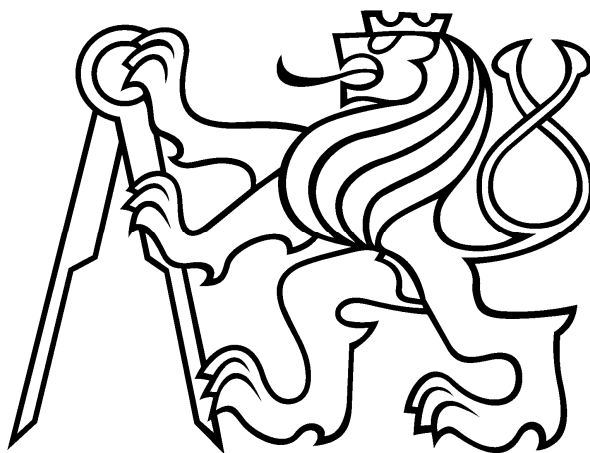


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra řídicí techniky



Bakalářská práce

**Implementace modelu chování výrobců elektrické
energie v liberalizovaném tržním prostředí v ČR**

Petr Filas

červen 2006

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Havel

Poděkování

Rád bych poděkoval Petru Havlovi a Ondřeji Novákovi, kteří mi vždy ochotně poradili a pomáhali při zpracování této bakalářské práce.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá implementací modelu chování výrobců elektrické energie v liberalizovaném tržním prostředí ČR v softwaru Matlab. Tato úloha byla řešena pomocí lineární optimalizace, jejímž výsledkem je ekonomicky optimální nabídka silové elektřiny a podpůrných služeb jednotlivých výrobců, se kterou se snaží uplatnit na energetickém trhu. Tato práce navazuje na principy, které byly již vytvořeny v rámci jiného projektu a přináší několik vylepšení spolu s jejich programovou implementací a interpretací dosažených výsledků.

Abstract

This BSc thesis deals with implementation of electricity producer model in the liberalized energy market environment in the Czech Republic in Matlab software. This task is solved through the use of linear optimization, which result is economically optimal offer of electricity and ancillary services of each electricity producer at the market. This thesis was built on the principles created in a different project and brings some improvements of the model, implements these improvements and explains acquired results.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne

.....

podpis

Obsah:

1	ÚVOD	6
1.1	SPOLEHLIVOST ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY	7
1.2	STRUKTURA MODELU VÝROBCŮ	7
1.3	ČLENĚNÍ DALŠÍHO TEXTU	8
2	MODEL VÝROBCŮ SILOVÉ ELEKTRINY A PODPŮRNÝCH SLUŽEB A JEHO IMPLEMENTACE	9
2.1	PŮVODNÍ MODEL	9
2.2	VYLEPŠENÝ MODEL	13
2.2.1	<i>Odstávky bloků</i>	13
2.2.2	<i>Obchodní odchylka</i>	15
2.2.3	<i>Počáteční podmínky</i>	17
2.2.4	<i>Neekvidistantní vzorkování</i>	18
2.2.5	<i>Nabídkový a výrobní režim</i>	20
3	TESTOVÁNÍ VLIVU PARAMETRŮ SOFTWARE PRO ŘEŠENÍ LINEÁRNÍ OPTIMALIZACE	22
3.1	VLIV PARAMETRŮ SCALING	23
3.2	VLIV PARAMETRŮ PRESOLVE	24
3.3	VLIV PARAMETRŮ BRANCH BOUND	26
3.4	ZHODNOCENÍ VLIVU PARAMETRŮ	27
4	VÝSLEDKY SIMULACÍ	29
4.1	NABÍDKOVÝ REŽIM	29
4.1.1	<i>Krátký horizont</i>	29
4.1.2	<i>Dlouhý horizont</i>	34
4.2	VÝROBNÍ REŽIM	39
4.3	SROVNÁNÍ MODELU SE SKUTEČNÝM CHOVÁNÍM VÝROBCŮ	41
5	ZÁVĚR	45
6	LITERATURA	46
7	PŘÍLOHA - SEZNAM VYGENEROVANÝCH KOMBINACÍ PARAMETRŮ	47

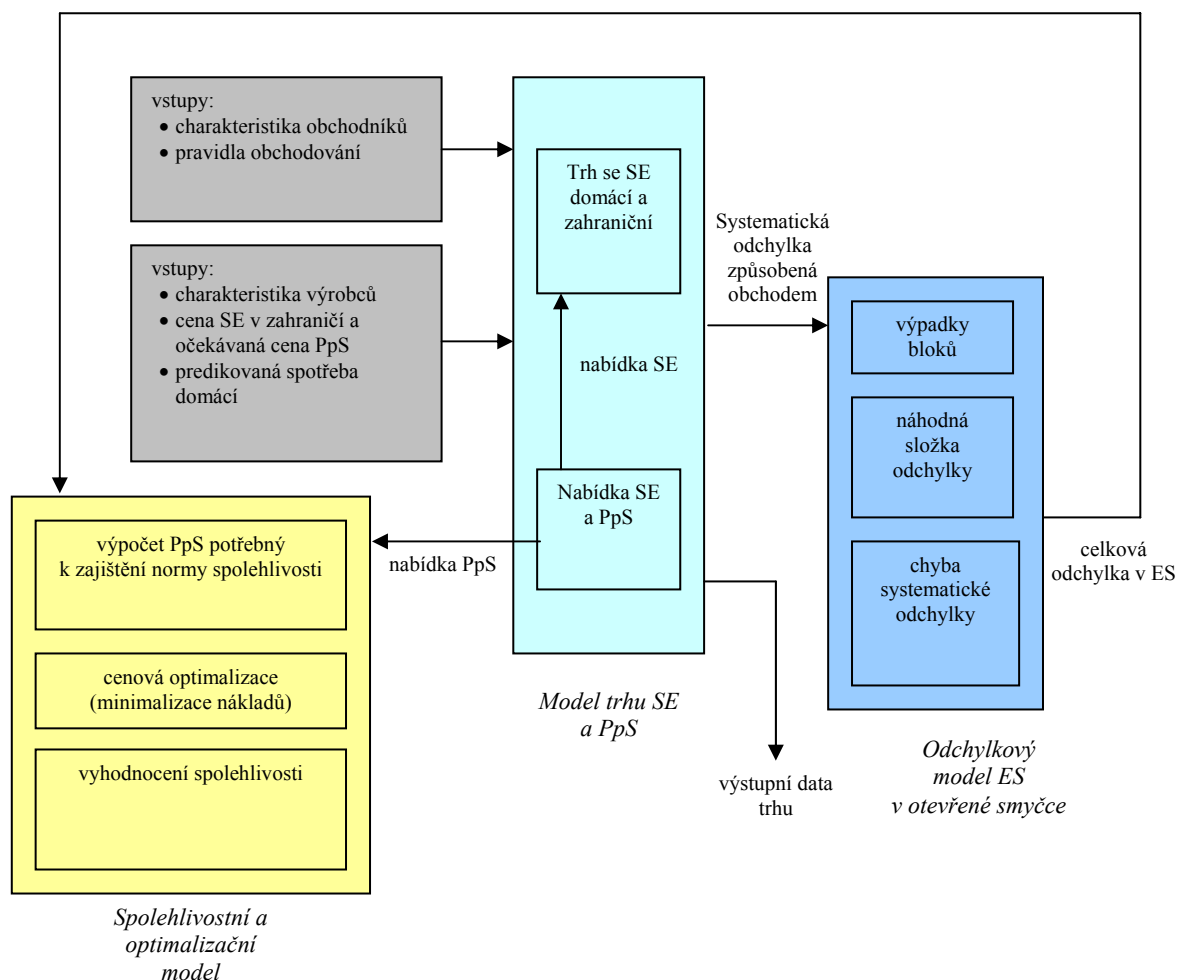
Seznam použitých zkratek:

SE	silová elektřina
PpS	podpůrné služby
PR	primární regulace
SR	sekundární regulace
TRP	terciární kladná regulace
TRM	terciární záporná regulace
QS	rychle startující záloha (quick start)
DZ	dispečerská záloha
ES	elektrizační soustava

1 Úvod

Cílem této bakalářské práce je softwarová implementace a testování modelu strategického rozhodování a chování výrobců silové elektřiny (dále jen SE) a podpůrných služeb (dále jen PpS) v liberalizovaném tržním prostředí České republiky. Model by měl zachycovat ekonomickou motivaci výrobců pro prodej silové elektřiny a poskytování podpůrných služeb. Výstupem modelu by měl být vliv jejich rozhodování a strategie na spolehlivost a stabilitu elektrizační přenosové soustavy (dále jen ES) České republiky.

Model výrobců SE a PpS je částí celkového modelu spolehlivosti elektrizační soustavy České republiky, který je vypracováván v rámci projektu „Metodika a modely spolehlivosti a ekonomie systémových služeb“ (dále jen SESyS) v Centru aplikované kybernetiky při ČVUT FEL v Praze a ZČU FAV v Plzni [1]. Celkový model SESyS je rozdělen do tří částí (Obr. 1): spolehlivostní a optimalizační model, model trhu SE a PpS a odchylkový model elektrizační soustavy v otevřené smyčce.



Obr. 1 Zjednodušené blokové schéma modelu SESyS

Model výrobců přispívá do celkového modelu spolehlivosti ES informací o nabídkách SE pro obchodníky se silovou elektřinou a nabídkách PpS pro provozovatele soustavy v daném období.

1.1 Spolehlivost elektrizační soustavy

Spolehlivost ES je definována normou spolehlivosti vypracovanou v rámci projektu SESyS [2]. Norma spolehlivosti vyjadřuje přípustnou pravděpodobnost (četnost) výskytů nerovnováhy ES. Sjednocujícím přístupem vhodným pro řešení úlohy spolehlivosti a ekonomie provozu ES je specifikace normy prostřednictvím mezních hodnot odchylky salda výkonu, salda energie a povoleného rizika překročení těchto mezních hodnot. Odchylkou salda výkonu rozumíme rozdíl mezi aktuální výrobou SE a aktuální spotřebou SE v ES včetně vývozu a dovozu SE z resp. do zahraničí.

Odchylka v ES může být způsobena všemi účastníky trhu SE. Odchylky se dopustí účastník trhu, jestliže nedodrží svůj smluvený diagram. Subjekt, který nedodržel svůj smluvený diagram a způsobil tak odchylku, pak zaplatí náklady provozovateli soustavy na vykompenzování odchylky.

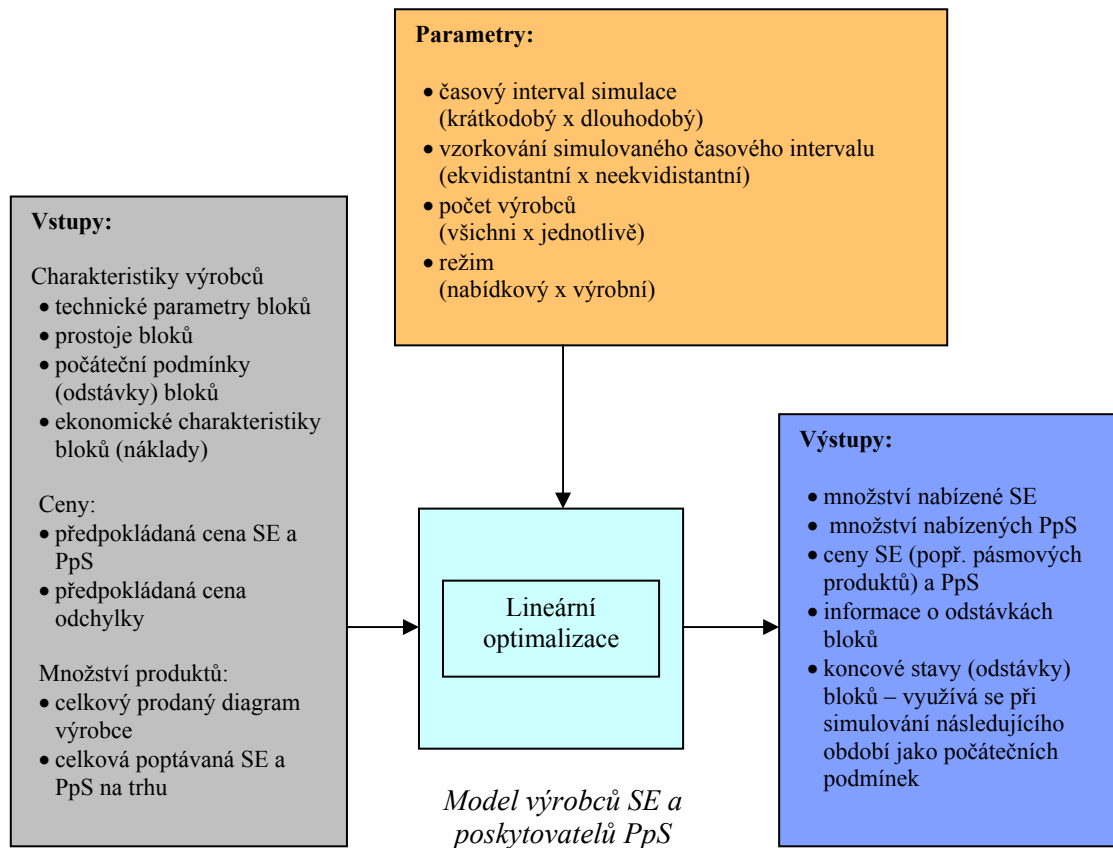
Dodržování normy spolehlivosti ES je prioritním úkolem provozovatele soustavy. Spolehlivosti soustavy dosahuje provozovatel soustavy pomocí nakoupených podpůrných služeb, jejichž aktivací kompenzuje aktuální odchylku salda výkonu v ES na hodnotu danou normou spolehlivosti. Dalšími cíly provozovatele soustavy jsou minimalizace celkových nákladů spojených s nákupem a provozováním PpS a minimalizace nákladů účastníků trhu spojených s vyrovnáváním odchylek [3].

Pro zajištění spolehlivosti ES je potřeba co nejlépe odhadovat všechny vlivy, které na ni působí. Tyto vlivy se dají rozdělit na dvě skupiny. První z nich jsou vlivy náhodné, jako např. výpadky elektrárenských bloků nebo poruchy na vedení. Druhou skupinou jsou pak vlivy obchodních subjektů na trhu s SE a PpS. Těmito vlivy rozumíme jejich ekonomickou motivaci dosáhnout na trhu co nejvyššího zisku, bez ohledu na to, zda tím ohrozí spolehlivost a stabilitu ES. Právě touto skupinou vlivů na straně výrobců SE a poskytovatelů PpS se zabývá tento model.

1.2 Struktura modelu výrobců

Základní strukturu zachycuje model výrobců jeho vstupně-výstupní model, společně se vstupními parametry modelu zachycený na Obr. 2.

