterého je provedena (Graf 5)



Graf 3 Porovnání vývoje MS s linearizovanými hodnotami H8



Graf 4 Porovnání vývoje kumulovaného užitku pro abs MS a linearizované krajní hodnoty H8

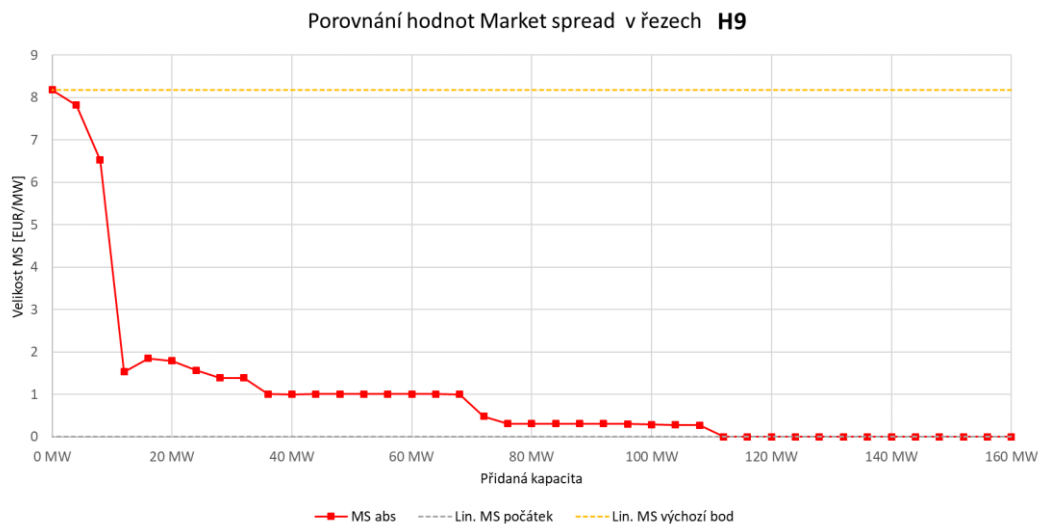


Graf 5 Zkoumání citlivosti linearizace na množství kapacity H8

5.3.1.2. Výsledky Market Spread H9

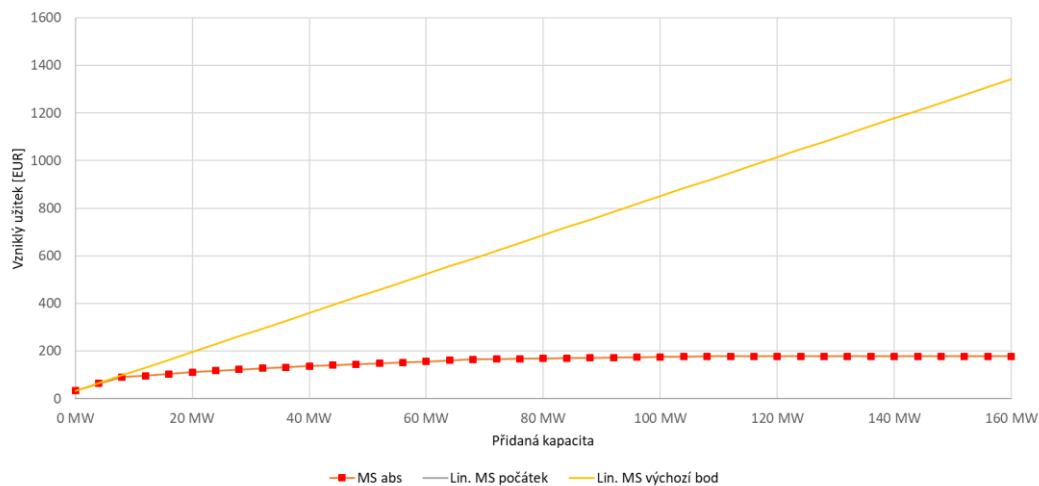
U hodiny H9 pozorují na vytvořených grafech následující skutečnosti:

- Na rozdíl od hodiny H8 v hodině H9 pozorujeme jiný průběh abs MS (Graf 6)
- Hodnota MS se ustaluje na hodnotě 0 (Graf 6)
- Je zde velký výkyv abs MS v okolí výchozího bodu (Graf 6)
- Abs MS je pouze místy lineární (Graf 6)
- Vývoj křivky abs MS není monotónní (Graf 6)
- Lin. MS počátek je v celém rozsahu nulová (Graf 6)
- Je zde velký rozdíl mezi linearizovanými křivkami cca 8 EUR/MW (Graf 6)
- Užitek linearizací u křivky lin. MS počátek je v celém rozsahu 0 (Graf 7)
- Křivky kumulovaného užitku abs MS a krajních hodnot se značně liší (Graf 7)
- U křivky abs MS dojde k ustálení užitku (užitek dále neroste) (Graf 7)
- Většina linearizovaný křivek užitku se neliší od abs MS z důvodu ustálení abs hodnoty MS (Graf 8)



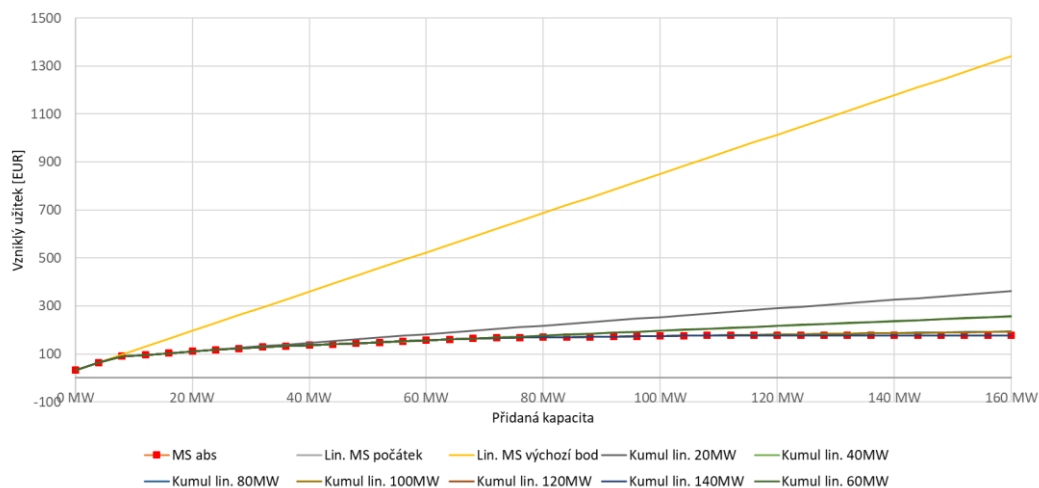
Graf 6 Porovnání vývoje MS s linearizovanými hodnotami H9

Kumulovaný užitek Market Spread H9



Graf 7 Porovnání vývoje kumulovaného užitku pro abs MS a linearizované krajní křivky H9

Kumulovaný užitek linearizovaných Market Spread H9

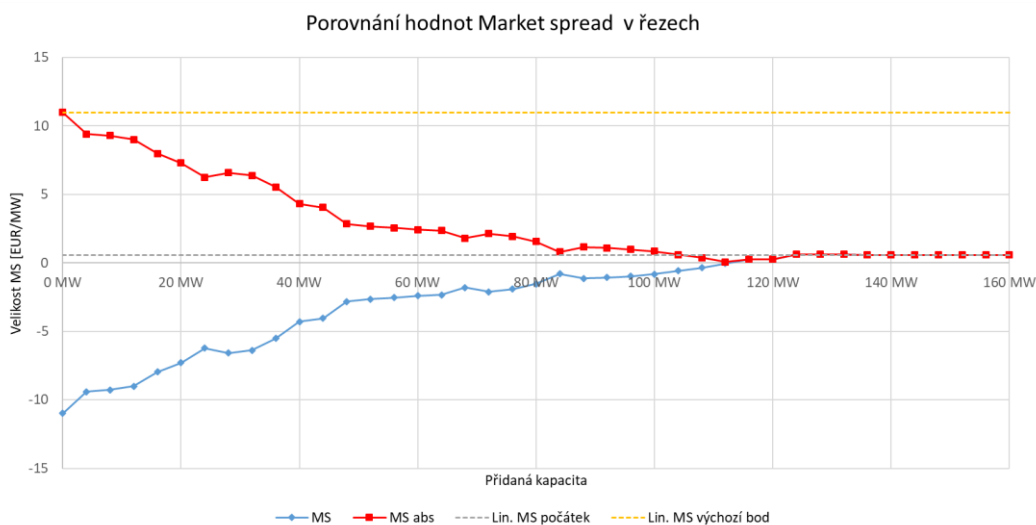


Graf 8 Zkoumání citlivosti linearizace na množství kapacity H9

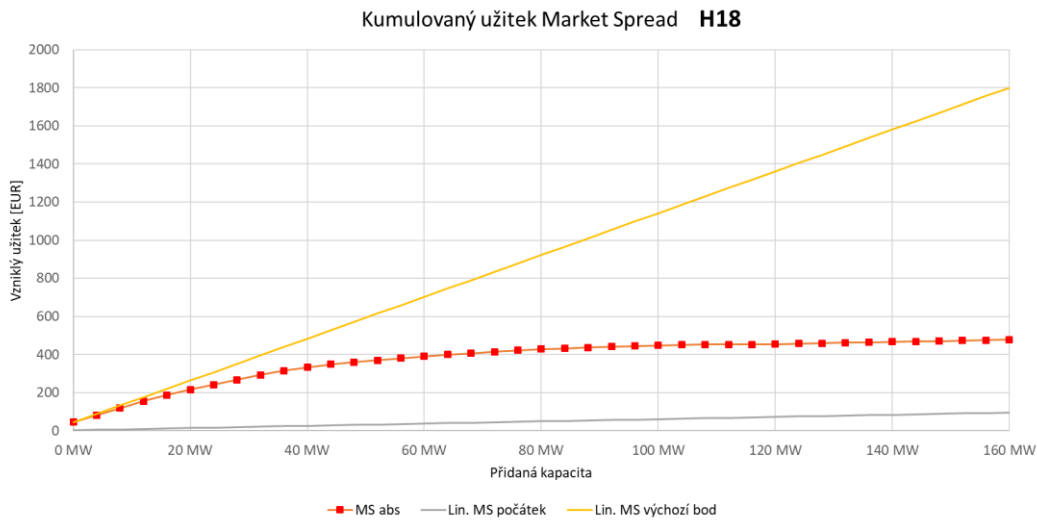
5.3.1.3. Výsledky Market Spread H18

U hodiny H18 pozorují na vytvořených grafech následující skutečnosti:

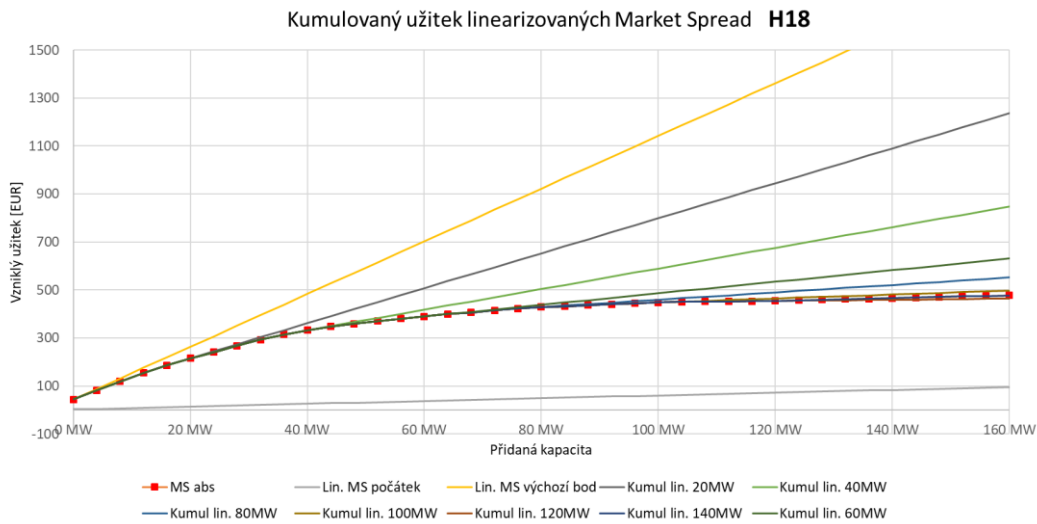
- Oproti ostatním hodinám je H18 speciální v tom, že dojde ke změně znaménka MS přidáváním kapacity (Graf 9)
 - Tento jev indikuje změnu obchodního směru
 - Nemá vliv na hodnotu užitku, protože se počítá s absolutními hodnotami
- Pozdější ustálení hodnoty MS, než u předchozích hodin (Graf 9)
- MS abs je pouze místy lineární (Graf 9)
- Vývoj křivky abs MS není monotónní (Graf 9)
- Je zde velký rozdíl mezi linearizovanými křivkami cca 9 EUR/MW (Graf 9)
 - Pokud nebyla použita abs hodnota rozdíl by dosahoval 11 EUR/MW
- U křivek kumulovaného užitku je stále velký rozdíl mezi křivkami (Graf 10)
- U (Graf 11) je vidět odlišný vliv linearizace od předchozích hodin
 - Z grafu je vidět, že s rostoucí velikostí intervalu linearizace vzniká pro tuto hodinu vyšší odchýlení od kumulovaného užitku abs MS
 - Projevuje se zde pozdější ustálení hodnoty MS



Graf 9 Porovnání vývoje MS s linearizovanými hodnotami H18



Graf 10 Porovnání vývoje kumulovaného užítku pro abs MS a linearizované krajní křivky H18

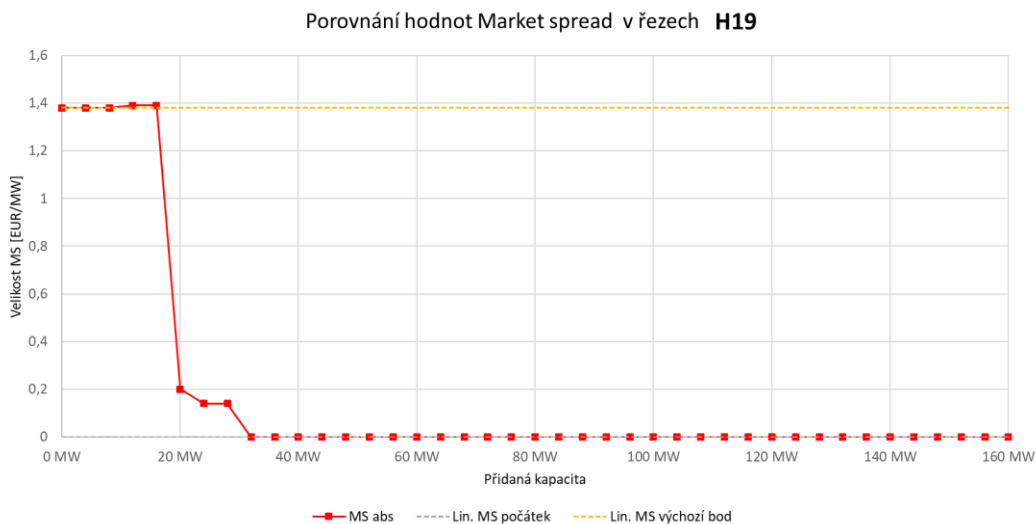


Graf 11 Zkoumání citlivosti linearizace na množství kapacity H18

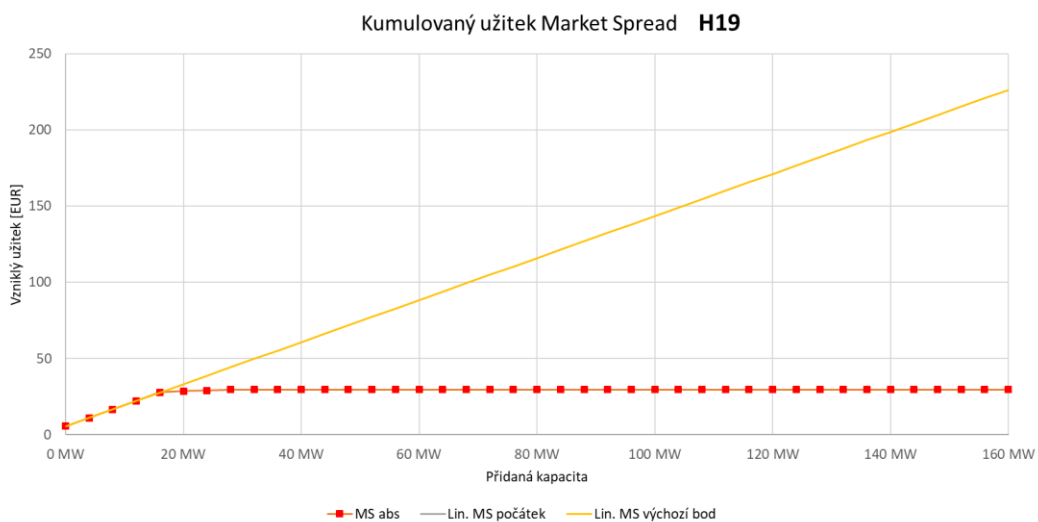
5.3.1.4. Výsledky Market Spread H19

U hodiny H19 pozorují na vytvořených grafech následující skutečnosti:

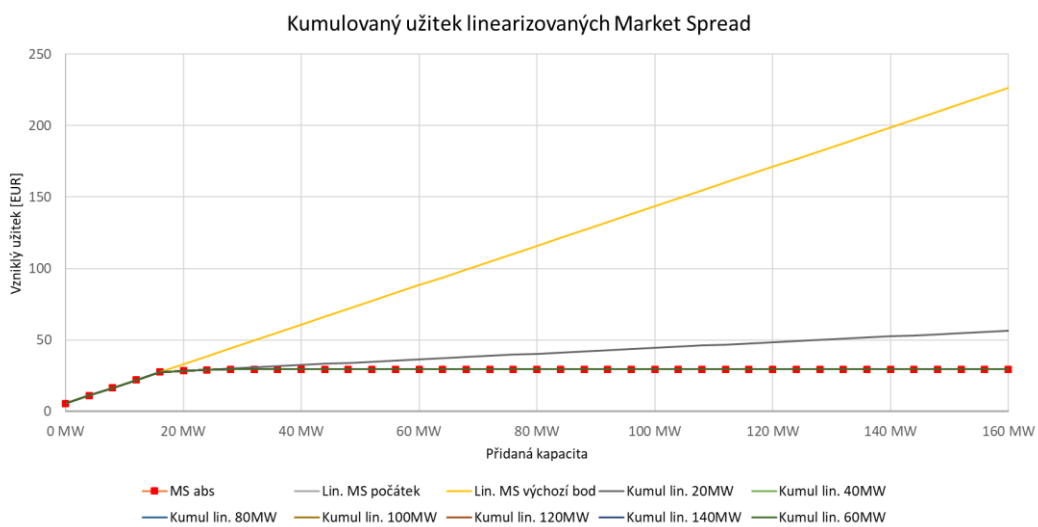
- Podobá se pozorovanými jevy H9 (Graf 6, Graf 12)
- Skokové změny MS (Graf 12)
- Hodnota MS se ustaluje na hodnotě 0 (Graf 12)
 - Nejrychleji ze všech zkoumaných hodin
- Abs MS je pouze místy lineární (Graf 12)
- Vývoj křivky abs MS není monotónní (Graf 12)
- Hodnota lin. MS počátek je v celém rozsahu nulová (Graf 12)
- Užitek linearizací u křivky lin. MS počátek je v celém rozsahu 0 (Graf 13)
- Křivky kumulovaného užitku abs MS a krajních hodnot se značně liší
- U křivky abs MS dojde k ustálení užitku (užitek dále neroste)
- Většina linearizovaných křivek užitku se neliší od abs MS z důvodu nízké změny hodnoty MS ve většině rozsahu (Graf 14)



Graf 12 Porovnání vývoje MS s linearizovanými hodnotami H19



Graf 13 Porovnání vývoje kumulovaného užtku pro abs MS a linearizované krajní křivky H19



Graf 14 Zkoumání citlivosti linearizace na množství kapacity H19

5.3.1.5. Zhodnocení výsledků Market Spread

Při zkoumání získaných hodnot Market Spread ze simulace a vytvořených grafů jsem došel k těmto závěrům.