Základní koncepce, ze které vycházela implementace modelu výrobců je popsána v [1]. Pro vytvoření a řešení modelu výrobců byla použita metoda lineární optimalizace, která spočívá v hledání maximální hodnoty účelové funkce, což je v našem případě zisk výrobců dosažený prodejem SE a PpS, při dodržení zadaných omezení. Funkce je dána cenami jednotlivých produktů na energetickém trhu a náklady výrobce na jejich výrobu.



Obr. 2 Blokový diagram modelu výrobců

1.3 Členění dalšího textu

V další kapitole 2 si popíšeme princip původního modelu výrobců (v odstavci 2.1) a přidaná vylepšení spolu s jejich implementací (v odstavci 2.2). Odstavec 2.2 pak ještě více rozvineme dle konkrétních vylepšení. Poté bude uvedena kapitola 3 věnující se testování vlivu parametrů softwaru pro řešení lineární optimalizace. V předposlední kapitole 4 budou předvedeny výsledky modelu a jejich srovnání se skutečností.

2 Model výrobců silové elektřiny a podpůrných služeb a jeho implementace

Výstupem modelu výrobců SE a poskytovatelů PpS, je ekonomicky optimální množství nabízené SE a PpS každého z výrobců. Celá tato optimalizační úloha však musí respektovat technická a jiná omezení (jako např. odstávky bloků).

Celý model výrobců byl implementován v prostředí Matlab za použití přídatného modulu LP Solve pro řešení lineární optimalizace. Základní část modelu byla již hotova v rámci projektu SESyS. Více o původním modelu následuje v odstavci 2.1. Implementace původního modelu a vylepšení, která by lépe zachycovali modelovanou skutečnost, byla hlavním cílem této bakalářské práce. U vylepšení modelu se jednalo o implementaci odchylky od smlouveného diagramu výrobce, odstávek bloků výrobce, počátečních podmínek (počátečních odstávek) a implementaci přechodu modelu k tzv. neekvidistantnímu vzorkování pro dlouhé simulační horizonty. Nakonec se model ještě rozšířil o definici nabídkového a výrobního režimu. V dalších kapitolách bude vysvětlen princip jednotlivých rozšíření a naznačen způsob jejich implementace.

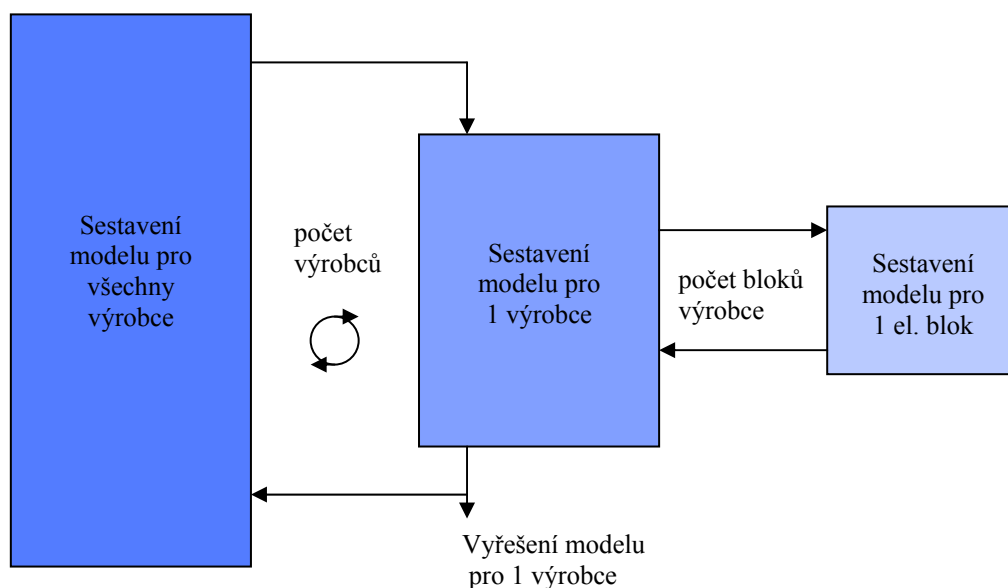
2.1 Původní model

Původní model výrobců SE a poskytovatelů PpS, byl vypracován v rámci projektu SESyS. Jelikož tento model nezachycoval dostatečně přesně modelovanou skutečnost (v původním modelu výrobců byla implementována jen technická omezení bloků) bylo nutné model rozšířit o další modelované skutečnosti, zmíněné v předcházejícím odstavci. Detailnější popis původního modelu výrobců lze nalézt v [1].

Původní model byl implementován jako optimalizační úloha, která maximalizuje zisk výrobce za množství SE a PpS (PR, SR, TRP, TRM, DZ), které se rozhodne výrobce prodat. Řešení této optimalizační úlohy je hledáno metodou lineárního programování.

Sestavení lineárního problému se skládá z akcí znázorněných na Obr. 3. Nejdříve se určí kolik výrobců bude výsledný model obsahovat. Poté se vybere první výrobce v pořadí a sestaví se pro něj model. Tento model se vytvoří poskládáním z jednotlivých modelů (modelem zde rozumíme definici lineárního problému) pro všechny jeho elektrárenské bloky. Po vytvoření celkového modelu jednoho výrobce, následuje jeho vyřešení. Celý cyklus se pak opakuje pro dalšího výrobce až do vytvoření a vyřešení všech modelů výrobců.

Více k implementaci původního modelu lze opět nalézt v [1].



Obr. 3 Princip vytváření modelu výrobců

Definice lineárního problému, pomocí které se původní model implementoval, se skládá z několika částí – účelové funkce, matice omezení, matice typů omezení a matice pravých stran omezení. Účelová funkce tohoto lineárního problému je složena z jednotlivých optimalizačních proměnných všech produktů, které poskytuje daný el. blok výrobce (SE a PpS). Tyto proměnné jsou ještě vynásobeny ziskem z jednotlivých produktů, který je dán rozdílem mezi příjmy a náklady. Chceme tedy určit takové nabízené množství SE a PpS, ze kterého plyne výrobcí nejvyšší zisk. Vztah (2-1) ukazuje účelovou funkci pro jeden blok v jednom obchodním intervalu (viz [1]):

$$\max(\text{TR}(X) - \text{TC}(X)) \quad (2-1)$$

za podmínky

$$X \in H, \quad (2-2)$$

kde

- X je vektor optimalizačních proměnných,
- $\text{TR}(X)$ je celkový příjem dosažený při rozhodnutí daném vektorem X ,
- $\text{TC}(X)$ jsou celkové náklady a
- H je množina omezení na hodnotu vektoru X .

Vektor X se tedy skládá z jednotlivých optimalizačních proměnných

$$X = [Q_{SE}, Q_{PR}, Q_{SR}, Q_{TRP}, Q_{TRM}, Q_{DZ}]$$

kde

Q_{SE}	nabízené množství SE [MWh],
Q_{PR}	nabízená velikost regulační zálohy PR [MWh],
Q_{SR}	nabízená velikost regulační zálohy SR [MWh],
Q_{TRP}	nabízená velikost regulační zálohy TRP [MWh],
Q_{TRM}	nabízená velikost regulační zálohy TRM [MWh] a
Q_{DZ}	nabízená velikost regulační zálohy DZ [MWh]

Vztah (2-1) lze tedy také vyjádřit jako

$$\max(E_{SE} \cdot Q_{SE} + E_{PR} \cdot Q_{PR} + E_{SR} \cdot Q_{SR} + E_{TRP} \cdot Q_{TRP} + E_{TRM} \cdot Q_{TRM} + E_{DZ} \cdot Q_{DZ}) \quad (2-3)$$

kde

E_{SE}	zisk(či ztráta) z poskytované SE [Kč/MWh],
E_{PR}	zisk(či ztráta) z poskytované PR [Kč/MWh],
E_{SR}	zisk(či ztráta) z poskytované SR [Kč/MWh],
E_{TRP}	zisk(či ztráta) z poskytované TRP [Kč/MWh],
E_{TRM}	zisk(či ztráta) z poskytované TRM [Kč/MWh] a
E_{DZ}	zisk(či ztráta) z poskytované DZ [Kč/MWh]

V modelu pro jednoho výrobce se však účelová funkce skládá z několika modelů el. bloků výrobce, pro které se optimalizuje množství nabízených či vyráběných produktů ve zvoleném počtu intervalů. Účelová funkce pro model jednoho výrobce tedy vypadá:

$$\begin{aligned} \max(\text{TR}_{11}(X) - \text{TC}_{11}(X) + \dots + \text{TR}_{1N}(X) - \text{TC}_{1N}(X) + \dots \\ \dots + \text{TR}_{M1}(X) - \text{TC}_{M1}(X) \dots + \text{TR}_{MN}(X) - \text{TC}_{MN}(X)) \end{aligned} \quad (2-4)$$

kde

N	je počet intervalů simulace,
M	je počet elektrárenských bloků a
	pro X , $\text{TR}(X)$ a $\text{TC}(X)$ platí to samé, co v (2-1)

Dále se v lineárním problému vyskytují matice celkových omezení, matice typů omezení a pravé strany omezení. Všechny tyto matice jsou tvořeny technickým omezeními bloku. Pro jeden el. blok se jedná o množinu H ze vztahu (2-2). Technická omezení jsou tvořena minimálním a nominálním výkonem el. bloku, dále jeho certifikovanými regulačními rozsahy PpS a vztahy mezi diagramovým bodem (aktuální výrobou) a velikostí poskytovaného množství PpS.

První typy omezení lze vidět na následujících nerovnicích, které zaručují, že celková velikost všech točivých záloh nebude větší než maximální výkon a menší než minimální výkon.

$$Q_{SE} \in \{0\} \cup \langle P_{\min}, P_{\max} \rangle, \quad (2-5)$$

$$Q_{SE} + Q_{PR} + Q_{SR} + Q_{TRP} \leq P_{\max}, \quad (2-6)$$

$$Q_{SE} - Q_{PR} - Q_{SR} - Q_{TRM} \leq P_{\min}, \quad (2-7)$$

kde

P_{\min} je minimální výkon bloku [MWh] a
 P_{\max} je maximální výkon bloku [MWh]

První omezení říká, že diagramový bod bloku musí být v mezích daných minimálním a maximálním výkonem, nebo je blok odstaven ($Q_{SE}=0$), druhé zaručuje, že celkový výkon poskytující SE a kladnou regulaci nebude vyšší než maximální, a poslední omezení zajišťuje, aby výkon bloku v regulaci neklesl pod minimální hodnotu.

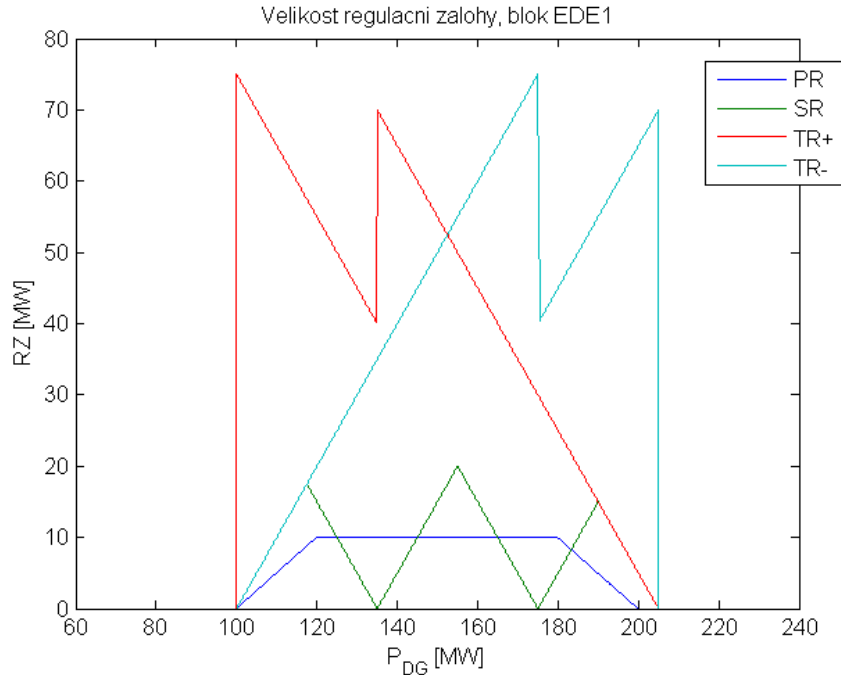
Druhé typy omezení říkají jaké certifikované rozsahy mají jeho poskytované PpS.

$$\begin{aligned} Q_{PR} &\leq RRPR \\ Q_{SE} &\leq RRSR \end{aligned} \quad (2-8)$$

kde

RRPR je certifikovaný regulační rozsah PR [MWh] a
RRSR je certifikovaný regulační rozsah SR [MWh]

Poslední skupina omezení vyjadřuje závislost velikosti regulační zálohy jednotlivých PpS na diagramovém bodu (prodané SE). Příklad těchto omezení je graficky vyjádřen na Obr. 4 (jedná se o regulační rozsahy prvního bloku elektrárny Dětmarovice).



Obr. 4 Závislost regulačních rozsahů na diagramovém bodu bloku pro elektrárnu Dětmorovice

2.2 Vylepšený model

2.2.1 Odstávky bloků

Prvním důvodem, kvůli kterému se odstávky bloku do modelu zavedly, je snaha modelovat skutečnost, jak se ekonomicky vyplatí provozovat bloky (odstavovat a najíždět). Druhým důvodem jsou pak tzv. plánované odstávky bloků, které určují v jakém časovém intervalu bude daný blok odstaven (z důvodu opravy, inovace bloku atd.). Odstávky bloků tedy reflektují v modelu důležitou omezující skutečnost a to sice, že může být blok ve dvou vzájemně se vylučujících stavech – v provozu či v odstavce.

Odstávky bloků byly implementovány jako nové proměnné v účelové funkci za proměnnými produkty každého bloku v každém intervalu. Proměnné odstávek bloků se implementovali jako nespojitě proměnné - pro hodnotu rovnou nule se přiřadil proměnné význam provozu a pro hodnotu rovnou jedné odstavení. Odstávky bloků se tak vlastně binárně zakódovali. Při sestavování lineárního problému byly tyto proměnné definovány jako „semi-continuous“ (polospojitě). Takto upravená účelová funkce pak vypadá

$$\max(\text{TR}(X) - \text{TC}(X) + Y_{ODST}) \quad (2-9)$$

kde

Y_{ODST} je proměnná odstávky bloku nabývající hodnoty 0 (neodstaveno) nebo 1 (odstaveno)

Při změně stavu bloku hovoříme o najetí (odstávka → provoz) nebo o odstavení bloku (provoz → odstávka). S najetím bloku jsou spojeny náklady, jejichž cenu považujeme za konstantní v čase. Naopak se sjetím bloku nejsou spojeny žádné náklady. Změny stavů bloků (najetí, odstavení) se určovaly jako rozdíl (dopředně) mezi hodnotami proměnných odstávky bloku ve dvou po sobě jdoucích intervalech. Do účelové funkce se tedy musely přidat proměnné, které budou zahrnovat náklady při uvedení bloku do provozu. Je jasné, že účelová funkce musí obsahovat alespoň jeden blok se dvěma obchodními intervaly, mezi kterými může dojít ke změně stavu bloku. Příkladem také účelové funkce je následující vztah:

$$\max(\text{TR}_{11}(X) - \text{TC}_{11}(X) + Y_{ODST11} + \text{TR}_{12}(X) - \text{TC}_{12}(X) + Y_{ODST12} + N_{ODST1}) \quad (2-10)$$

kde

N_{ODST1} jsou celkové náklady potřebné pro změnu stavu bloku (najetím) mezi 1. a 2. intervalem [Kč]

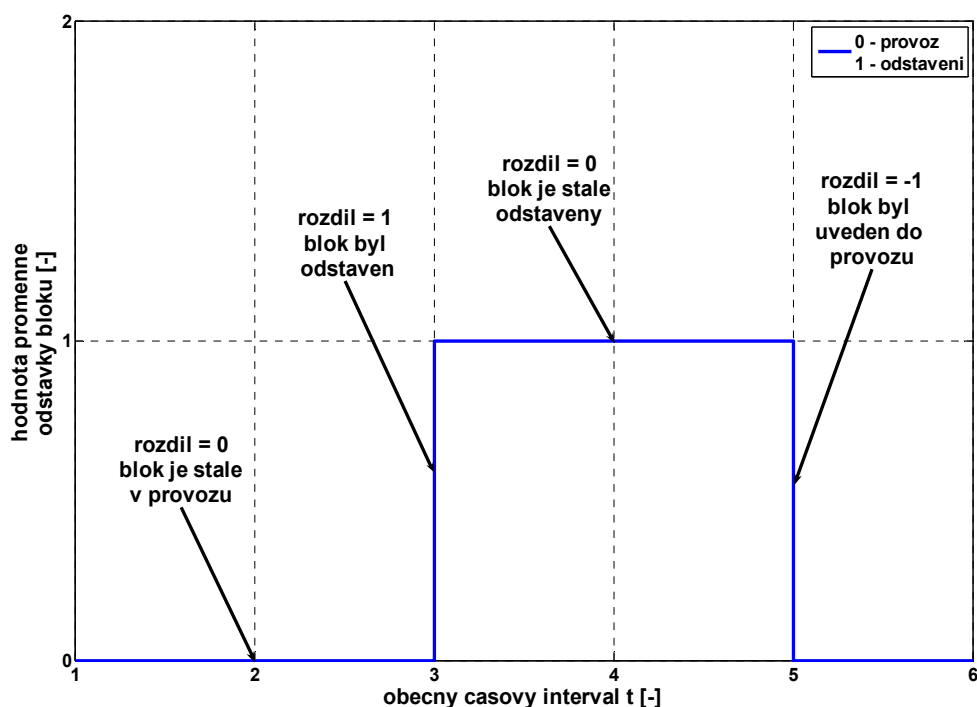
Omezení potřebná pro určení nákladů na změnu stavu bloku pak vypadají následovně:

$$C_{NAJETI} \cdot P_{\min}(Y_{ODST11} - Y_{ODST12}) \leq N_{ODST1} \quad (2-11)$$

kde

C_{NAJETI} je cena za najetí (uvedení bloku do provozu) [Kč/MWh] a
 P_{\min} je minimální výkon bloku [MWh]

Z uvedené nerovnice (2-11) vyplývá, že bude-li rozdíl mezi Y_{ODST1} a Y_{ODST2} roven 1 náklady na uvedení bloku do provozu (přesněji náklady za najetí bloku na minimální výkon P_{\min}) se výrobcí započítají. V ostatních případech, když je rozdíl roven 0 resp. -1, se náklady nezapočítají, jelikož se stav bloku nezmění resp. bude se jednat o odstavení bloku. Všechny možné změny stavu bloku jsou zřejmé z Obr. 5, který zachycuje hodnotu Y_{ODST} pro jeden blok v 6 obchodních intervalech.

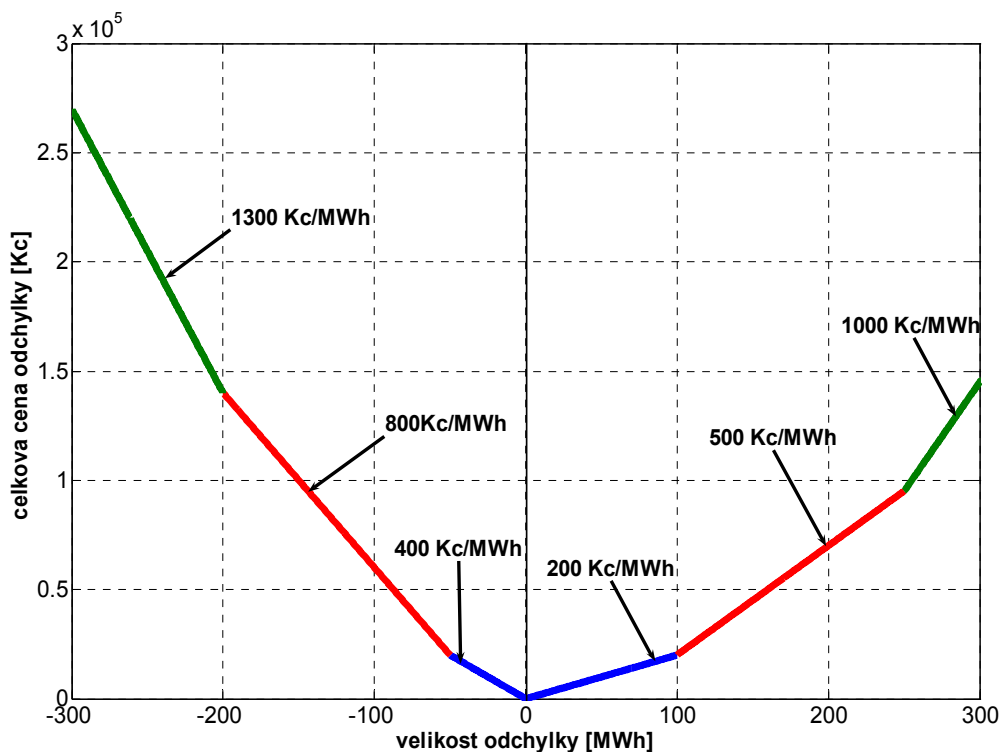


Obr. 5 Možné změny stavu bloku

2.2.2 Obchodní odchylka

Odchylka na straně výrobce se určuje z rozdílu mezi skutečnou hodinovou výrobou SE a smluveným diagramem výrobce. Pokud je výroba nižší, než byl smluvený diagram, jedná se o zápornou odchylku. Jestliže je výroba vyšší, než byl smluvený diagram, hovoříme o kladné odchylce. Členění je z důvodu nutnosti provozovatele soustavy reagovat na každý typ odchylky jinak, resp. aktivovat jiné druhy PpS. Tomu také odpovídá různá cena kladné a záporné odchylky, kterou zaplatí výrobce jako penalizaci za jím způsobenou odchylku. Cena odchylek je dále ovlivněna postupnou aktivací dražších typů PpS a je tedy přímo závislá na celkové velikosti odchylky v celé soustavě (cena odchylky je funkcí velikosti odchylky). Tento jev je v modelu zachycen funkcí absolutní hodnoty, která má v různých intervalech (velikost odchylky) různé směrnice (cena odchylky). Zmíněná funkce může mít tedy libovolný počet intervalů (zlomů). Funkci ceny odchylky zachycuje Obr. 6. (hodnoty cen a intervalů byly zvoleny náhodně, obrázek má ilustrativní charakter)

Obchodní odchylku zahrnujeme do modelu, protože chceme zohlednit situaci, kdy se může vyplatit výrobcovi odchylku způsobit. Příkladem takového jednání může být výrobcem způsobená kladná odchylka v nočním pásmu. Výrobcovi se totiž může např. vyplatit neodstavit elektrárenský blok přes noc, kdy má nižší smluvený diagram, ale jít do kladné odchylky. Zmíněné chování se mu vyplatí za předpokladu, že celková cena za odchylku nepřesáhne cenu potřebnou k opětovnému najetí bloku.



Obr. 6 Závislost ceny odchylky na velikosti odchylky

Odchylka od smluveného diagramu byla implementována opět pomocí nových proměnných účelové funkce, které byly přidány až na samý konec celkové účelové funkce. Tyto proměnné určují náklady vzniklé tím, že se výrobce dopustil odchylky. Počet proměnných reprezentujících náklady za odchylku je dán počtem intervalů simulace. To znamená, že se pro každý interval vyhodnocují náklady za odchylku zvlášť. Proměnné nákladů za odchylku byly dále implementovány jako funkce absolutní hodnoty, přičemž závislost ceny odchylky na její velikosti je vyjádřena pomocí omezujících podmínek, jak je ukázáno na zjednodušeném příkladu se dvěma intervaly a jedním blokem poskytujícím jeden produkt – SE.

účelová funkce:

$$\max(E_{SE1} \cdot Q_{SE1} - E_{SE2} \cdot Q_{SE2} + N_{ODCH1} + N_{ODCH2})$$

omezení:

$$\begin{aligned} -C_{ODCH-} \cdot (Q_{SE1} - Q_{DIAG1}) &\leq N_{ODCH1} \\ C_{ODCH+} \cdot (Q_{SE1} - Q_{DIAG1}) &\leq N_{ODCH1} \\ -C_{ODCH-} \cdot (Q_{SE2} - Q_{DIAG2}) &\leq N_{ODCH2} \\ C_{ODCH+} \cdot (Q_{SE2} - Q_{DIAG2}) &\leq N_{ODCH2} \end{aligned} \quad (2-12)$$

kde

E_{SE}	zisk z produktu [Kč/MWh],
Q_{SE}	množství vyrobeného produktu [MWh],
N_{ODCH}	celková cena odchylky [Kč],
C_{ODCH-}	cena záporné odchylky [Kč/MWh],
C_{ODCH+}	cena kladné odchylky [Kč/MWh] a
Q_{DIAG}	velikost smluveného diagramu [MWh]

2.2.3 Počáteční podmínky

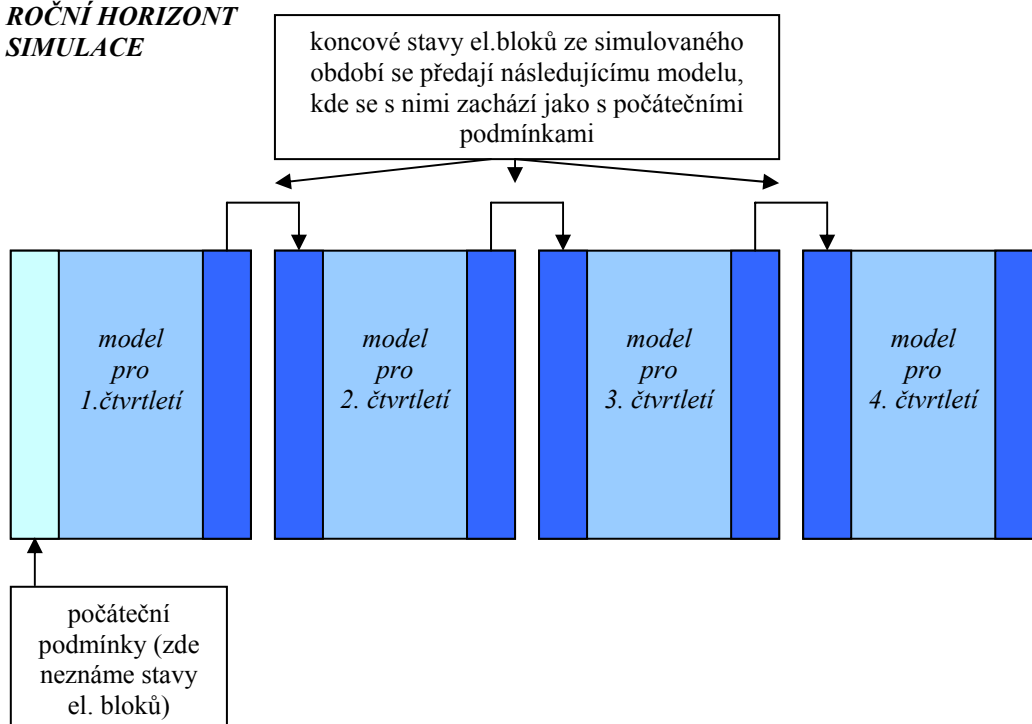
Počátečními podmínkami modelu výrobců rozumíme stavy bloků jednotlivých výrobců na začátku simulovaného období. Bloky mohou být ve dvou stavech – v provozu nebo v odstávce (odstavec 2.2.1).

Počáteční podmínky jsou důležité ze dvou důvodů. První důvod je, aby se mohl výrobce na začátku simulovaného období rozhodnout, které z bloků najede případně odstavit, bez toho aniž by zbytečně platil náklady za najetí. Neznáme totiž stavy bloků v okamžiku předcházejícím počátek simulace (nultý interval) a proto nemůžeme výrobce penalizovat tím, že bychom mu účtovali počáteční najetí všech bloků, které potřebuje k aktuální nabídce či výrobě v prvním okamžiku simulace. Toto je vyřešeno tak, že jsou v nultém intervalu najety všechny bloky a výrobce se rozhodne, které z nich v prvním intervalu odstaví. Tento způsob je nejjednodušší, jelikož při odstavení bloku nevznikají žádné náklady a tak není výrobce penalizován.

Druhým důvodem pro zavedení počátečních podmínek je návaznost dvou nebo více časově následujících simulací. V takovém případě poslouží koncové stavy bloků první simulace jako počáteční stavy bloků pro následující simulaci. Tento způsob se využívá u simulací pro delší horizonty, které se dekomponují na kratší časové úseky. Důvodem této dekompozice je fakt, že potřebná doba výpočtu roste s přibývajícím počtem optimalizačních proměnných přibližně exponenciálně. Je proto časově výhodnější simulovat více menších simulací, než jednu velkou. V našem konkrétním případě jde o roční model, který se složí ze 4 čtvrtletních intervalů. Důvod pro volbu čtvrtletních intervalů je kompromis, při kterém se získá dostatečně dlouhý interval simulace a rozumná časová náročnost. Snaha je roční model co nejméně dekomponovat z důvodu ztrát informací o nákladech způsobených změnami stavů bloků mezi takto vytvořenými kratšími modely. Princip dekompozice pro roční model je naznačen na Obr. 7.

Počáteční podmínky se implementovaly tak, že se před účelovou funkcí a celkovou maticí omezení modelu přidal jeden časový interval, který určoval stav bloků v nultém časovém okamžiku. Na rozdíl od ostatních se však v tomto intervalu logicky nevypočítávaly náklady za odchylku.