Vývoj průběhu MS při přidávání přeshraniční kapacity se značně liší. U některých hodin dochází k rychlému ustálení hodnoty MS, například H19. Ustálené hodnoty MS, nejsou vždy stejné. Ustálenou hodnotou MS může být jak nula, tak i jiné nenulové číslo. Každá zkoumaná hodina měla vlastní atypický tvar křivky MS.

Hlavním důvodem pro rozdílnost křivek a jejich chování je rozdílnost bidů v hodinách a mění se tržní potřeba přeshraniční kapacity.

U křivek zkoumaných hodnot jsem pozoroval pouze částečnou linearizaci a dokonce žádná z křivek nebyla monotónní. Toto pozorování nám potvrzuje předpoklad, že křivky nemusí být vždy monotónní v reálném světě (*kapitoly 2.3.*). Zároveň potvrzujeme hypotézu nelinearity průběhu křivek (*kapitoly 4.3.*).

Při porovnávání grafů s vzniklým užitekem, je patrné, že použití výchozího bodu a bodu počátku pravděpodobně není dobrou metodou k výpočtu vzniklého užitku. Důvodem je špatná reakce linearizovaných průběhů na změny v hodnotě MS. Linearizaci je možné použít v omezené míře při konstantních hodnotách MS, jak je vidět na grafech linearizovaných křivek. Nelze však z toho vyvodit obecné pravidlo.

5.3.2. Výsledky stínových cen

Provedení hodnocení u stínové ceny bylo stejné, jako u MS. Výjimku tvořil další krok, ve kterém se stínová cena vynásobila vlivem, jakým působí na FB doménu. Tento vliv byl stanoven na základě PTDF koeficientů. Důvodem přidání toho kroku je, že získaná stínové ceny ze simulací udává užitek, který by vznikl posílením prvku o 1 MW. To se neslučuje s naším přístupem, kde kapacitu prvku zvedáme pouze o koeficient PTDF vynásobený zvoleným krokem. Upravenou hodnotu stínové ceny označuji v práci jako modifikovanou stínovou cenu.

V Graf 15 jsou zobrazeny průběhy 4 zkoumaných hodin. Z grafu jsem vyčetl následující:

- U všech zkoumaných hodin došlo k ustálení hodnoty SP a další přidávání přeshraniční kapacity výrazně neměnilo hodnotu SP
- Ustálení hodnoty SP neproběhlo ve stejných bodech
- Největší výkyvy byly u hodin H8 H9 H17
- Hodnoty SP ve výchozích bodech mezi hodinami se liší až o cca. 13 EUR
- Křivky nejsou lineární v celém rozsahu
- Křivky grafu se tvarově podobají křivkám grafu MS (Graf 2, Graf 15)

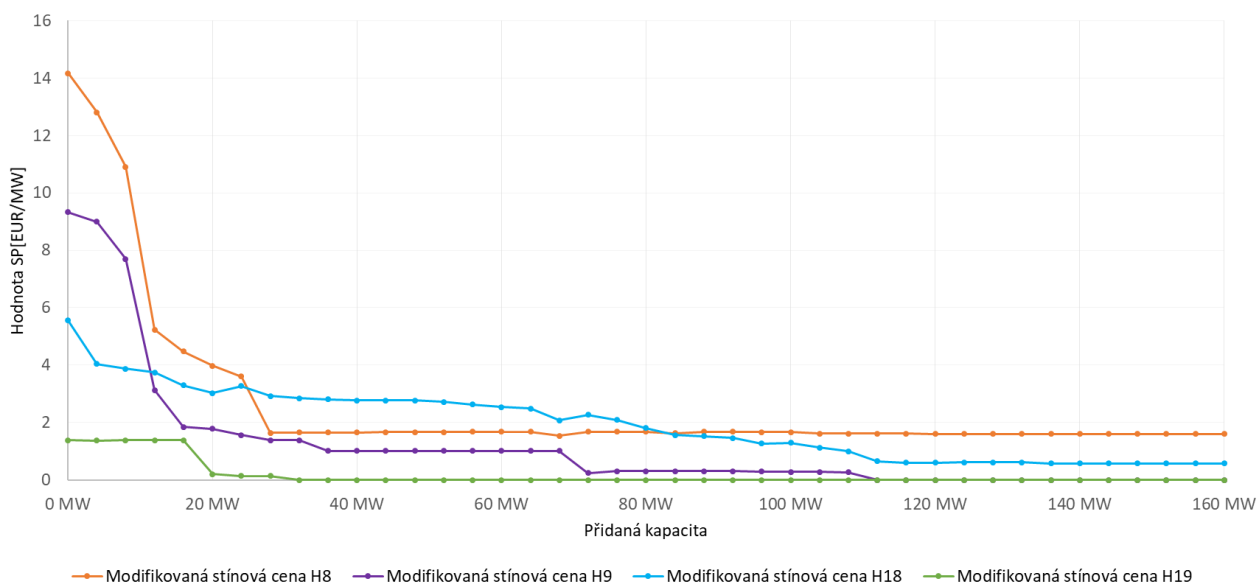
Z grafu můžeme tedy vyvodit, že průběhy stínové ceny se u různých hodin ve stejném dni liší. Žádná z vytvořených křivek neměla lineární průběh v celém rozsahu. Linearity SP se dosáhlo, až v určitém kroku. Některé hodiny se ustálily na hodnotě $SP=0$ u těchto hodin pravděpodobně došlo k uspokojení trhu se silovou elektřinou a další přeshraniční kapacita nebyla potřebná.

Případy, kdy se hodnota SP ustálila na $SP \neq 0$ indikují, že zde existuje stále využití pro přeshraniční kapacitu.

U většiny křivek neplatí předpoklad monotonie. Rozdílnost výkyvů a průběhu je navázána na tržní bidy a omezující podmínky

Vztah pro kumulativní účinek bude stejný, až na záměnu MS za modifikovanou SP.

Porovnání hodnot modifikovaných stínových cen v řezech pro všechny sledované hodiny



Graf 15 Porovnání SP v řezech pro všechny hodiny

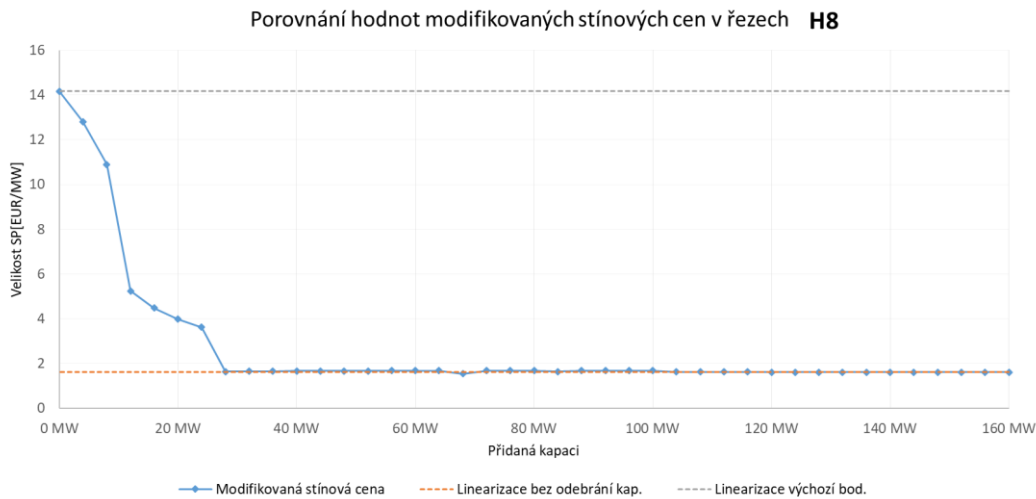
5.3.2.1. Výsledky stínových cen H8

Při analyzování grafů jsem narazil na zajímavý úkaz podobnosti průběhu křivek MS a SP, proto jsem se rozhodl při vyhodnocování SP k lehce odlišnému přístupu hodnocení. U každé zkoumané hodiny jsem vytvořil 2 grafy. Na prvním grafu je křivka vývoje hodnoty SP a křivky linearizovaných krajních bodů. Krajními body jsou výchozí bod. Výchozí bod je bod, ve kterém nebyla přidána přeshraniční kapacita. Bod počátek je bod, kde bylo přidáno 160 MW přenosové kapacity.

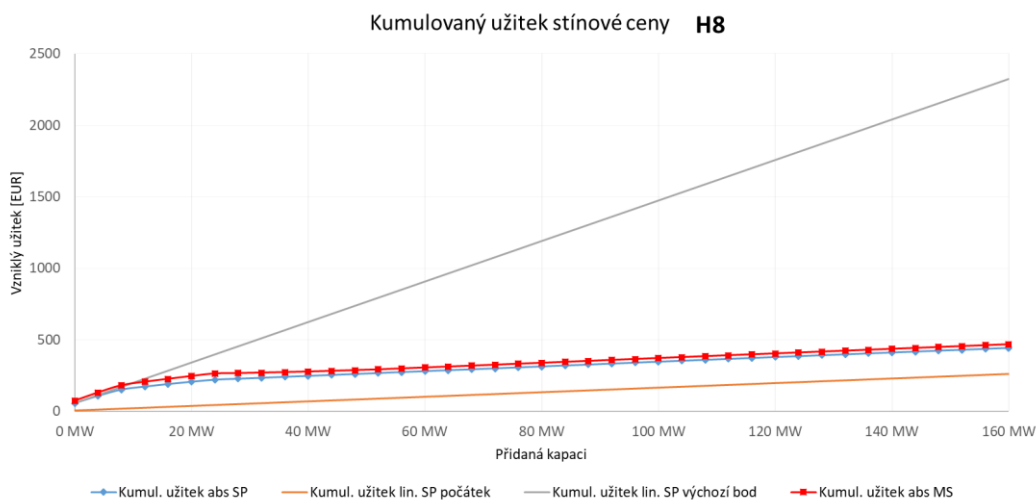
Ve druhém typu grafu analyzuji kumulaci vzniklého užitku. Oproti grafům MS jsou součástí grafu, jak křivky SP tak křivka abs MS pro porovnání vzniklých užitků.