ROČNÍ HORIZONT SIMULACE



Obr. 7 Dekompozice ročního modelu

2.2.4 Neekvidistantní vzorkování

Neekvidistantní časové vzorkování (intervaly mohou být různě dlouhé) je náhrada za původně hodinové vzorkování (stejně dlouhé intervaly). Neekvidistantní intervaly byly zvoleny takto: pracovní den (PD), pracovní noc (PN), nepracovní den (ND) a nepracovní noc (NN), tedy 4 různě dlouhé intervaly připadající na jeden energetický týden. Různá délka těchto intervalů je způsobena tím, že jsou denní (6.-22. hodina) a noční pásma různě dlouhá a počet pracovních a nepracovních dnů v energetickém týdnu je také různý. Pro jeden celý energetický týden tak má poměr intervalů PD:PN:ND:NN 80:40:32:16 hodin. Převzorkování ekvidistantních hodnot na neekvidistantní se provede tak, že se vypočte aritmetický průměr hodinových hodnot, patřících do daného intervalu. Např. pro interval PD tak musíme sečíst všechny hodinové hodnoty ve všech pracovních dnech daného týdne od 6. do 22. hodiny a vydělit je jejich počtem ($5 \times 16 = 80$ hodin).

Prvním důvodem přechodu od ekvidistantního hodinového k neekvidistantnímu vzorkování je úspora výpočetního času. To lze ukázat na jednoduchém příkladu jednoho celého energetického týdne, kde místo 168 hodinových intervalů vstupují do optimalizace jen 4 neekvidistantní intervaly PD, PN, ND a NN. Stejný poměr (168:4) je i u počtu optimalizačních proměnných, což zásadně zrychlí výpočet. Dalším důvodem k volbě právě takovýchto intervalů je skutečnost, že ve stejně definovaných obchodních intervalech nakupuje provozovatel ES v ročním horizontu plánování potřebné PpS.

Zároveň je však nutné mít stále na paměti, že jsou tyto intervaly různě dlouhé a to například při určování najetí či odstavení bloku nebo při interpretaci výsledků optimalizace. Musíme si tedy vždy uchovat informaci o velikosti daného intervalu.

Základem pro implementaci neekvidistantního vzorkování je získat hodnoty (cen produktů, cen odchylek a smluveného diagramu) ve tvaru, který respektuje tento neekvidistantní poměr. Takto navzorkovaná data vstupují do modelu, kde se s nimi jedná jako s ekvidistantními a optimalizace probíhá zcela stejně jako při použití hodinového ekvidistantního vzorkování. Jejich různou váhu určuje jejich násobnost, která je pak důležitá při správné interpretaci výsledku.

Problémem, který se při přechodu na neekvidistantní vzorkování vyskytl, je změna stavu el. bloku (odstavení nebo najetí). To je dáno různým počtem přechodů v energetickém týdnu mezi neekvidistantními intervaly, které udává Tab. 1. Problém lze do jisté míry obejít opět pomocí různé váhy jednotlivých přechodů. Lze tedy např. říct, že jestliže v optimalizaci el. blok změní svůj stav mezi intervaly PD a PN, změní ho ve skutečnosti celkem pětkrát v týdnu. Bohužel zde musíme také řešit nesymetričnost počtu změn mezi dvěma intervaly v energetickém týdnu. Např. přechody mezi ND a NN ve směru ND → NN jsou v energetickém týdnu dva. V opačném směru NN → ND existuje však jen jeden (Obr. 8). Nesymetričnost lze snadno zjistit porovnáním četností přechodů v Tab. 1 a Tab. 2. Problém jsme vyřešili tím, že jsme zavedli koeficient, který byl aritmetickým průměrem počtů změn v obou směrech. Tedy pro uvedený příklad přechodu mezi ND a NN vychází koeficient roven 1,5 (Tab. 3).

Tab. 1 Četnost přechodů v prvním směru v jednom energetickém týdny

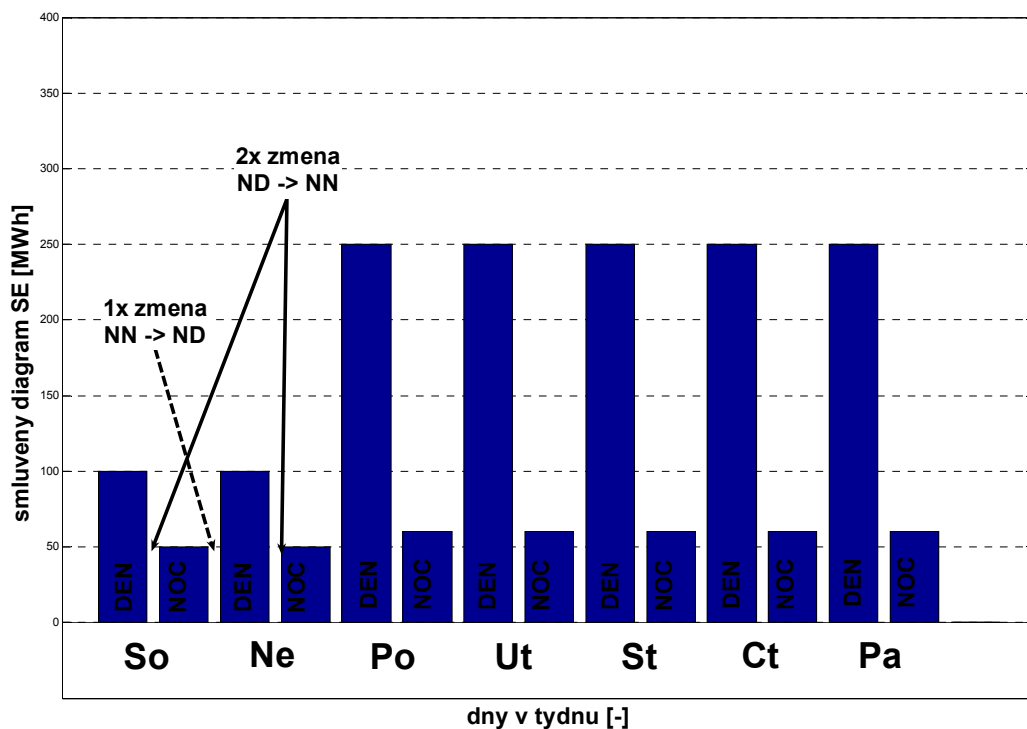
Přechod	četnost v týdnu
PD → PN	5
PN → ND	1
ND → NN	2
NN → PD	1

Tab. 2 Četnost přechodů v opačném směru v jednom energetickém týdny

Přechod	četnost v týdnu
PN → PD	4
ND → PN	0
NN → ND	1
PD → NN	0

Tab. 3 Výsledné hodnoty přechodů

přechod	četnost v týdnu
PN → PD	4,5
ND → PN	1
NN → ND	1,5
PD → NN	1

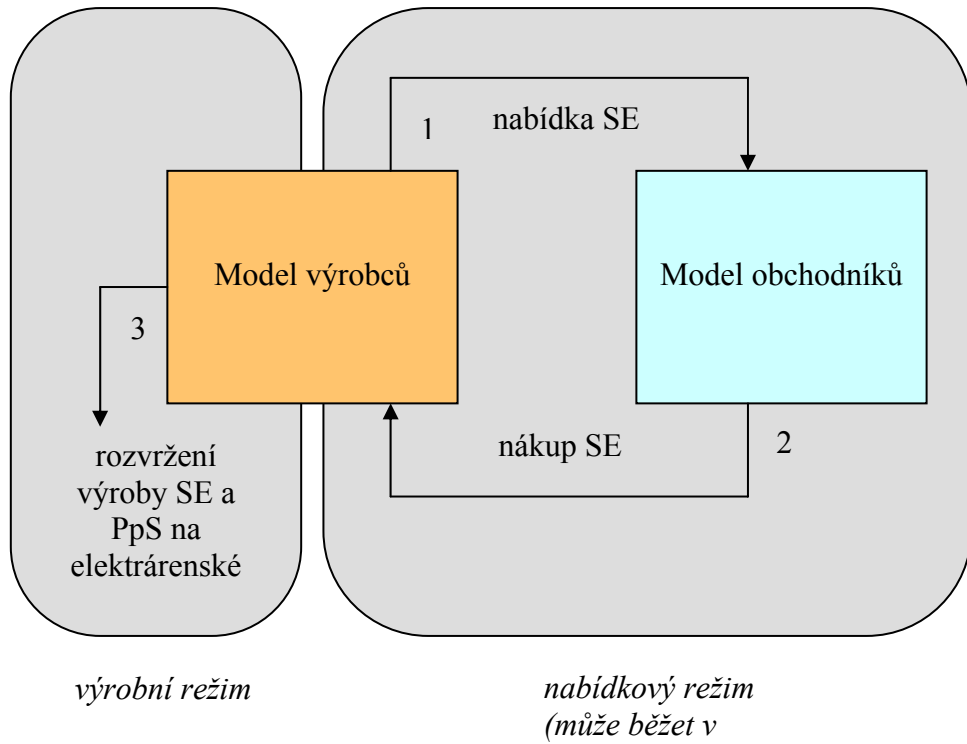


Obr. 8 Znáornění nesymetričnosti přechodů mezi dvěma sousedními intervaly v energetickém týdnu při neekvidistantním vzorkování

2.2.5 Nabídkový a výrobní režim

Model může pracovat ve dvou režimech – nabídkovém a výrobním. V nabídkovém režimu se výrobce rozhoduje, jaké množství SE a PpS bude nabízet na trhu. Výsledek optimalizace se předá modelu obchodníků se SE, kteří se rozhodnou, jak velkou část nabízeného množství, při zadaných cenách, nakoupí. Výsledek této optimalizační úlohy se předá zpět modelu výrobců, který může opět vytvořit nabídku SE a PpS. Tento cyklus mezi oběma modely může probíhat libovolně dlouho do té doby, dokud nebudou obě strany uspokojeny.

Po skončení nabídkových cyklů může model výrobců přejít do výrobního režimu, jehož výsledkem je konkrétní rozvržení prodané SE a PpS na jednotlivé elektrárenské bloky. V tomto režimu také musí výrobce dodržovat smluvený diagram, a uplatňují se tak případné náklady za způsobenou odchylku. Více o obchodní odchylce a její implementaci obsahuje odstavec 2.2.2. Celý cyklus zachycuje Obr. 9.



Obr. 9 Princip spolupráce mezi modelem výrobců a obchodníků

3 Testování vlivu parametrů softwaru pro řešení lineární optimalizace

Pro řešení lineární optimalizace byl vybrán program LP Solve verze 5.5 [4], který je k dispozici v samostatném grafickém rozhraní (LP Solve IDE) nebo také jako přídatný modul do výpočetního matematického prostředí Matlab.

Při řešení problému lineární optimalizací můžeme využít různých parametrických nastavení softwaru pro řešení lineární optimalizace. Tato nastavení mohou přispět k lepšímu nebo rychlejšímu vyřešení problému.

Bohužel nebylo možné dohledat žádný existující a uspokojivý návod pro nalezení optimálních parametrů pro tento typ optimalizačního problému. Proto bylo nevhodnější použít metodu hledání hrubou silou, tedy postupného automatizovaného vyzkoušení všech kombinací parametrů.

Skupiny parametrů, jejichž význam bude uveden v následujících odstavcích:

- SCALING
- PRESOLVE
- BRACH BOUND RULES

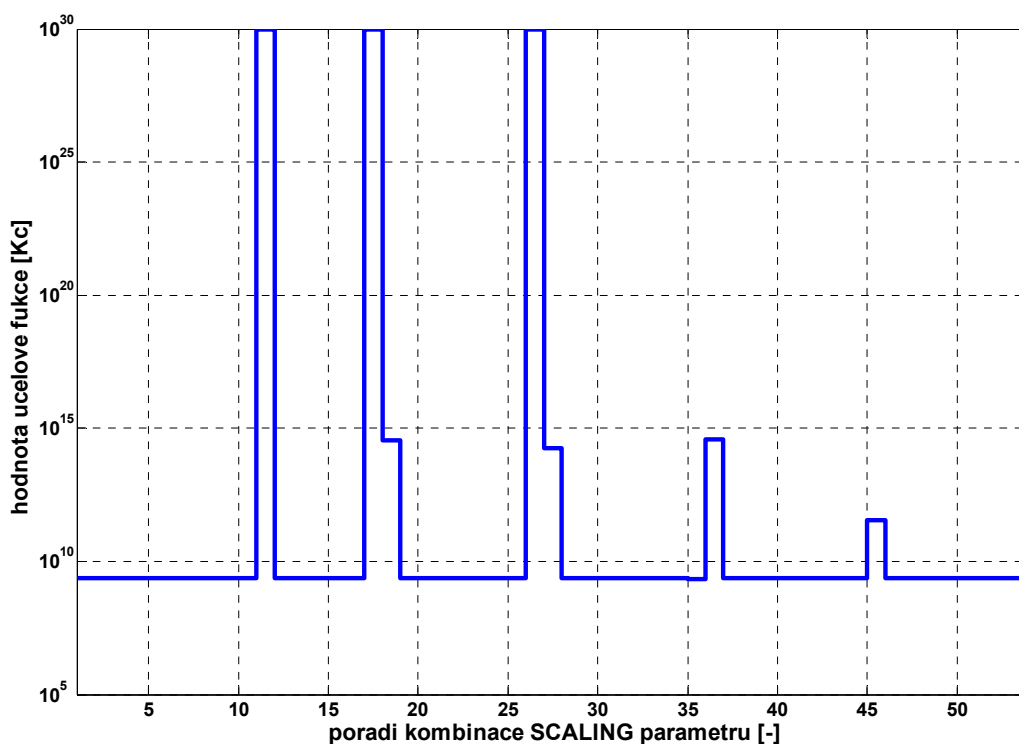
Protože by řešení všech možných kombinací parametrů převyšovalo rámec reálného časového horizontu, musely se jednotlivé skupiny parametrů testovat odděleně. Jednotlivá testování probíhala tedy tak, že se měnily hodnoty zvolené skupiny parametrů a zbylé dvě skupiny byly ponechány v implicitním nastavení [4], např. při testování parametrů SCALING byly ponechány parametry skupin PRESOLVE a BRANCH BOUND v původním nastavení a obměňovaly se parametry jen skupiny SCALING. V každé takto vzniklé kombinaci parametrů se pak provedlo řešení zmenšeného modelu. Zmenšený model obsahoval 14 el. bloků a 20 obchodních intervalů, tedy cca 1500 optimalizačních proměnných. Pro srovnání, týdenní model pro dominantního výrobce obsahuje 40 bloků a 168 hodinových intervalů a má asi 40000 optimalizačních proměnných. U zmenšeného modelu se vycházelo z předpokladu, že na něj bude mít nastavení parametrů stejný vliv jako na rozsáhlejší model, avšak testování rozsáhlejšího modelu by bylo neúnosně dlouhé.

3.1 Vliv parametrů SCALING

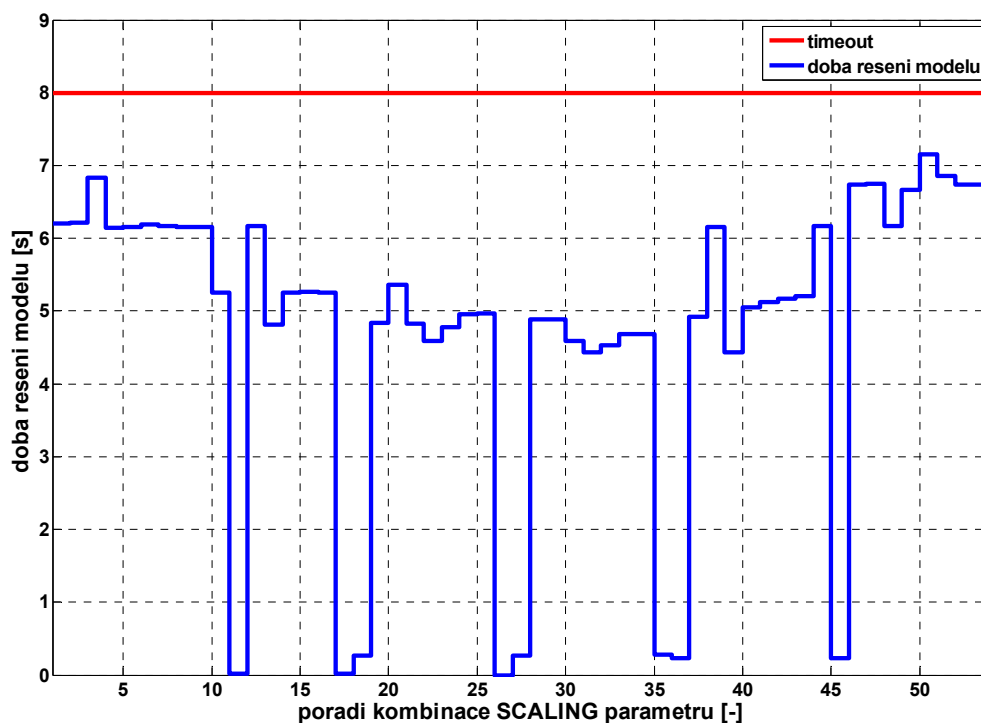
Parametry z této skupiny by měly zajistit větší numerickou stabilitu a zamezit chybě ze zaokrouhlování.

Skupina parametrů SCALING [4] obsahuje 6 hlavních a 9 přídatných parametrů. Ze skupiny hlavních parametrů může být vybrán právě jeden parametr. Přídatných parametrů může být použit libovolný počet, tedy 1 až 9. Pro testování se však použil vždy jeden parametr hlavní a jeden parametr přídatný. Ve skupině SCALING vyšlo celkem 54 možných kombinací. Výčet všech testovaných kombinací lze nalézt v přílohách v Tab. 7.

Při testování parametrů jsme měřili dvě veličiny: výslednou hodnotu účelové funkce a dobu řešení modelu (Obr. 10 a Obr. 11). U grafů zachycujících hodnotu účelové funkce bylo nutné použít u osy y logaritmickou stupnici z důvodu velkého rozsahu hodnot výsledků.



Obr. 10 Celkový výsledek optimalizace pro různá nastavení parametrů skupiny SCALING

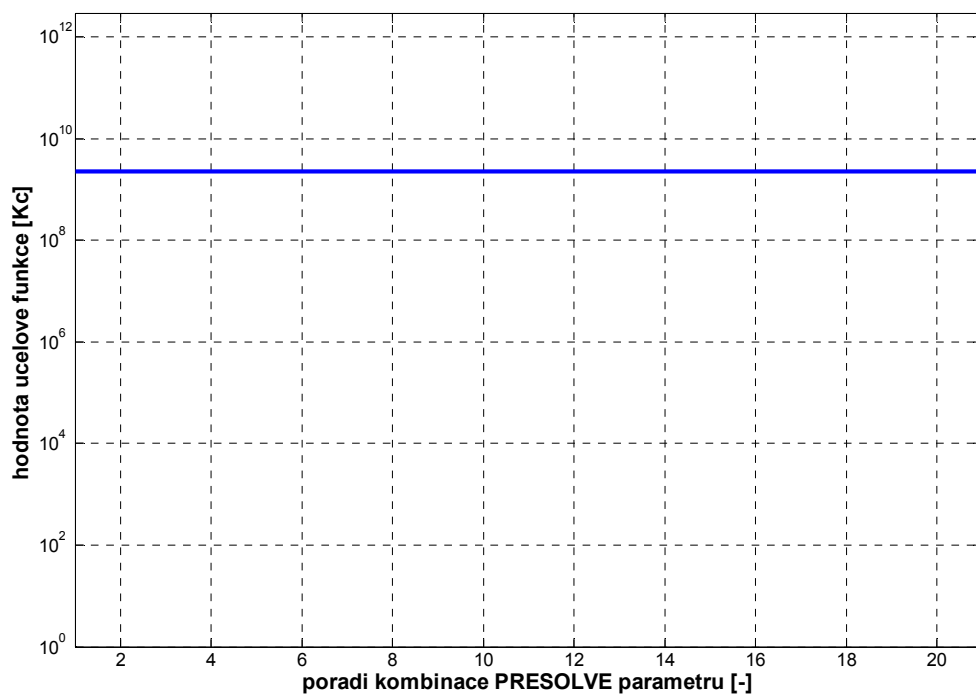


Obr. 11 Doba řešení modelu pro různé nastavení parametrů skupiny SCALING

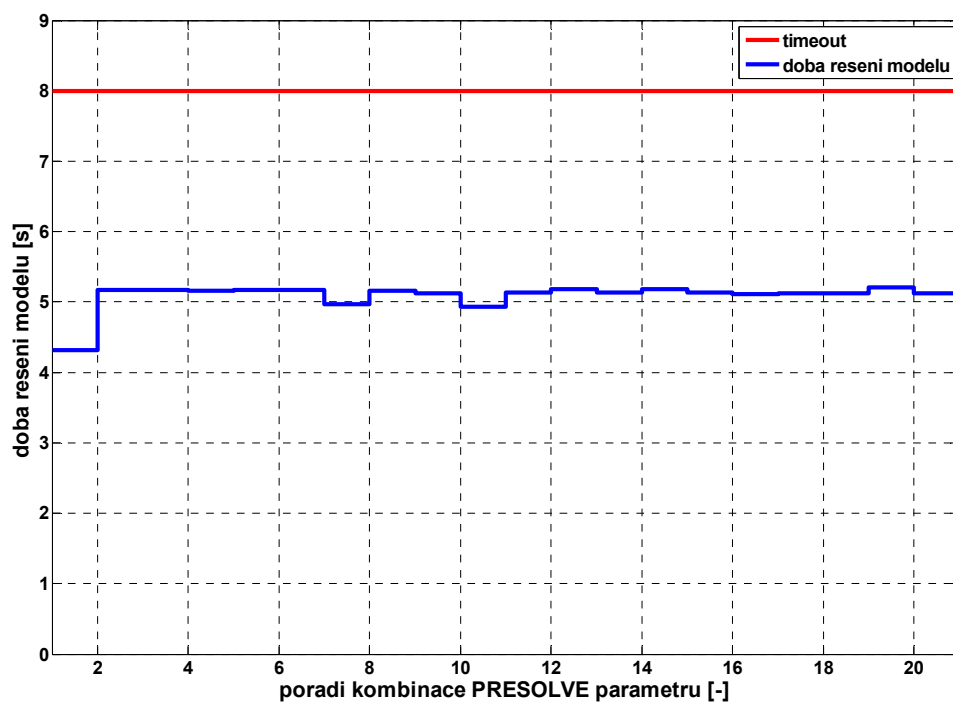
3.2 Vliv parametrů PRESOLVE

Parametry ze skupiny PRESOLVE by měly eliminovat redundantní či nesmyslná omezení vyskytující se v modelu a tím připravit model pro samotné řešení lineární optimalizací.

Skupina PRESOLVE obsahuje 21 parametrů, z nichž může být použitý libovolný počet, minimálně však jeden. Seznam testovaných kombinací lze nalézt v přílohách v Tab. 8. V této skupině parametrů se tedy vždy měnil jen jeden parametr. Pozorované veličiny jsou stejné jako v bodu 3.1. Výsledky jsou znázorněny na Obr. 12 a Obr. 13.



Obr. 12 Celkový výsledek optimalizace pro různá nastavení parametrů skupiny PRESOLVE



Obr. 13 Doba řešení modelu pro různá nastavení parametrů skupiny PRESOLVE

3.3 Vliv parametrů BRANCH BOUND

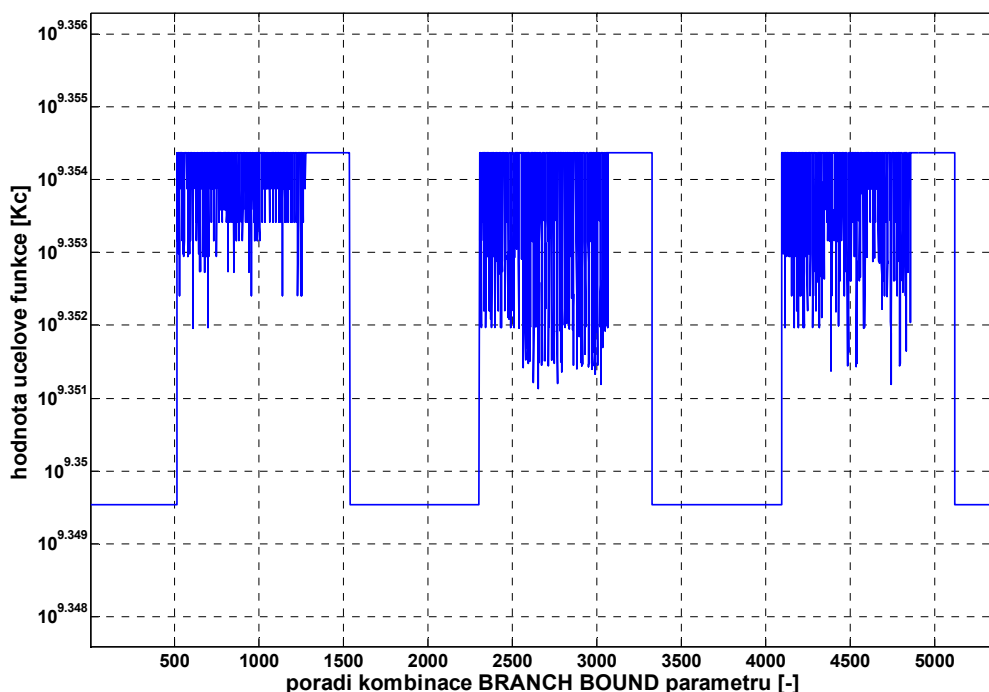
Parametry z této skupiny ovlivňují vlastnosti metody větví a mezí, která může asi nejvíce ovlivnit rychlost řešení lineární optimalizace. Při optimálně zadaných parametrech se totiž rozvíjí minimum větví, které nevedou k optimálnímu řešení lineární optimalizace.

Skupina BRANCH BOUND má celkem tři podskupiny po 3, 8 a 13 parametrech. U prvních dvou skupin platí, že z každé může být použito vždy po jednom parametru. Ve třetí skupině může být zadán libovolný počet parametrů, minimálně však jeden.

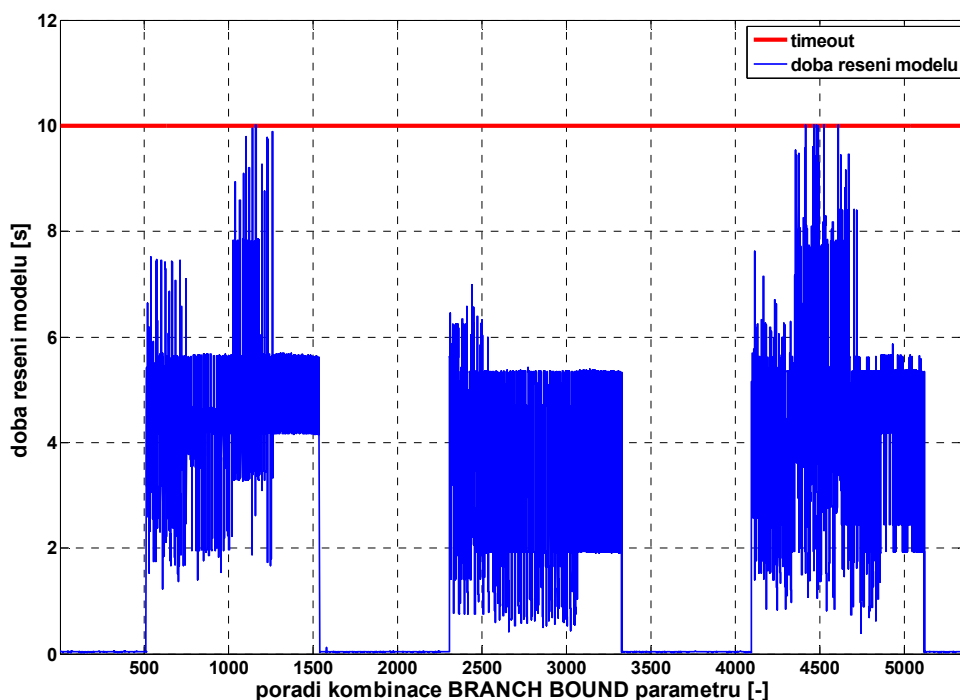
V tomto případě se učinila výjimka a zmenšený model se testoval s více parametry ze třetí skupiny najednou. Důvodem tohoto rozhodnutí byl předpoklad, že právě touto skupinou parametrů by se mohla zásadně ovlivnit doba výpočtu lineární optimalizace.

Počet použitých parametrů třetí skupiny byl však omezen hardwarovými nároky na vygenerování všech možností. Proto se určilo 5 parametrů ze třetí skupiny, které se nemodifikovaly (Tab. 9 v přílohách), tzn. že byly použity vždy. Ze zbylých 7 parametrů se pak vygenerovaly všechny možné kombinace. Celkový počet kombinací parametrů byl 5376. Všechny vygenerované kombinace můžeme opět nalézt v přílohách v Tab. 10.

Výsledky sledovaných veličin jsou na Obr. 14 a Obr. 15



Obr. 14 Celkový výsledek optimalizace pro různá nastavení parametrů skupiny BRANCH BOUND



Obr. 15 Doba řešení modelu pro různé nastavení parametrů skupiny BRANCH BOUND

3.4 Zhodnocení vlivu parametrů

Celé testování vlivu parametrů mělo za cíl zjistit takové kombinace parametrů, aby bylo možné dosáhnout rychleji stejného výsledku jako při použití implicitně nastavených parametrů.