U hodiny H8 pozorují na vytvořených grafech následující skutečnosti:

- Průběh SP není lineární v celém rozsahu (Graf 16)
- Vývoj SP není monotónní (Graf 16)
- Rychlé ustálení hodnoty SP (Graf 16)
- Je zde velký rozdíl mezi linearizovanými křivkami cca 12 EUR/MW (Graf 16)
- Kumulované užítky linearizovaných průběhu a průběhu SP se řádově liší (Graf 17)
- Křivky užítku SP a MS jsou téměř totožné (Graf 17)



Graf 16 Porovnání vývoje SP s linearizovanými hodnotami H8

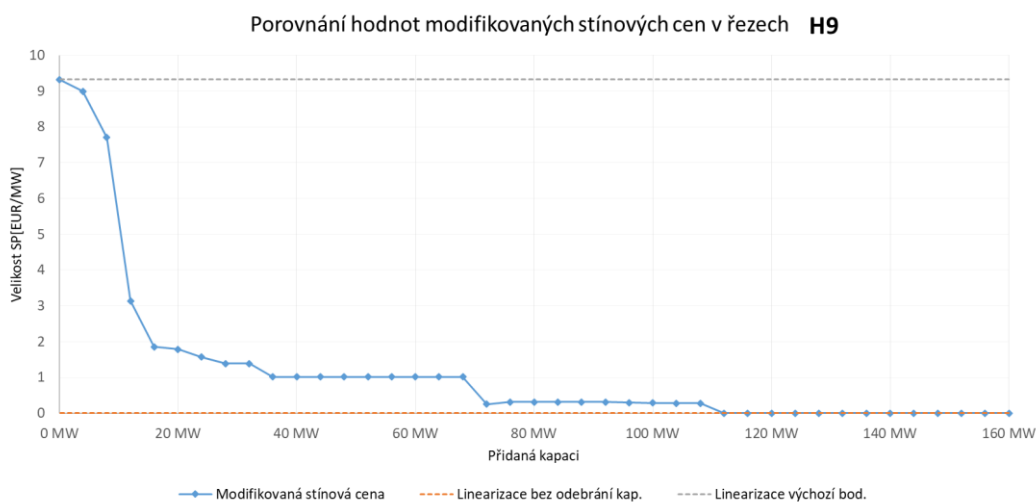


Graf 17 Porovnání vývoje kumulovaného užítku pro SP a linearizované krajní křivky spolu s křivkou abs MS H8

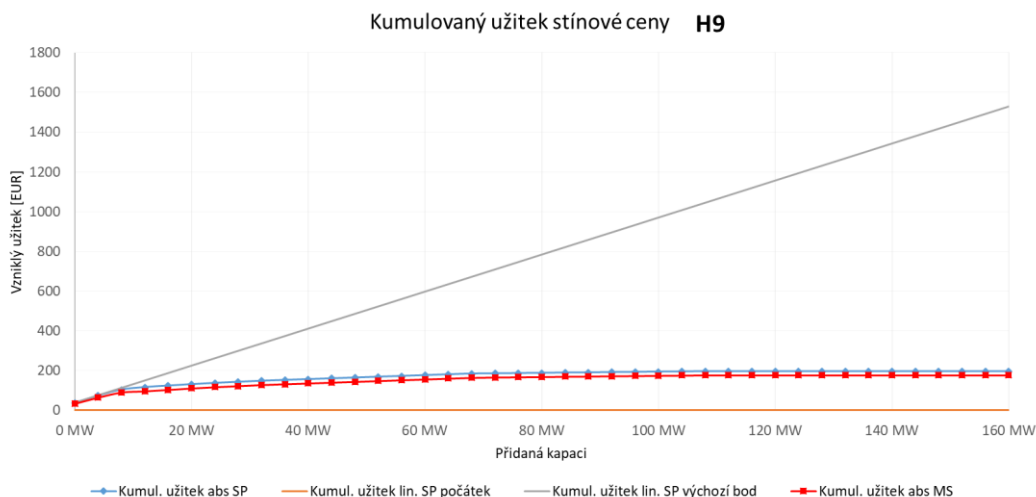
5.3.2.2. Výsledky stínových cen H9

U hodiny H9 pozorují na vytvořených grafech následující skutečnosti:

- Na rozdíl od hodiny H8 v hodině H9 pozorujeme jiný průběh SP (Graf 18)
- Hodnota SP se ustaluje na hodnotě 0 (Graf 18)
- Je zde velký výkyv SP v okolí výchozího bodu (Graf 18)
- SP je pouze místy lineární (Graf 18)
- Vývoj křivky SP není monotónní (Graf 18)
- Lin. SP počátek je v celém rozsahu nulová (Graf 18)
- Je zde velký rozdíl mezi linearizovanými křivkami cca 9,5EUR/MW (Graf 18)
- Užitek linearizací u křivky lin.SP počátek je v celém rozsahu 0 (Graf 19)
- Křivky kumulovaného užitku SP a krajních hodnot se značně liší (Graf 19)
- U křivky SP dojde k ustálení užitku (užitek dále neroste) (Graf 19)
- Křivky užitku SP a MS jsou téměř totožné (Graf 19)



Graf 18 Porovnání vývoje SP s linearizovanými hodnotami H9

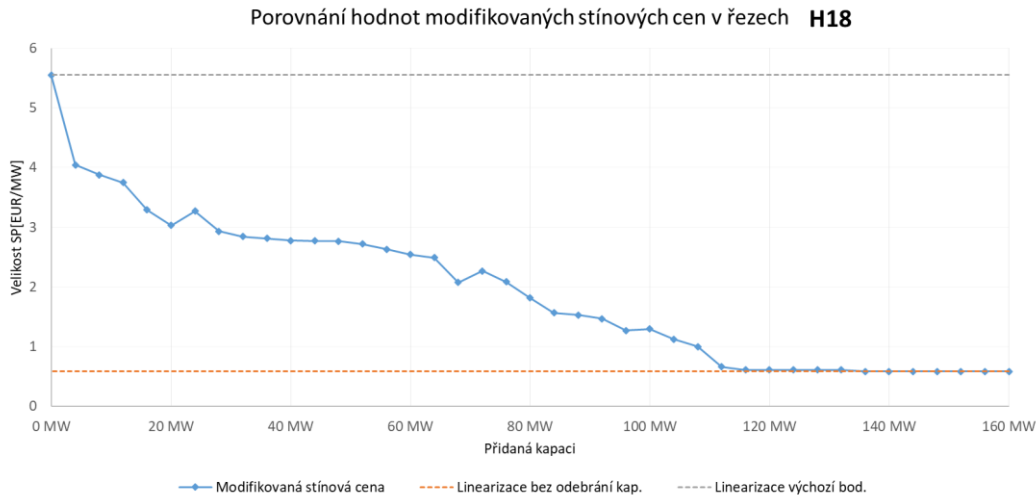


Graf 19 Porovnání vývoje kumulovaného užitku pro SP a linearizované krajní křivky spolu s křivkou abs MS H9

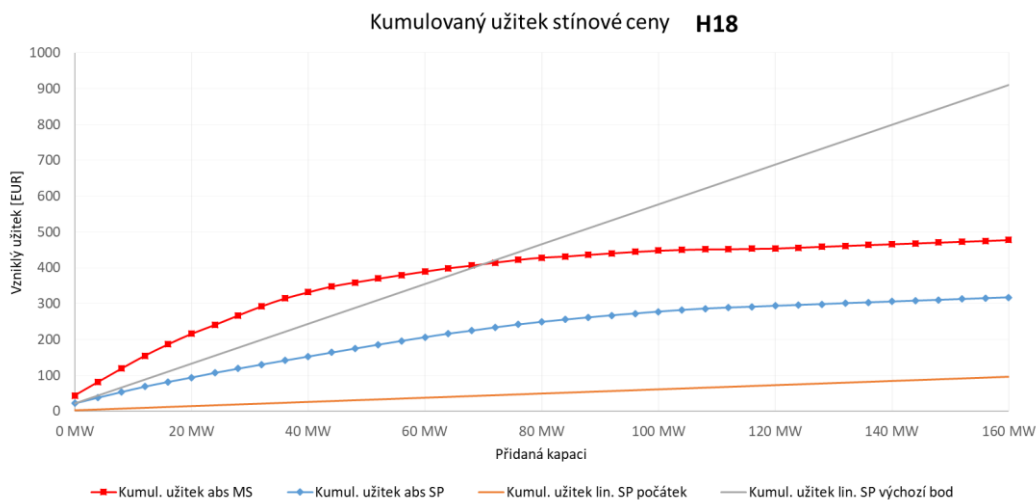
5.3.2.3. Výsledky stínových cen H18

U hodiny H18 pozorují na vytvořených grafech následující skutečnosti:

- Pozdější ustálení hodnoty SP, než u předchozích hodin (Graf 20)
- SP je pouze místy lineární (Graf 20)
- Vývoj křivky SP není monotónní (Graf 20)
- Je zde rozdíl mezi linearizovanými křivkami cca 5 EUR/MW (Graf 20)
- U křivek kumulovaného užitku je stále velký rozdíl mezi křivkami (Graf 21)
- Křivky užitky SP a MS jsou tvarově velmi podobné, ale kumulovaný užitek MS je o polovinu větší (Graf 21)



Graf 20 Porovnání vývoje SP s linearizovanými hodnotami H18



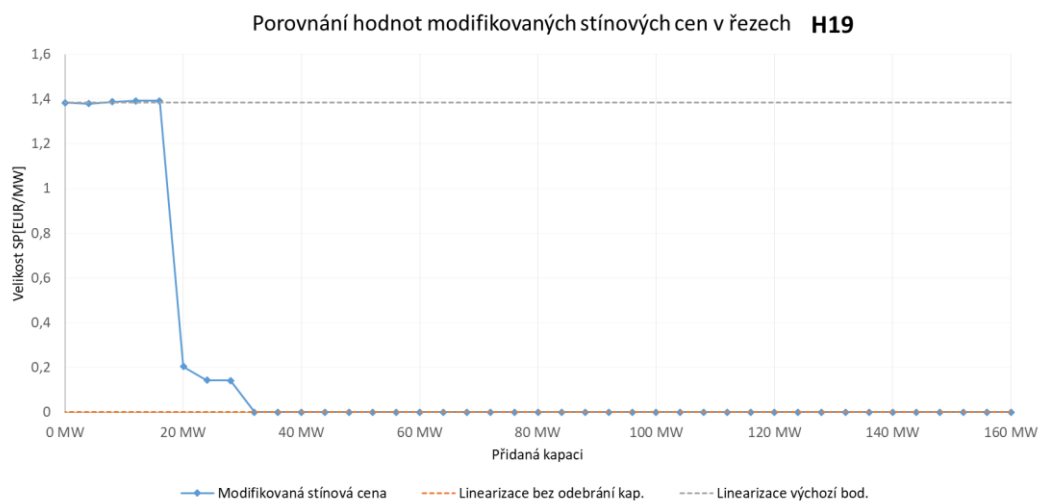
Graf 21 Porovnání vývoje kumulovaného užítku pro SP a linearizované krajní křivky spolu s křivkou abs MS H18