Doba potřebná pro vyřešení modelu s implicitním nastavením parametrů nám tedy udává maximální možnou časovou hranici (v grafech označeno jako timeout), kterou jsme ochotni akceptovat. Všechny kombinace, které leží nad touto hranicí jsou pro nás tedy nezajímavé a byly ukončeny (v grafech tedy končí na úrovni hodnoty timeoutu).

Ačkoliv se podařilo pomocí této metody nalézt takové kombinace, které opravdu zrychlovaly a zlepšovaly výpočet optimalizace, jednalo se vždy o řešení nepřipustná tj. nerespektovala všechna omezení modelu. Typický příklad takovýchto kombinací parametrů můžeme pozorovat na Obr. 10, kde pro tyto kombinace převyšovala hodnota účelové funkce svou běžnou hodnotu o 5 až 20 řádů (správná hodnota účelové funkce se pohybovala kolem $10^{9,35}$). Zvláště citlivá na změnu parametrů byla dále omezení s nespojitými (popř. polospojitémi) proměnnými. Proč docházelo k nepřipustným řešením se bohužel nepodařilo zjistit. Kvůli těmto skutečnostem se tedy model řešil dále jen s pomocí implicitně nastavených parametrů, které spolehlivě respektovaly všechna omezení.

Protože je však řešení modelu pro dominantního výrobce s pomocí implicitně nastavených parametrů příliš časově náročné, musíme vždy výpočet přerušit a to i za cenu, že nedosáhne svého optima. V Tab. 4 je pak výčet maximálních dob trvání pro daný režim a horizont simulace.

Uvedené časy byly dosaženy na hardwarové konfiguraci Pentium 4 HT 3,8 GHz s 2 GB RAM a na operačním systému Microsoft® Windows Server 2003.

Tab. 4 Tabulka časové náročnosti jednotlivých modelů

Režim	Model	Celková orientační doba potřebná k sestavení definice modelu a její vyřešení [min]
Nabídkový	Denní	15
	Týdenní	50
	Měsíční	15
	Roční	60-70
Výrobní	Denní	20
	Týdenní	60-70
	Měsíční	20
	Roční	80-90

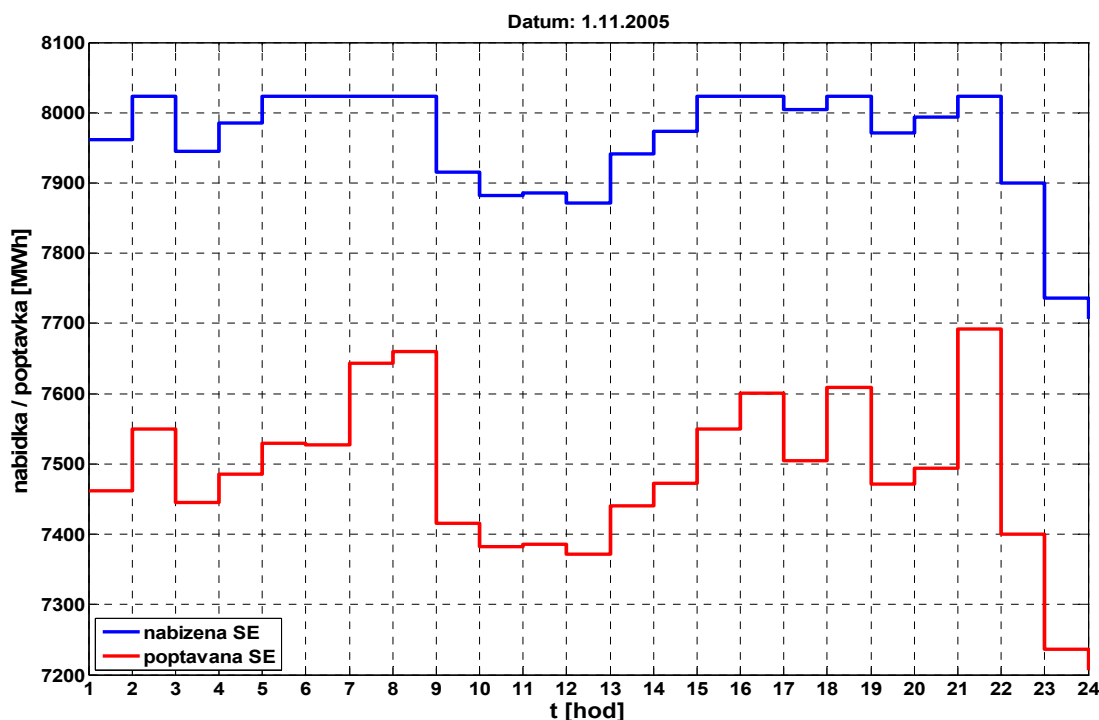
4 Výsledky simulací

Výsledky simulací lze rozdělit na dvě kategorie podle simulovaného období – krátký a dlouhý horizont. Krátkým horizontem se myslí model pro denní a týdenní horizont. U dlouhého horizontu je to pak měsíc a rok. Dále se můžou výsledky rozdělit dle režimu, ve kterém model pracuje – nabídkový a výrobní.

4.1 Nabídkový režim

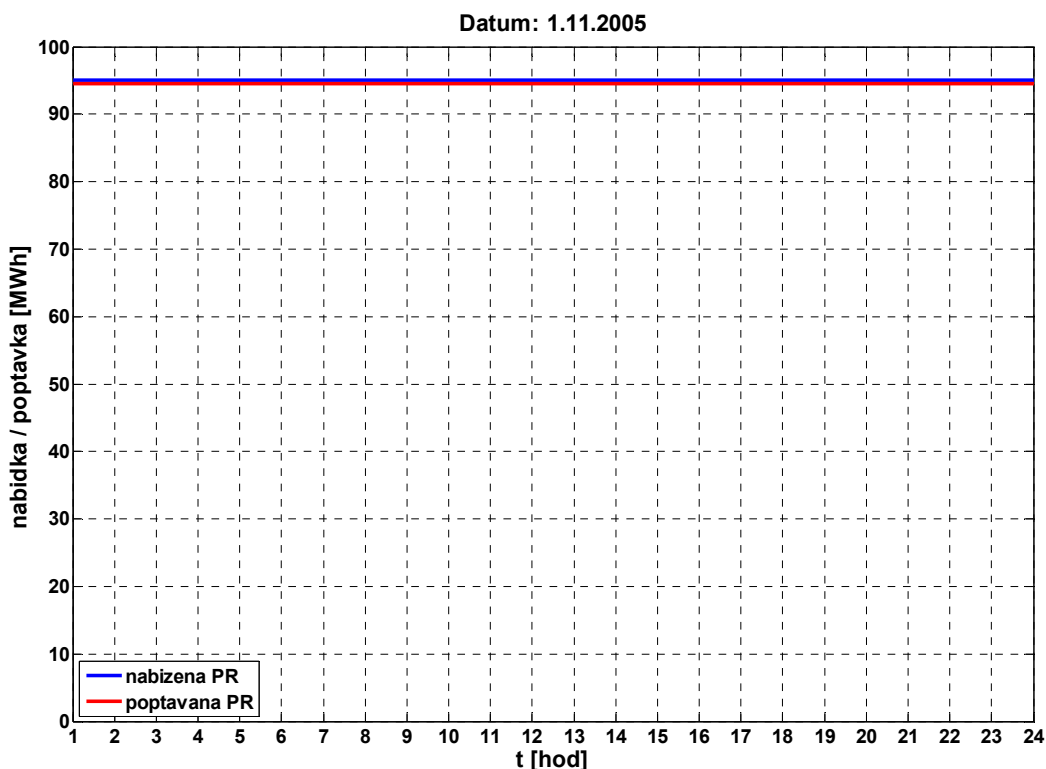
4.1.1 Krátký horizont

Pro krátký horizont bylo zvoleno hodinové (ekvidistantní) vzorkování. Důvodem je potřeba dostatečné přesnosti pro tyto horizonty. Týdenní horizont (168 hodin) je však horní mezí pro hodinové intervaly. Tato mez je zde z důvodu vysoké časové náročnosti výpočtu optimalizace pro model dominantního výrobce na trhu. Na Obr. 16 je zachycen výsledek nabídky dominantního výrobce v denním modelu (pro den 1.11.2005). Výsledek ukazuje, že výrobce byl schopen plně pokrýt poptávku a nabídnout dokonce ještě vyšší množství, což je způsobeno výhodně nastavenými odhady cen. Velikost nabídky výrobce je, ale limitována součtem celkové očekávané poptávky SE v České republice a exportu SE do zahraničí.



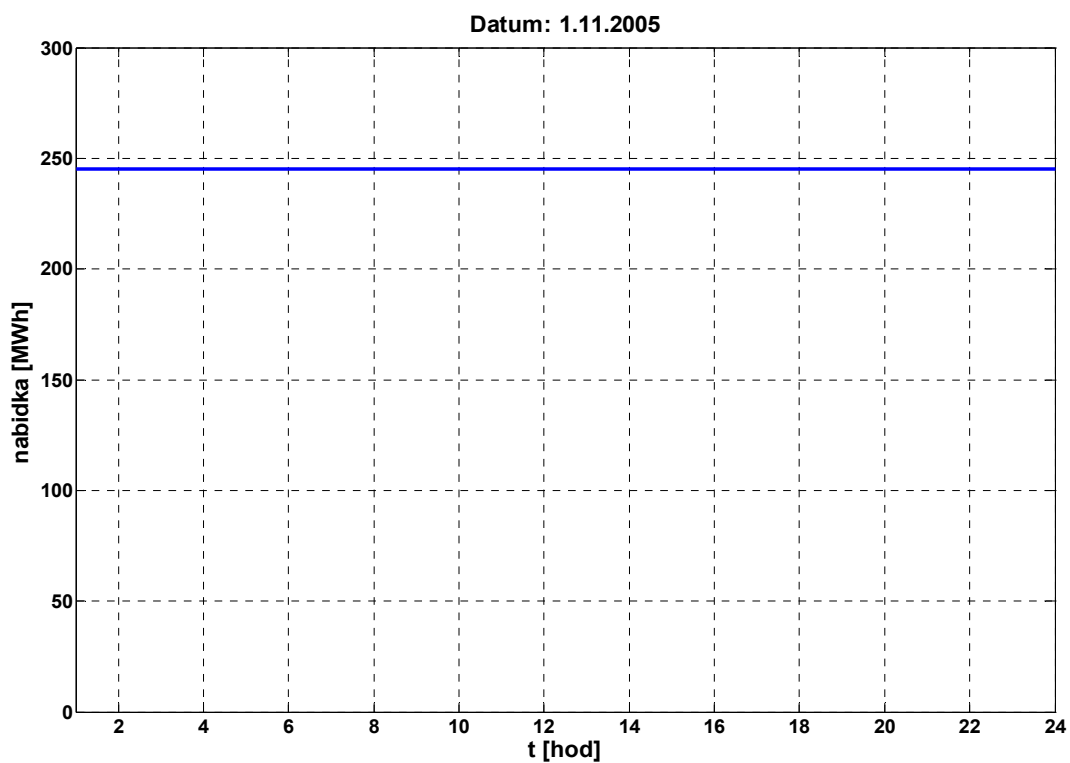
Obr. 16 Nabídka SE dominantního výrobce pro denní model

Na Obr. 17 vidíme jak dopadla nabídka PR dominantního výrobce pro totéž simulované období. Je jasné, že za takto zadaných odhadů cen se bude výrobce snažit nabídnout co největší množství PpS, které poskytuje, jelikož má z těchto produktů nezanedbatelně vyšší zisk než z prodeje SE. Obdobně by tedy dopadla nabídka pro další poskytované PpS.

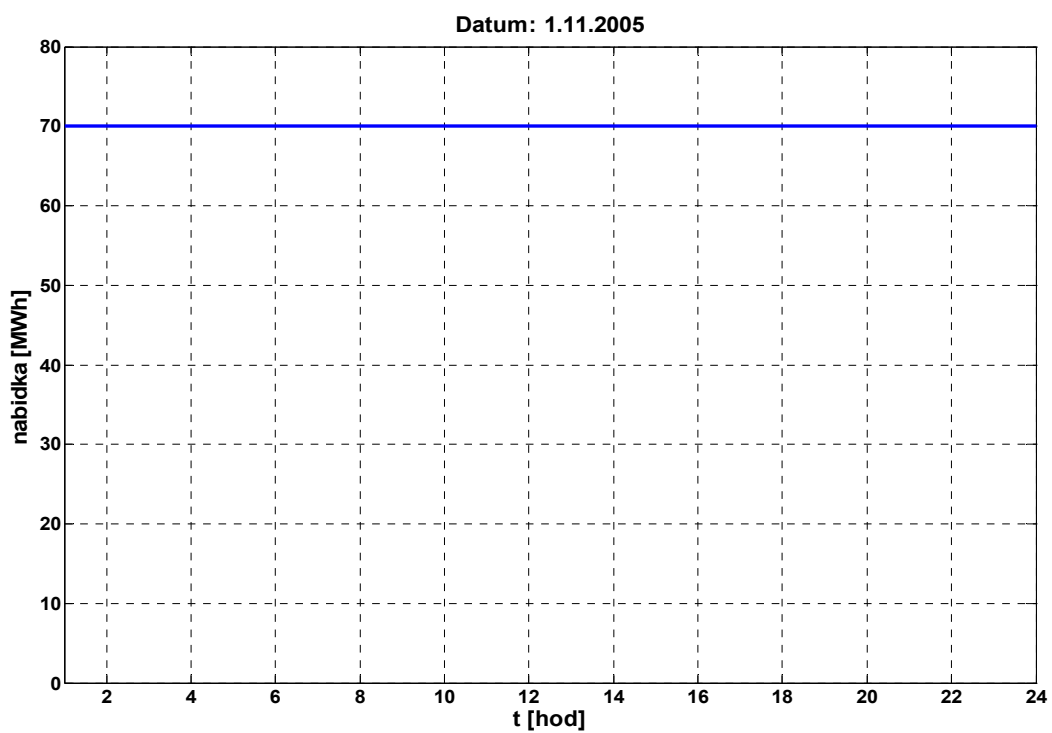


Obr. 17 Nabídka PR dominantního výrobce pro denní model

Výsledky nabídek SE a DZ pro vybraného malého výrobce pro denní horizont se nalézají na Obr. 18 a Obr. 19. Na nich vidíme, že výrobce poskytuje konstantní výkon, který se mu vyplatí nabídnout spolu s dalšími PpS. Jelikož hodnota poptávky SE je několikrát vyšší než celkový instalovaný výkon výrobce, nemá takto vysoká poptávka vliv na nabídku malého výrobce. Toto tvrzení lze pak vztáhnout na všechny malé výrobce, protože je jejich celkový instalovaný výkon několikrát nižší než poptávané množství SE.

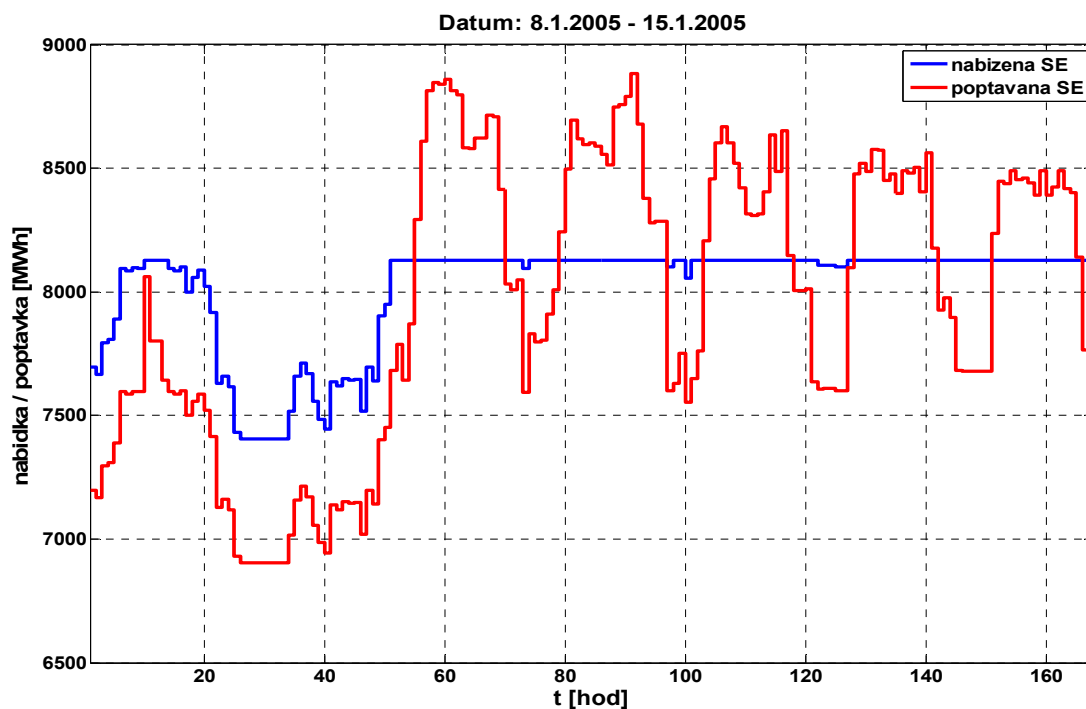


Obr. 18 Nabídka SE vybraného malého výrobce pro denní model

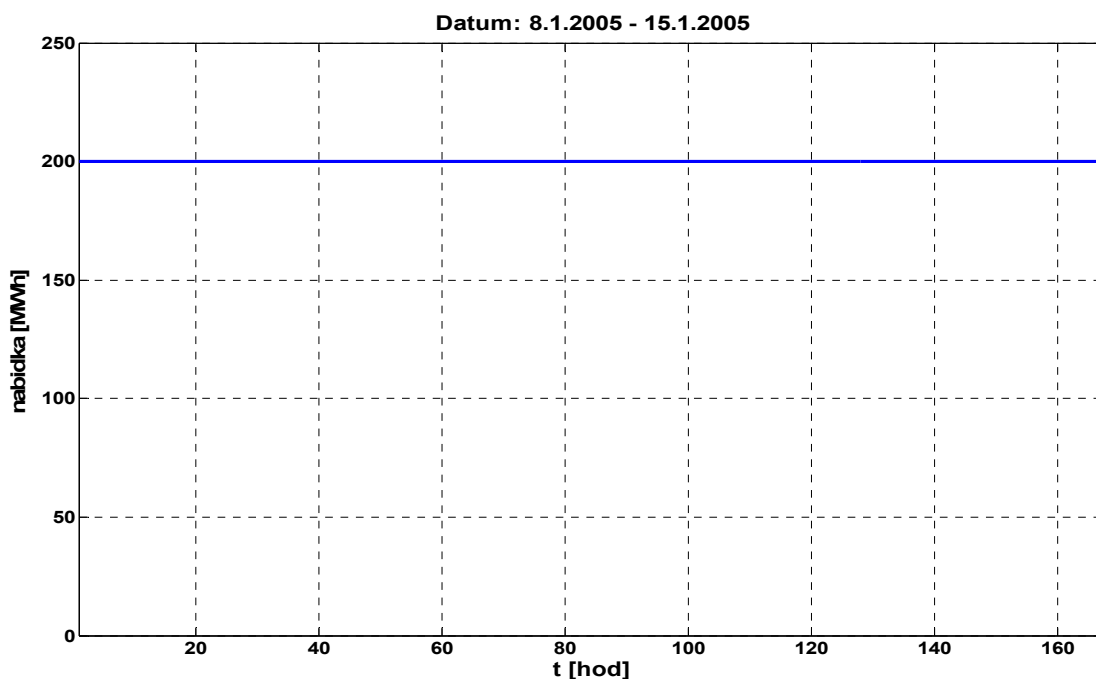


Obr. 19 Nabídka DZ vybraného malého výrobce pro denní model

Aby byl výčet modelů pro krátké horizonty kompletní, je uveden ještě výsledek nabídky SE dominantního výrobce pro týdenní model. Na něm lze pozorovat, že výrobce pokrýl, téměř celý poptávaný diagram až na denní špičky. To, že nenabídnul dostatečný výkon v pracovních dnech, je způsobeno dvěma faktory. Prvním z nich je, že se výrobce soustředil na nabídku PpS, ze které má vyšší zisk. Za druhé pak, že při takto nastavených odhadech cen na některých elektrárenských blocích má vyšší náklady než potenciální zisky a nevyplatí se mu je najíždět a provozovat. Lze tedy říct že nabízí svůj maximální instalovaný výkon, který se mu opravdu vyplatí vyrobit. Výsledky nabídky SE a TRP jsou vidět na Obr. 20 a Obr. 21.

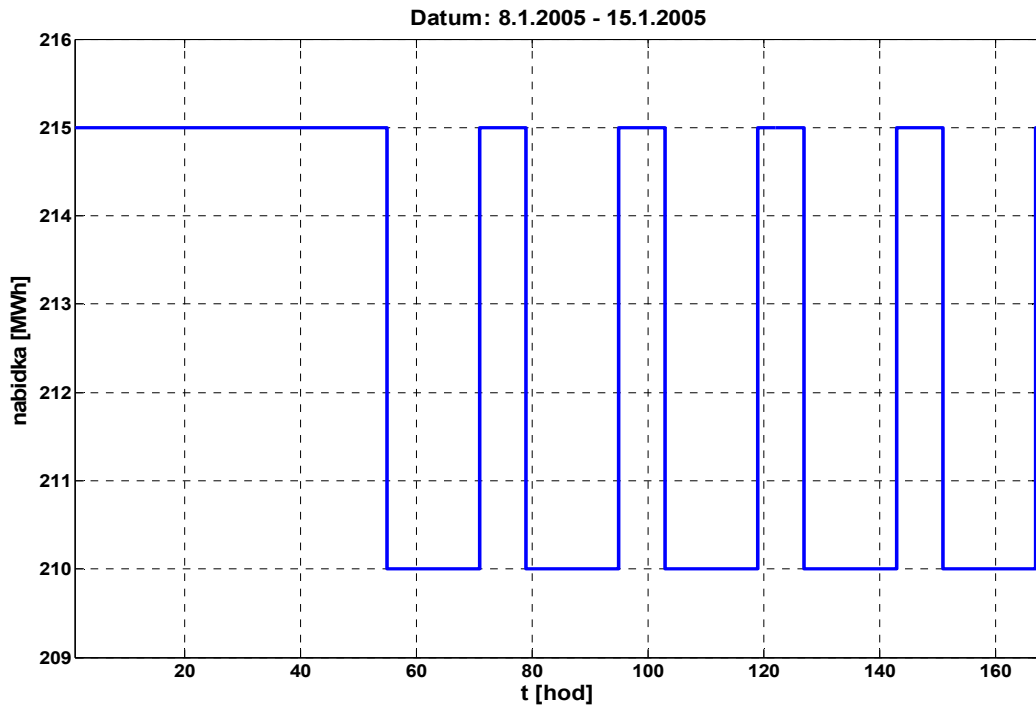


Obr. 20 Nabídka SE dominantního výrobce pro týdenní model

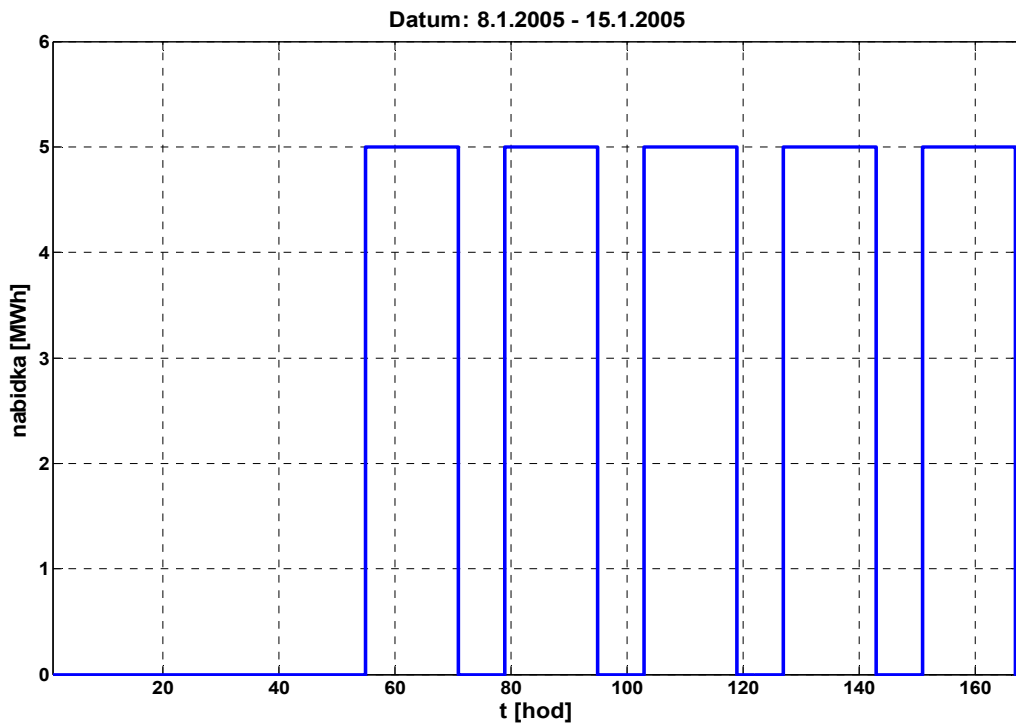


Obr. 21 Nabídka TRP dominantního výrobce pro týdenní model

Obr. 22 ukazuje nabídku SE pro malého výrobce v malém modelu. Zároveň vidíme na Obr. 23 nabídku TRP stejného výrobce. Z obou grafů lze vypočítat, že výrobce přes pracovní dny snižuje nabídku SE, tak aby mohl poskytovat více (větší rozsah) TRP, ze které má vyšší zisk.



Obr. 22 Nabídka SE vybraného malého výrobce pro týdenní model



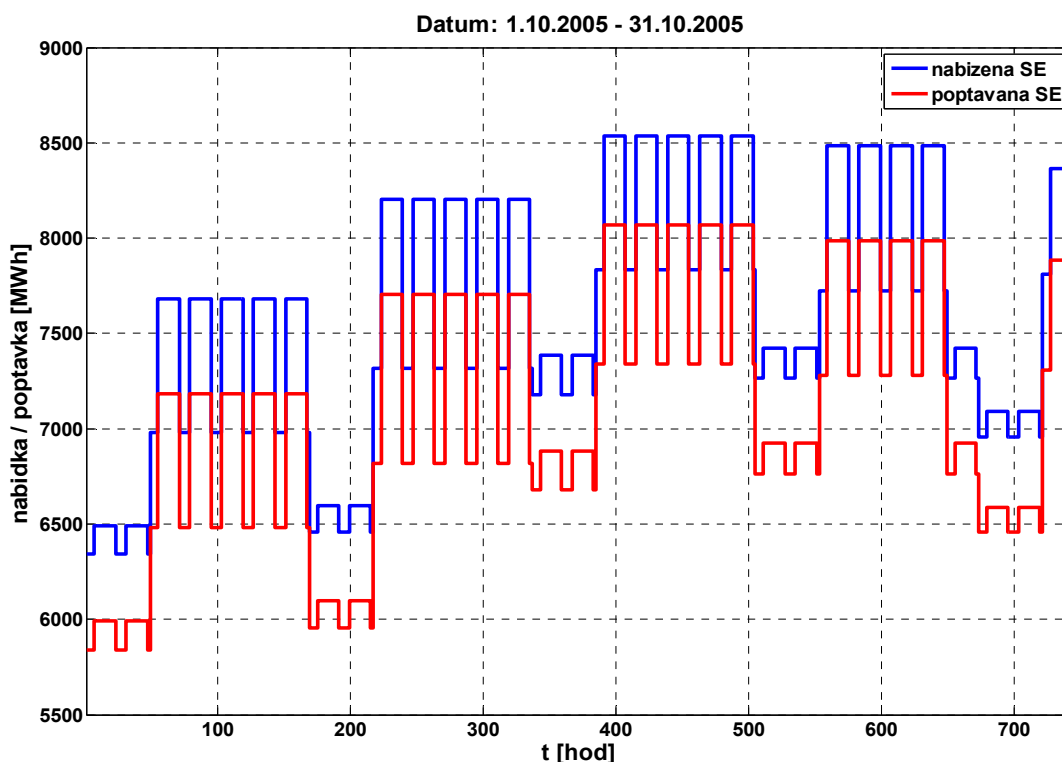
Obr. 23 Nabídka TRP vybraného malého výrobce pro týdenní model

4.1.2 Dlouhý horizont

U dlouhého horizontu bylo nutné použít neekvidistantní časové vzorkování (viz 2.2.4), jelikož by při hodinových intervalech trvala optimalizační úloha neúnosně dlouho. Tento fakt je opět dán rozsáhlostí modelu pro dominantního výrobce.