5.3.2.4. Výsledky stínových cen H19

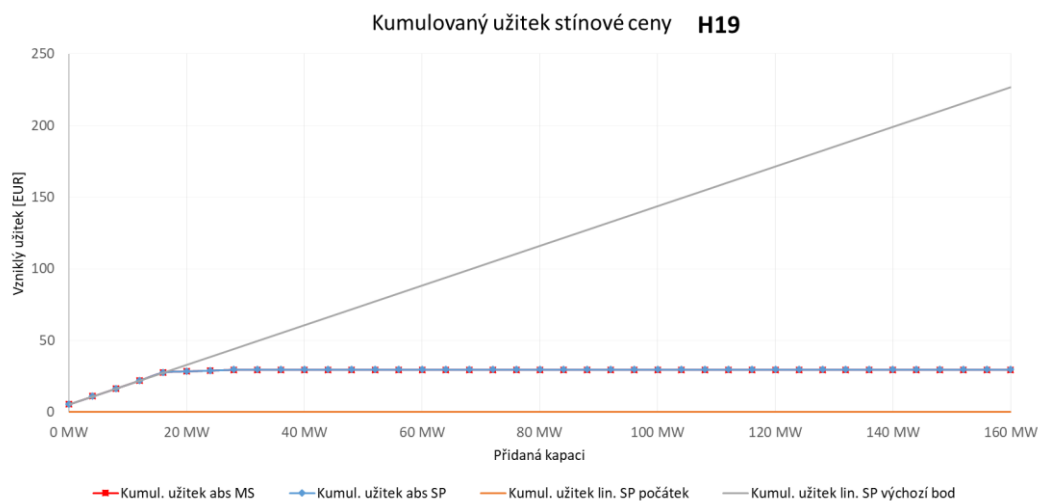
U hodiny H19 pozorují na vytvořených grafech následující skutečnosti:

- Podobá se pozorovanými jevy H9 (Graf 18, Graf 22)
- Skokové změny SP (Graf 22)
- Hodnota SP se ustaluje na hodnotě 0 (Graf 22)
- SP je pouze místy lineární (Graf 22)
- Vývoj křivky SP není monotónní (Graf 22)

- Hodnota lin. SP počátek je v celém rozsahu nulová (Graf 22)
- Užitek linearizací u křivky lin.SP počátek je v celém rozsahu 0 (Graf 22)
- Křivky kumulovaného užítku SP a krajních hodnot se značně liší (Graf 23)
- U křivky SP dojde k ustálení užítku (užitek dále neroste) (Graf 23)
- Křivky užítku SP a MS jsou totožné (Graf 23)



Graf 22 Porovnání vývoje SP s linearizovanými hodnotami H19



Graf 23 Porovnání vývoje kumulovaného užítku pro SP a linearizované krajní křivky spolu s křivkou abs MS H19

5.3.2.5. Zhodnocení výsledků stínové ceny

Při zkoumání hodnot modifikovaných stínových cen a vytvořených grafů jsem došel k těmto závěrům.

Průběhy hodin modifikovaných SP se mezi sebou liší. U průběhu lze pozorovat, že jsou nemonotónní a nejsou lineární v celém rozsahu. Proto bych nedoporučoval používat linearizaci křivek. Jelikož nelze bez hlubšího zkoumání chování trhu určit, kdy začíná a končí lineární část křivky. Simulací jsem potvrdil hypotézu, že křivka není v celém rozsahu lineární, viz. kapitola 4.3. .

Dále jsem vypožoroval zajímavý jev, kdy průběhy a tvary křivek modifikovaných SP jsou velmi podobné průběhům MS. Tento jev nebyl očekáván, protože podle teorie se předpokládá, že SP zohledňuje více faktorů ovlivňující hodnotu užitku. Potvrdil se však předpoklad, že pokud je hodnota $MS=0$ tak pak platí, že $SP=0$.

Kumulační křivky užitku byly téměř totožné, jen u H18 se křivka MS výrazněji lišila v hodnotách kumulativního užitku, avšak tvar křivka byl pořád podobný křivce SP.

Linearizace křivek SP vedla k obdobným nepřesnostem jako linearizace křivek MS.

5.4. Výsledky Social Welfare

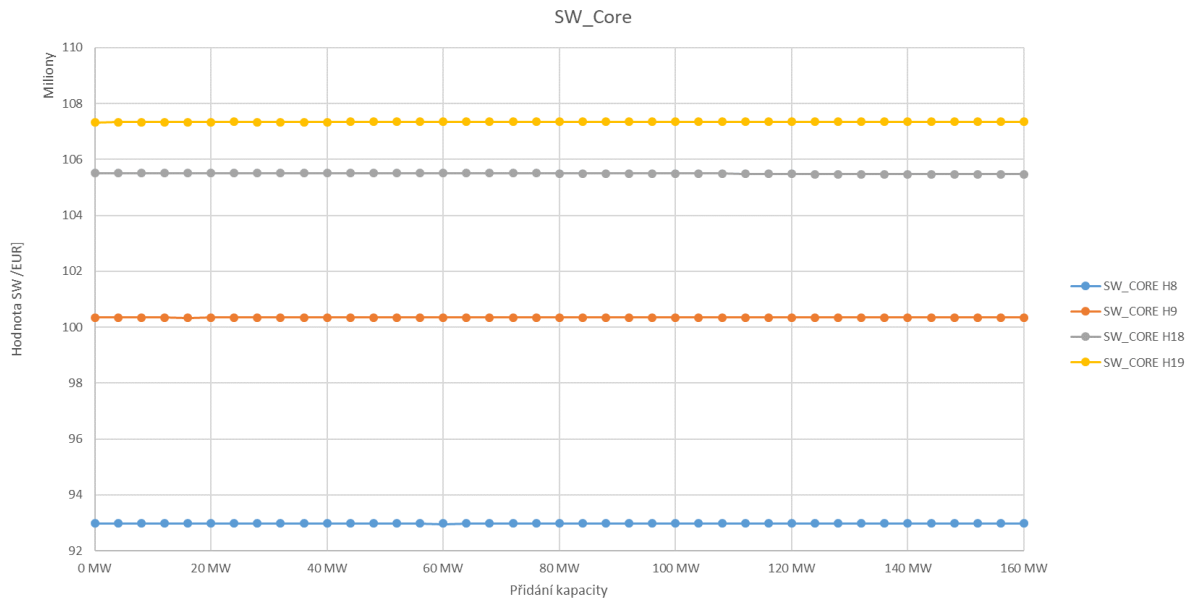
Původně bylo zamýšleno porovnávat křivky SP a MS s křivkou delty SW, ale po vizualizaci grafu SW a delty SW, který ukazoval rozporuplné hodnoty, jsem se rozhodl provést analýzu SW. Problém v hodnotách SW je, že v poměrně velkém počtu řezů přidáním přeshraniční kapacity trhu dojde ke snížení SW v regionu CORE. Vzniká tedy rozpor s teoretickým předpokládaným vývoje SW. Předpokládalo se, že přidáváním přeshraniční kapacity SW se bude zvětšovat, nebo bude mít stejnou hodnotu.

Kdyby došlo pouze k malému poklesu pro určitý interval, dal by se zde uvažovat vliv blokových bidů z jiných hodin, ale jelikož pozorujeme toto nestálé chování napříč všemi pozorovanými hodinami, jedná se o patrně jiný vliv.

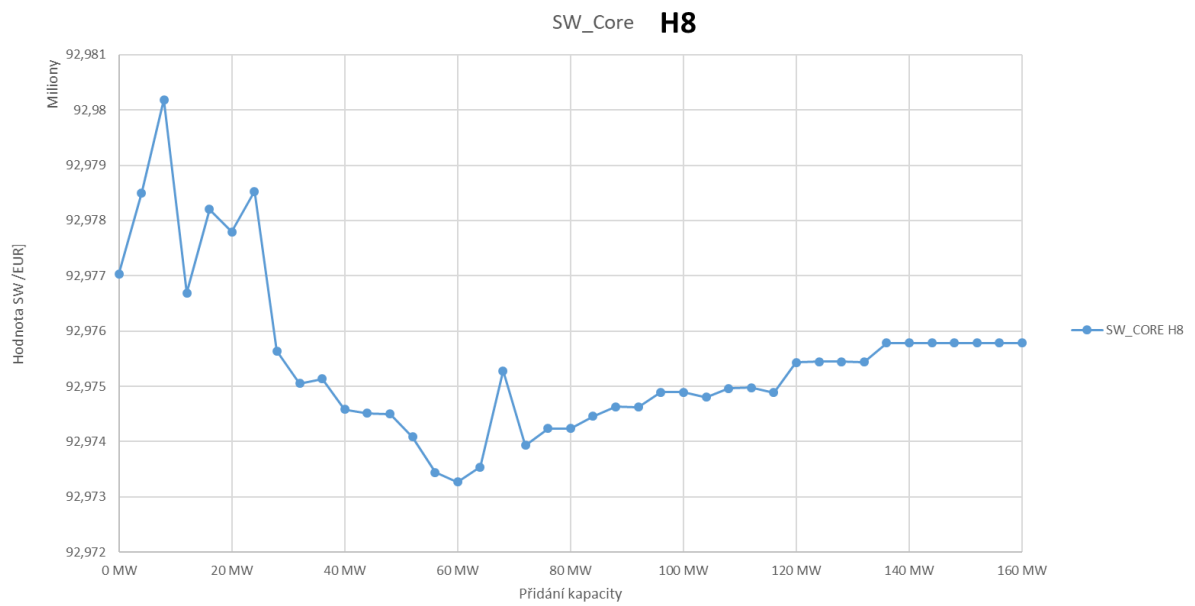
Z (Graf 24) je zřejmé, že každá ze zkoumaných hodin má různý SW, rozdíly SW mezi hodinami dosahují až skoro 20 %. Poměrný pokles SW je nepatrný (Graf 24) z důvodu, že se jedná o celý region CORE a v simulaci je manipulována pouze jedna hranice v omezeném množství. Je proto nutné analyzovat každou hodinu na vlastním grafu a s posunutým začátkem osy y.

Na první pohled grafy (Graf 25, Graf 26, Graf 27, Graf 28) jsou rozdílné tvarem křivky. U všech křivek pozorujeme nelineární a nemonotónní charakter křivky. Může však také pozorovat, že v různých bodech dojde u křivek k ustálení hodnoty SW. Ustálená hodnota může být stejná, nižší, vyšší než hodnota výchozího bodu. Tento jev je zvláštní, protože by podle teoretických předpokladů nemělo docházet ke snížení SW přidáním další kapacity.

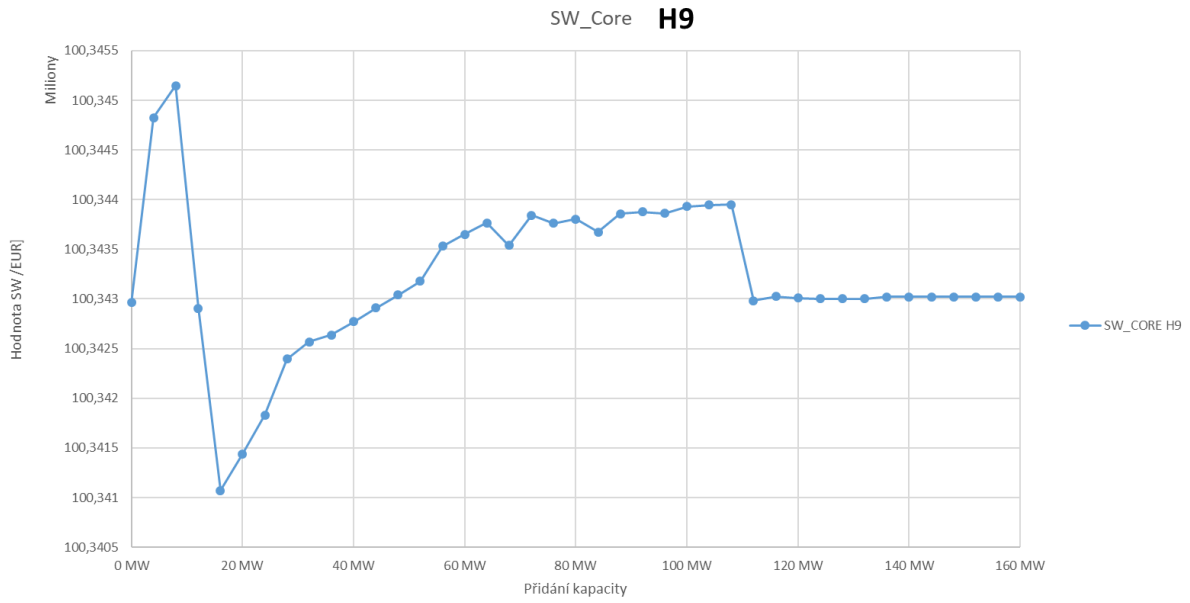
Po četných konzultací s kolegy s Čepsu se mi nepodařilo zjistit primární důvod atypického chování SW. Ke zjištění důvodu, proč simulace řezů dopadli tímto způsobem, je nutná konzultace s designery nástroje Simulation Facility, popřípadě lidmi vyvíjející algoritmus Euphemia. Výstupní data, která jsem získal by nestačila k relevantní analýze.



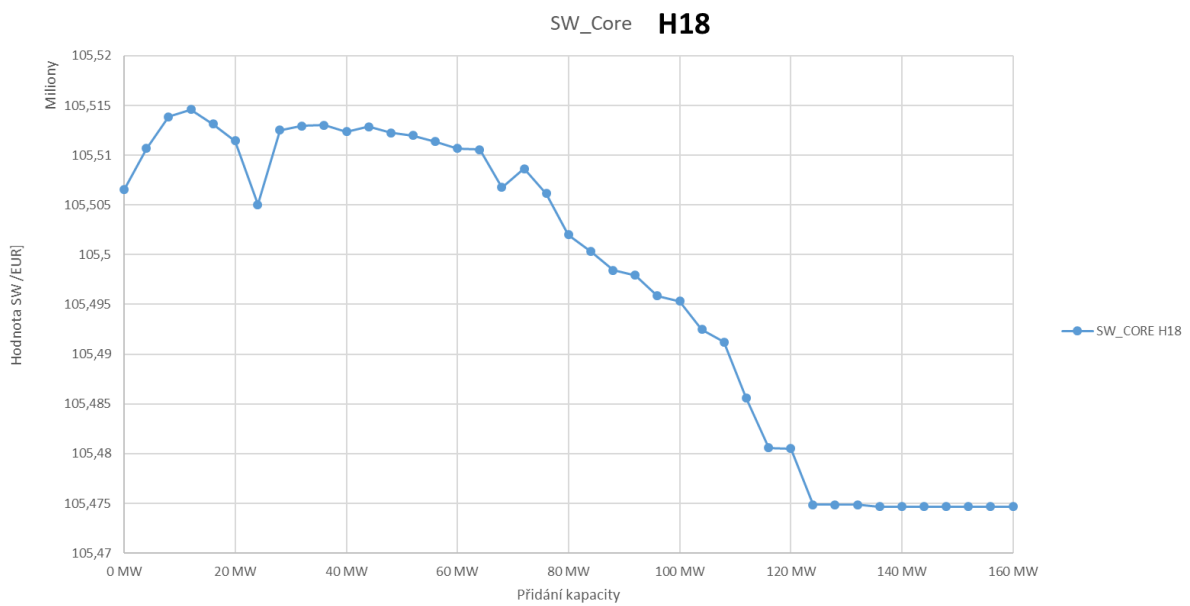
Graf 24 SW region Core všechny upravované hodiny



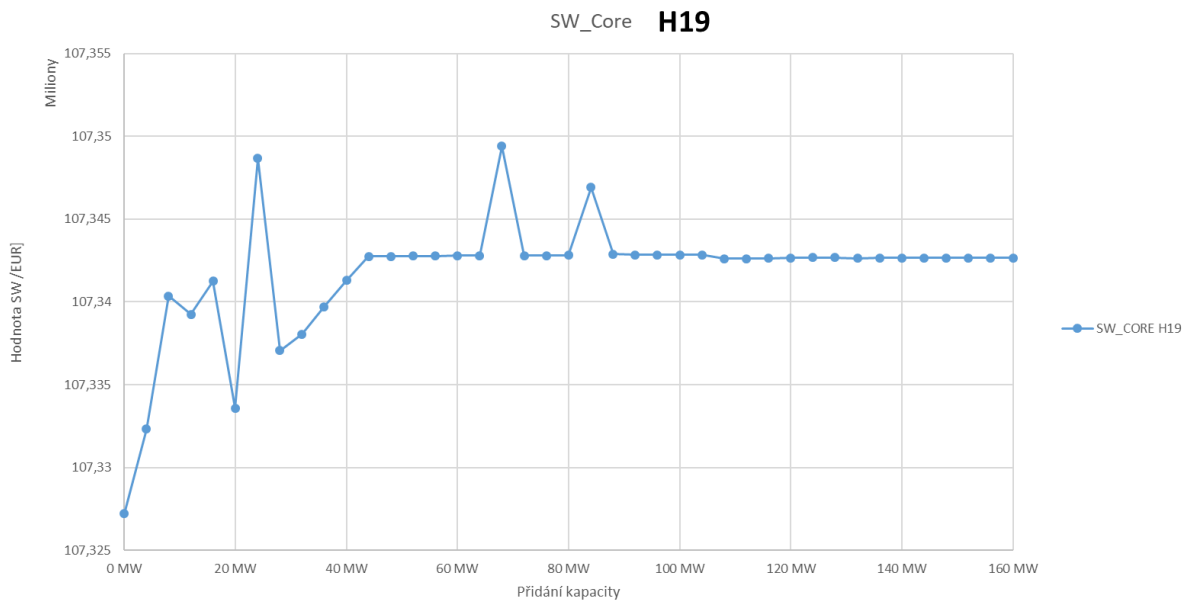
Graf 25 SW region Core H8



Graf 26 SW region Core H9



Graf 27 SW region Core H18



Graf 28 SW region Core H19

5.5. Vyhodnocení výsledků simulace

Výsledky získané z nástroje Simulatoin Facility jsem zpracoval do použitelné podoby k zhodnocení. Pro přehlednost vývoje veličin v řezech a ověření hypotéz jsem sestrojil grafy, které ukazují průběhy zkoumaných veličin. V analýze výsledků jsem narazil na nečekané hodnoty a zajímavé závěry.

V simulaci jsem se potýkal s problémem nestabilní hodnoty SW v regionu Core, kdy pro hodnota SW při přidávání kapacity neplatil předpoklad neklesajícího SW. Právě z těchto důvodů jsem musel alternativně hodnotit dopad užitku u SP a MS. Chování SW je popsáno v kapitole 5.4. na straně 74.

Při zkoumání křivek vytvořených z řezů MS jsem dospěl k závěru, že křivky se nechovají, v celém zkoumaném rozsahu přidávání kapacity, lineárně. Křivky zároveň v žádné zkoumané hodině neprojevili vlastnost monotónnosti. Podobnost linearizovaných křivek a křivky z řezů může nastat ve specifických bodech u každé ze zkoumaných hodin, ale nejedná se o obecné pravidlo. Mezi krajními linearizovanými křivkami jsou značné rozdíly. U křivek MS je možné pozorovat ustálení hodnoty MS, přidávání kapacity nemá ve zkoumaném rozsahu žádný vliv na hodnotu MS. Ustálená hodnota MS je pro každou zkoumanou hodinu jiná. Důvody těchto jevů jsou popsány v kapitole 5.3.1.5. .

Při zkoumání křivek vytvořených z řezů modifikované SP jsem narazil na nečekané chování křivek. Křivky modifikované SP se totiž velmi podobají křivkám MS, a proto jsem i u hodnocení užitku SP přidával do grafů křivku MS. Tímto chování se částečně vyvracuje předpoklad, že SP je lepší na měření užitku než MS kvůli zohledňování více parametrů. Křivky SP mají ve zkoumaných hodnotách stejné vlastnosti, jako křivky MS. U řady kumulačních průběhů je mezi křivkami jen nepatrný rozdíl, který mohl vzniknout zaokrouhlování při výpočtech a práci s daty.

Vyhodnocení hypotéz:

- 1) U metod MS a SP se liší od sebe krajní linearizované křivky, pokud stínová je nenulová, alespoň v jednom řezu

Tato hypotéza u zkoumaných hodin se potvrdila. U všech zkoumaných hodnot MS a SP byly velké rozdíly výchozího bodu a bodu počátku. Křivky vytvořeny z řezů rovněž neodpovídaly linearizovaným křivkám.

- 2) Průběh křivek vytvořených z řezů nemá lineární charakter v celém rozsahu

Tato hypotéza se také potvrdila. Na všech zkoumaných grafech je vidět že hodnoty MS a SP nemají v celém rozsahu lineární charakter. Dokonce je zde možné pozorovat skokové změny hodnoty, pravděpodobně způsobené blokovými nabídkami.

- 3) Stínová cena je přesnější metrika, než market spread

Tuto hypotézu jsem nebyl schopen plně vyhodnotit, protože hodnotící veličina SW se ukázala, jako velmi nepřesná. Průběhy SW navíc odporovaly teoretickým předpokladům. Z naměřených hodnot, ale můžeme usoudit, že neplatí tvrzení, že SP je vždy lepší, jak MS, protože ve zkoumaných hodinách existovaly případy, kdy byly křivky tak podobné a jejich rozdíly tak zanedbatelně malé, že bychom je mohli považovat za stejné. Pokud bychom přijali tuhle tezi pak neplatí tvrzení, že použití SP je vždy lepší.

6. Závěr

Tato diplomová práce popisuje základní principy a problematiky spojené s přeshraničními kapacitami. Hlavním cílem práce bylo prozkoumat možnosti, jak efektivně a spravedlivě rozdělovat přeshraniční kapacitu mezi trh se silovou elektřinou a trh s regulačními zálohami. Na úvod jsem definoval přeshraniční kapacitu a zabýval se metodami jejího určení. Zkoumal jsem určování přeshraniční kapacity pomocí metod NTC a FB. V práci jsem se rovněž zabýval výhodami a nevýhodami obou metod. U metody NTC byla hlavní výhodou její jednoduchost na implementaci a hlavní nevýhodou nevyužití celého potenciálu pro přeshraniční obchody. Právě z důvodu neefektivity utilizace možností přeshraničního obchodování metoda ustupuje ve prospěch metody FB. FB výpočet kapacit bude implementován v regionu Core v roce 2022. Hlavní výhodou FB metody je větší možné využití sítě pro přeshraniční obchod, na druhé straně její nevýhodou je náročná implementace a neintuitivní projevení dopadů bidů na celou síť.

Dále jsem popisoval fungování trhu se silovou elektřinou. Zde jsem definoval, jak je trh rozdělený a jaké jsou typické druhy produktů na trzích. Součástí tohoto úseku je rovněž market coupling. U market couplingu jsem vytvořil ilustraci fungování přeshraniční výměny a podle čeho se stanovuje výnos z přetížení. Kromě ilustračního modelu jsme popsal základní informace o market coupling projektech.

Po definování nezbytných pojmů, popisuji přístupy k problematice efektivního přidělování přeshraniční kapacity mezi trh se silovou elektřinou a trh s regulačními zálohami. Zde nejprve diskutuji, jak by měl vypadat ideální stav rozdělení přeshraniční kapacity mezi oba trhy. Ideálním teoretickým ekonomickým rozdělení je, když mezní ziskový užitek přidělením přeshraniční kapacity prvnímu trhu se rovná meznímu ztracenému užítku druhého trhu ve prospěch prvního trhu. V případě, že se hodnoty nerovnajít indikuje nám to jeden ze dvou stavů. Prvním stavem je, že jsme nedosáhli optimální rozdělení přeshraniční kapacity, a tedy jsme nedosáhli maximální možného užítku, který lze získat ze součtu užítku obou trhů. V druhém stavu neexistuje rozdělení, kde se mohou mezní užítky rovnat a zde je snaha najít nejmenší rozdíl mezních užítků obou trhů mezi sebou. V nařízení EBGL jsou přípustné regionální metodiky, jak postupovat u vyhodnocování tržních užítků. Celkem jsou zde popsány tři metodiky. V této práci jsem popsal a vyhodnotil všechny tři metodiky z nařízení EBGL a navíc jsem vyhodnotil čtvrtou metodiku z podkladů ENTSO-E. Ze zkoumaných metodik podle mnou nastavených kritérií nejlépe vyšla pro hodnocení denního trhu metodika Market Based. Market Based metodika pracuje s reálnými hodnotami z trhu s regulačními zálohami a využívá

predikované hodnoty trhu se silovou elektřinou. Jelikož trh s regulačními zálohami u této metody probíhá před trhem se silovou elektřinou, nabízí tento přístup větší bezpečnost zajištění dodávek pro PPS a výrobcům umožňuje se účastnit obou trhů.

Posledními definovanými pojmy v této práci byly tržní ukazatele ohodnocení přeshraniční kapacity, které jsem porovnával. Konkrétně jsem zkoumal přístup založený na Market Spread a na Stínové Ceně. Jako hodnotící ukazatel u užítku vzniklém na trhu jsem zvolil Social Welfare, který je na evropské úrovni považovaný za nejpřesnější ukazatel užítku na trhu. Ukazatel Market Spread vychází z rozdílu cen elektřiny na trhu sousedních zón a primárně zohledňuje dopad výnosu z přetížení. Ukazatel Stínová Cena měří mezní ekonomický efekt vyvolaný jednotkovou změnou nabídky daného statku (zde nedostatkové přeshraniční kapacity). Nakonec jsem stanovil tři hypotézy, u kterých se snažím ověřit jejich platnost. V první hypotéze ověřuji, jestli má vliv volba bodu linearizace křivky. V druhé hypotéze ověřuji, zda křivky vytvořené z řezů jsou nelineární v určitých intervalech. Ve třetí hypotéze ověřuji předpoklad, že Stínová Cena je lepším ukazatelem než Market Spread.

Pro ověření hypotéz jsem provedl simulaci v Simulation Facility, která simuluje výsledky trhu za určených podmínek. Simulaci jsem prováděl na česko-německém profilu s maximální vyjmutou kapacitou 160 MW, která odpovídá 5 % celkové kapacity. Než jsem mohl provést simulaci musel jsem zjistit a otestovat správné nastavení Simulation Facility. Dále jsem naprogramoval automatizační script upravující krokově hodnoty volné kapacity prvků a kompilující vhodný tvar souborů vstupních dat pro Simulation Facility. Všechny soubory jsem do Simulation Facility ručně nahrával a musel jsem ručně zadávat parametry simulací. Po provedení simulací jsem získal soubory s výsledky simulovaného trhu. Pro zpracování výsledků trhu jsem musel upravit existující vyhodnocující nástroj. Z upravených výsledků trhu jsem vytvořil databázový soubor, kde jsem zkoumal průběhy veličin na grafech.

Pro každou hodinu jsem provedl vyhodnocení Market Spread a Stínové Ceny. Hodnotil jsem vývoj, vlastnosti, užitek a vliv linearizace. U vyhodnocení Social Welfare jsem, ale narazil na nečekaný úkaz, kdy při přidávání přeshraniční kapacity docházelo pro určité intervaly v každé zkoumané hodině k poklesu hodnoty Social Welfare. To mě donutilo opustit Social Welfare, jako metodu k ohodnocení stanovení užítku na základě Market Spread a Stínové Ceny. Nebyl jsem proto schopen ověřit třetí hypotézu, protože jsem neměl dobrý hodnotící ukazatel, vůči kterému bych metody porovnával.

První a druhou hypotézu jsem u zkoumaných hodin potvrdil. U Market Spread a Stínové Ceny jsem porovnával křivku řezů s linearizovanými křivkami krajních hodnot. U Market Spread jsem vytvořil pro hodnocení grafy s postupnou linearizací. Linearizace křivek Market Spread a Stínové Ceny vedla na zkoumaném intervalu k chybným kumulovaným užitkům. Linearizace správně fungovala jen ve velmi malém počtu případů v určitých intervalech, právě proto bych nedoporučoval využívat zjednodušení linearizace při určování užitku a hodnoty přeshraniční kapacity. Linearizace se není schopna dobře vypořádat s většími změnami hodnot. Obecně pro křivky vytvořené z řezů platilo, že jsou nemonotónní a intervalově nelineární.

Neočekávaným poznatkem z dat byla vysoká podobnost průběhu grafů hodnot Market Spread a modifikovaných Stínových Cen. U některých hodin křivky kumulovaného užitku pro obě veličiny byly téměř totožné.

Provedení simulace ukázalo, že ke komplexnímu posouzení zkoumaných metodik a ohodnocení přeshraniční kapacity je potřeba provést podstatně hlubší analýzu s větším počtem typů měření. Zároveň pro takovou analýzu je žádoucí zlepšit nástroj Simulation Facility, která má neefektivní nepřátelské uživatelské rozhraní.

Na úplný závěr bych zmínil, že práce přinesla řadu zajímavých výsledků, které vybízí k dalšímu zlepšování používaného algoritmu Euphemia. Jednalo se první projekt, který zkoumal dopad relativně malé změny na celý region.

Seznam zdrojů

- [1] „kniha-trh-s-elektřinou.pdf". Viděno: led. 04, 2022. [Online]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/kniha-trh-s-elektřinou.pdf>
- [2] „COMMISSION REGULATION (EU) 2015/ 1222 - of 24 July 2015 - establishing a guideline on capacity allocation and congestion management", s. 49.
- [3] „Salavec - Congestion income distribution under Flow-Based me.pdf". Viděno: led. 04, 2022. [Online]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/65320/F3-DP-2016-Salavec-Jiri-_DT_Salavec_web.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [4] „COMMISSION REGULATION (EU) 2017/ 2195 - of 23 November 2017 - establishing a guideline on electricity balancing", s. 48.
- [5] „Regulation (EC) No 714/2009 of the European Parliament and of the Council of 13 July 2009 on conditions for access to the network for cross-border exchanges in electricity and repealing Regulation (EC) No 1228/2003", s. 21.
- [6] „Dispecerske_rizeni_CEPS_ZCU-ProStudenty.pdf". Viděno: led. 04, 2022. [Online]. Dostupné z: http://home.zcu.cz/~nohac/E2/Dispecerske_rizeni_CEPS_ZCU-ProStudenty.pdf
- [8] „entsoe_NTCUsersInformation.pdf". Viděno: led. 04, 2022. [Online]. Dostupné z: https://eepublicdownloads.entsoe.eu/clean-documents/pre2015/ntc/entsoe_NTCUsersInformation.pdf
- [9] „Flow-based market coupling na evropských trzích", *oEnergetice.cz*, ervenec , 19:59 2016. <https://oenergetice.cz/evropska-unie/flow-based-market-coupling-na-evropskych-trzich/> (viděno led. 04, 2022).
- [10] „CWE FBMC AP Annex 14.32 CID report 12 months after DE-AT v20200710.pdf". Viděno: led. 04, 2022. [Online]. Dostupné z: <https://www.jao.eu/sites/default/files/2021-05/CWE%20FBMC%20AP%20Annex%2014.32%20CID%20report%2012%20months%20after%20DE-AT%20v20200710.pdf>
- [11] „CWE FBMC AP Main Document v20200710 .pdf". Viděno: led. 04, 2022. [Online]. Dostupné z: <https://www.jao.eu/sites/default/files/2021-05/CWE%20FBMC%20AP%20Main%20Document%20v20200710%20.pdf>
- [12] „Power Transfer Distribution Factors". https://www.powerworld.com/WebHelp/Content/MainDocumentation_HTML/Power_Transfer_Distribution_Factors.htm (viděno led. 04, 2022).

- [13] „Trh s elektřinou - specifika, účastníci trhu a rozdělení", *oEnergetice.cz*, červen , 08:05 2017. <https://oenergetice.cz/elektrina/trh-s-elektrinou/> (viděno led. 04, 2022).
- [14] „COMMISSION REGULATION (EU) 2016/ 1719 - of 26 September 2016 - establishing a guideline on forward capacity allocation", s. 27.
- [15] „Market coupling - propojování evropských energetických trhů", *oEnergetice.cz*, jen , 16:39 2015. <https://oenergetice.cz/trh-s-elektrinou/market-coupling-propojovani-evropskych-energetickych-trhu/> (viděno led. 04, 2022).
- [16] „Market Coupling: How the European electricity market is linked", čvc. 02, 2019. <https://www.next-kraftwerke.com/knowledge/market-coupling> (viděno led. 04, 2022).
- [17] „ENTSO-E Market Report 2019", s. 52.
- [18] „PCR - Price Coupling of Regions", *OTE, a.s.* <https://www.ote-cr.cz/en/short-term-markets/integrated-markets/pcr-price-coupling-of-regions> (viděno led. 04, 2022).
- [19] „Projekt XBID", *OTE, a.s.* <https://www.ote-cr.cz/cs/kratkodobe-trhy/integrace-trhu/xbid> (viděno led. 04, 2022).
- [20] „Single Day-ahead Coupling (SDAC)". https://www.entsoe.eu/network_codes/cacm/implementation/sdac/ (viděno led. 04, 2022).
- [21] „WP1 - Methods for the allocation of CZC to the balancing capacity markets_final.pdf".
- [22] „160630_BSG_TOP5_XB_Capacity_Reservation.pdf". Viděno: led. 04, 2022. [Online]. Dostupné z: https://eepublicdownloads.entsoe.eu/clean-documents/mc-documents/balancing_ancillary/160630_BSG_TOP5_XB_Capacity_Reservation.pdf
- [23] „CORE TSOS' METHODOLOGY FOR A MARKET-BASED ALLOCATION PROCESS OF CROSS-ZONAL CAPACITY FOR THE EXCHANGE OF BALANCING CAPACITY OR SHARING OF RESERVES", s. 17.
- [24] „20210405_Process-Assessment-of-Cross-Border-Procurement-of-Balancing-Capacity.pdf". Viděno: led. 04, 2022. [Online]. Dostupné z: https://www.e-bridge.com/wp-content/uploads/2021/04/20210405_Process-Assessment-of-Cross-Border-Procurement-of-Balancing-Capacity.pdf
- [25] „Action 1 - COCZCA explanatory document.pdf". Viděno: led. 04, 2022. [Online]. Dostupné z: <https://nra.acer.europa.eu/en/Electricity/MARKET-CODES/ELECTRICITY-BALANCING/18%20CO%20CZCA/Action%201%20%20COCZCA%20explanatory%20document.pdf>
- [26] „Art41_Methodology_Marketbased allocation process of crosszonal capacity.pdf". Viděno: led. 04, 2022. [Online]. Dostupné z: <https://consultations.entsoe.eu/markets/ebgl->

art-41-a-market-based-proposal-of-czca-grit/supporting_documents/Art41_Methodology_Marketbased%20allocation%20process%20of%20crosszonal%20capacity.pdf

[27] „Action 2 - EF CZCA Core explanatory document.pdf". Viděno: led. 04, 2022.

[Online]. Dostupné z: <https://documents.acer.europa.eu/en/Electricity/MARKET-CODES/ELECTRICITY-BALANCING/19%20EF%20CZCA/Action%202%20-%20EF%20CZCA%20Core%20explanatory%20document.pdf>

[28] J. Dudorkin, *Operační Výzkum*, roč. 2014. ČVUT FEL.

[29] „euphemia-public-description.pdf". Viděno: led. 04, 2022. [Online]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/kratkodobe-trhy/integrace-trhu/files-xbid/euphemia-public-description.pdf>

Seznam grafů

Graf 1	Marginální ekonomický přebytek u trhů se silovou elektřinou a regulačními rezervami	35
Graf 2	Porovnání MS v řezech pro všechny hodiny	56
Graf 3	Porovnání vývoje MS s linearizovanými hodnotami H8	57
Graf 4	Porovnání vývoje kumulovaného užítku pro abs MS a linearizované krajní hodnoty H8	58
Graf 5	Zkoumání citlivosti linearizace na množství kapacity H8	58
Graf 6	Porovnání vývoje MS s linearizovanými hodnotami H9	59
Graf 7	Porovnání vývoje kumulovaného užítku pro abs MS a linearizované krajní křivky H9	60
Graf 8	Zkoumání citlivosti linearizace na množství kapacity H9	60
Graf 9	Porovnání vývoje MS s linearizovanými hodnotami H18	61
Graf 10	Porovnání vývoje kumulovaného užítku pro abs MS a linearizované krajní křivky H18	62
Graf 11	Zkoumání citlivosti linearizace na množství kapacity H18	62
Graf 12	Porovnání vývoje MS s linearizovanými hodnotami H19	63
Graf 13	Porovnání vývoje kumulovaného užítku pro abs MS a linearizované krajní křivky H19	64
Graf 14	Zkoumání citlivosti linearizace na množství kapacity H19	64
Graf 15	Porovnání SP v řezech pro všechny hodiny	67
Graf 16	Porovnání vývoje SP s linearizovanými hodnotami H8	68
Graf 17	Porovnání vývoje kumulovaného užítku pro SP a linearizované krajní křivky spolu s křivkou abs MS H8	68
Graf 18	Porovnání vývoje SP s linearizovanými hodnotami H9	69
Graf 19	Porovnání vývoje kumulovaného užítku pro SP a linearizované krajní křivky spolu s křivkou abs MS H9	70
Graf 20	Porovnání vývoje SP s linearizovanými hodnotami H18	71
Graf 21	Porovnání vývoje kumulovaného užítku pro SP a linearizované krajní křivky spolu s křivkou abs MS H18	71
Graf 22	Porovnání vývoje SP s linearizovanými hodnotami H19	72
Graf 23	Porovnání vývoje kumulovaného užítku pro SP a linearizované krajní křivky spolu s křivkou abs MS H19	72
Graf 24	SW region Core všechny upravované hodiny	75
Graf 25	SW region Core H8	75
Graf 26	SW region Core H9	76
Graf 27	SW region Core H18	76
Graf 28	SW region Core H19	77

Seznam obrázků

Obrázek 1	Ilustrace přeshraniční kapacitami mezi zónami A B	18
Obrázek 2	Grafické zobrazení NTC domény	20
Obrázek 3	Ilustrace NTC hodnot pro oblasti A,B	21
Obrázek 4	Ilustrace provedení nettingu pro obchodní oblasti A B	22
Obrázek 5	Výpočet toků FB přes PTDF matici	24
Obrázek 6	Ilustrace FB domény a NTC domény	25
Obrázek 7	Vliv market coupling na trh s elektřinou	29
Obrázek 8	Rozdělení welfare mezi výrobce a zákazníka	32
Obrázek 9	Rozdělení welfare na základě typu aukce	34

Seznam rovnic

Rovnice 1) Výpočet hodnoty NTC.....	20
Rovnice 2 Výpočet hodnoty ATC	21
Rovnice 3 Výpočet hodnoty ATC při nettingu	21
Rovnice 4 Výpočet nettované kapacity AAC	21
Rovnice 5 Market welfare	31
Rovnice 6 Social welfare.....	32
Rovnice 7 Úprava volné kapacity prvku	53

Seznam tabulek

Tabulka 1 Rozdíly typu aukcí Pay as Bid a Pay as Cleared	33
Tabulka 2 Porovnání typů hodnot u metod	43
Tabulka 3 Porovnání vlastností u metod	44
Tabulka 4 Porovnání tržních parametrů u metod	44

Přílohy

Příloha A

Přiložený textový soubor s okomentovaným python skriptem pro automatizaci generace souborů pro Simulatoin Facility.

Příloha B

Vyhodnocovací databázový excel se všemi zkoumanými výsledky trhu.