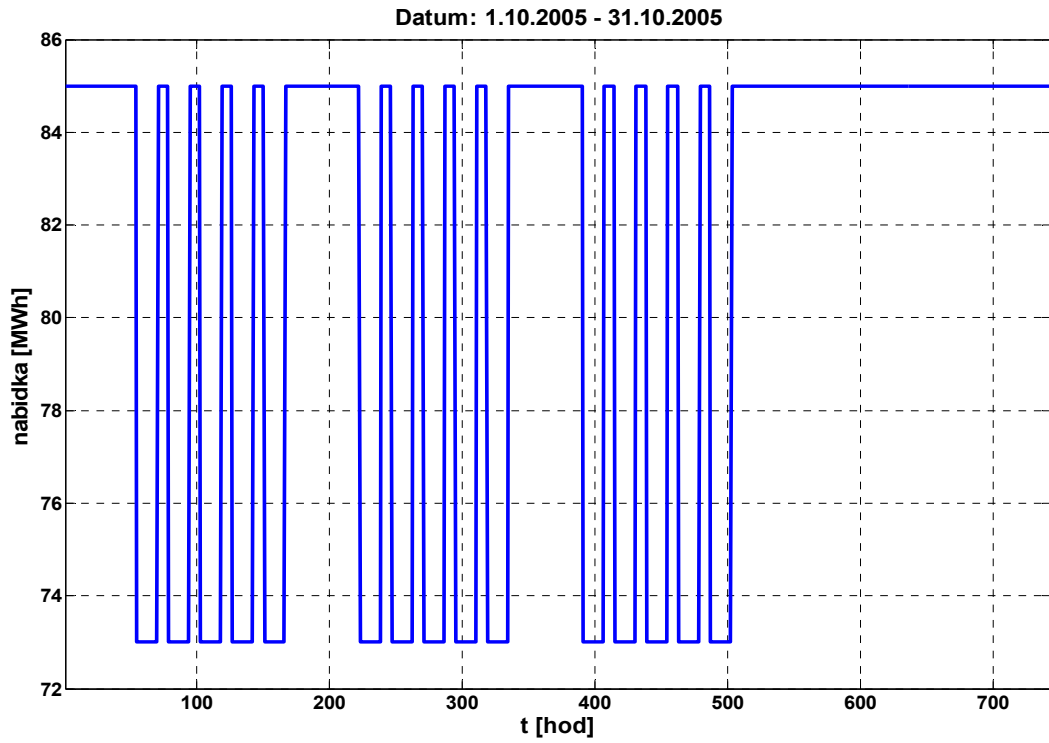
Protože by byl výstup v neekvidistantním vzorkování poněkud matoucí a náročný na interpretaci, musí se výsledné diagramy převzorkovat zpět na hodinové intervaly. Vinou neekvidistantního vzorkování však dochází k částečné ztrátě informace. Se všemi pracovními dny, pracovními nocemi atd. je totiž nakládáno stejně. Při převzorkování zpět na hodinové intervaly dochází tedy jen k „roztážení“ hodnot výsledků v neekvidistantním vzorkování do hodinových intervalů.

Výsledek nabídky SE dominantního výrobce pro takto převzorkovaný simulovaný interval měsíce vidíme na Obr. 24. Z obrázku je vidět, že výrobce dokázal pokrýt poptávku a nabídnout ještě vyšší množství SE. Výsledky nabídek PpS pro dominantního výrobce by byly tak jako u kratších modelů zase konstantní a měli hodnotu poptávaného množství.

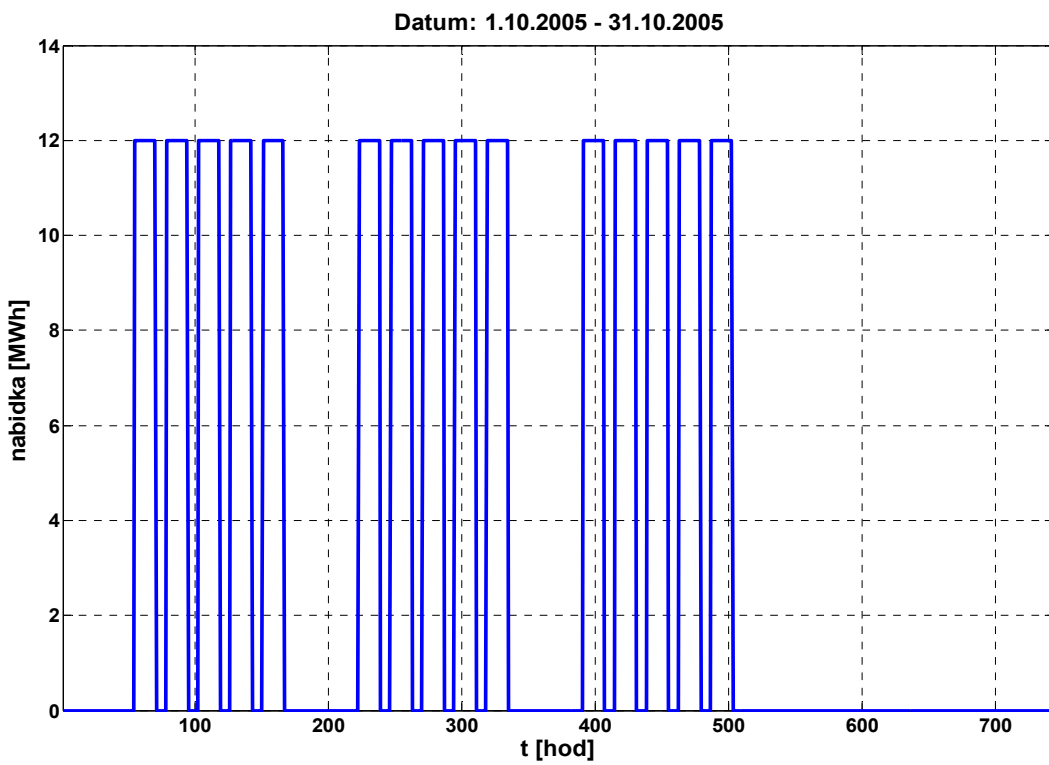


Obr. 24 Nabídka SE dominantního výrobce pro měsíční model

Výsledek nabídky SE a TRP pro malého výrobce lze nalézt na Obr. 25 a Obr. 26. Na nich vidíme obdobný jev snižování výkonu bloku v denním pracovním pásmu, za cílem vyššího zisku z větší nabídky rozsahu TRP. Dále také vidíme, že se toto snižování vyplatilo pouze v prvních třech týdnech měsíce. V posledním týdnu pak byla vzrostla cena za SE a výrobci se přestalo vyplácet snižovat přes den její výrobu.



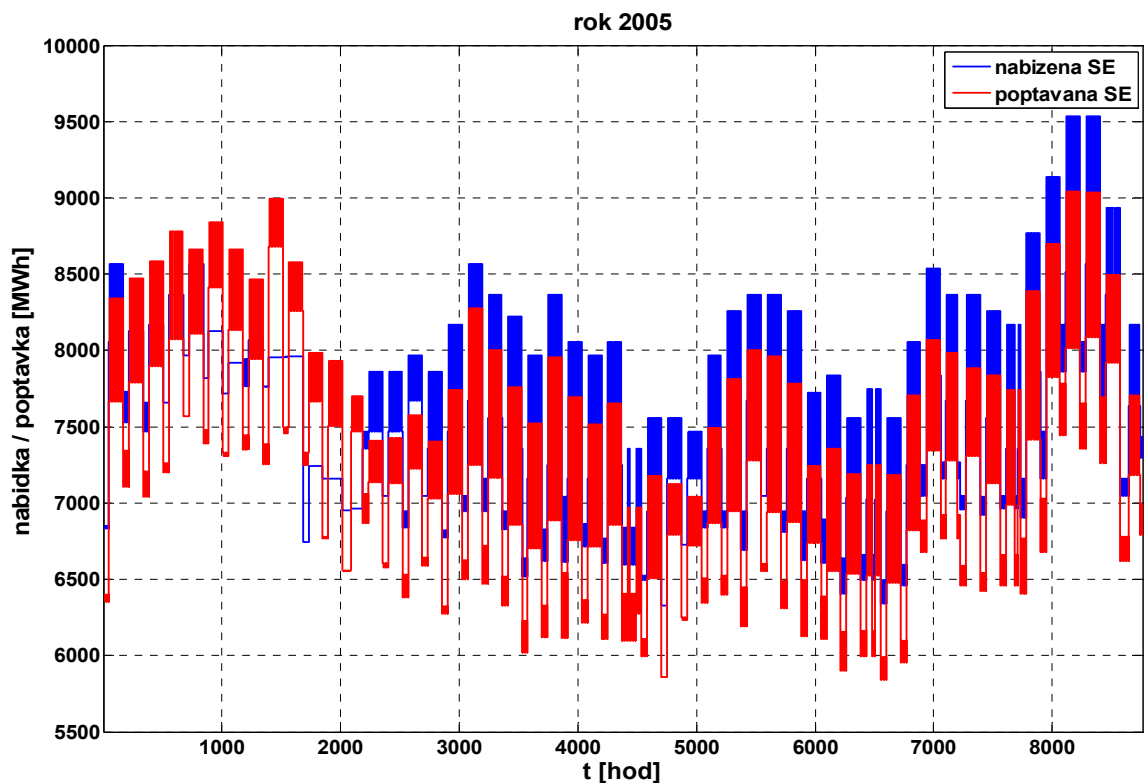
Obr. 25 Nabídka SE vybraného malého výrobce pro měsíční model



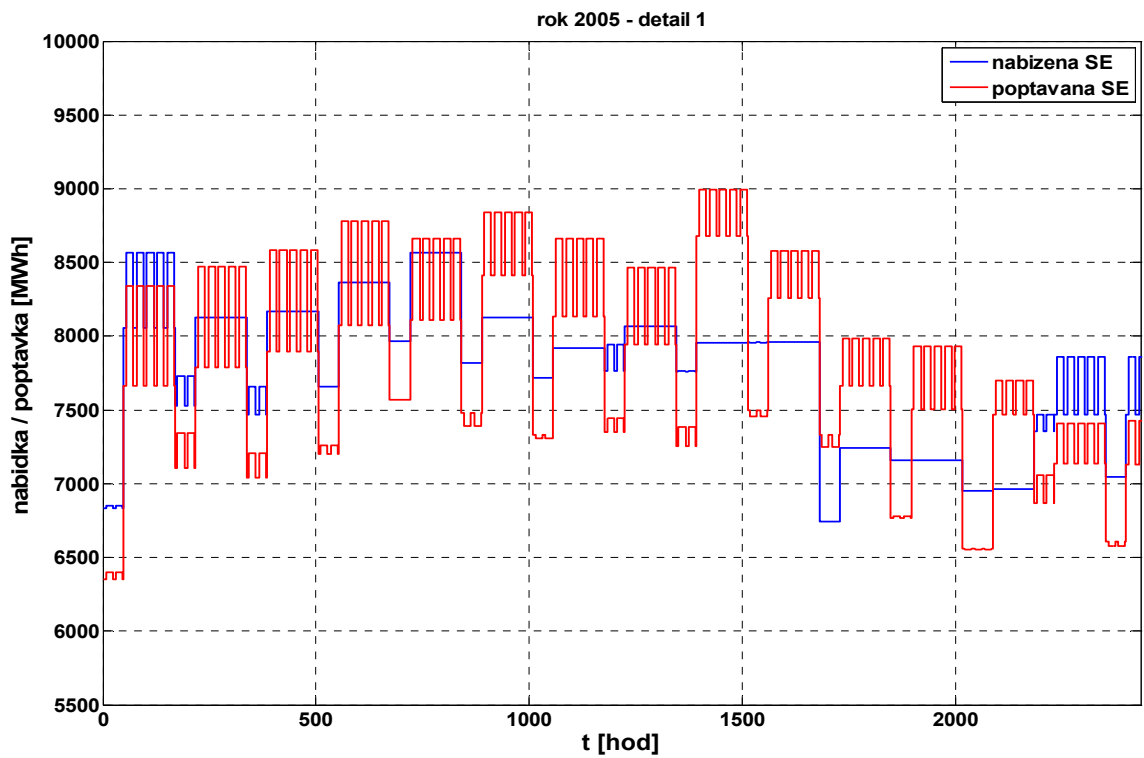
Obr. 26 Nabídka TRP vybraného malého výrobce pro měsíční model

Na Obr. 27 vidíme výsledek modelu pro nejdelší simulovaný horizont, kterým byl celý rok. Protože by byl roční model svým počtem intervalů (v neekvidistantním vzorkování $53 \times 4 = 212$ intervalů) opět příliš velký a tedy časově náročný, musel se roční model řešit rozdělením na 4 čtvrtroční modely.

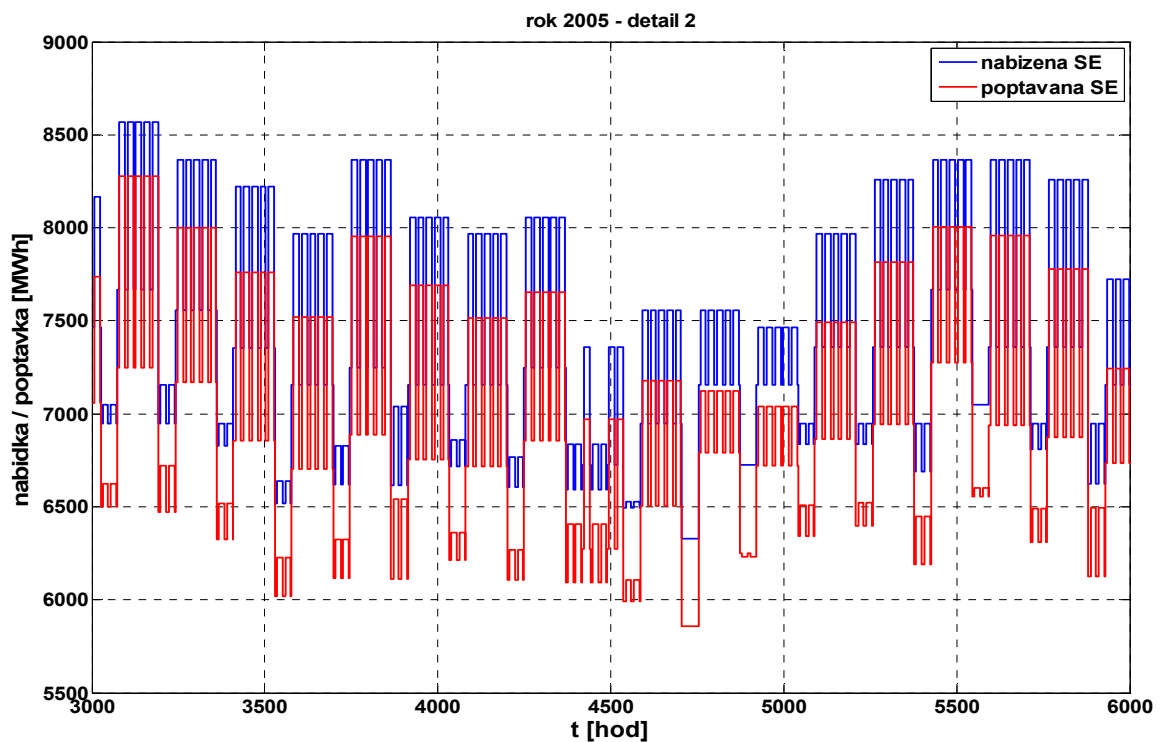
Na nabídce jde jasně vidět, že v prvním čtvrtletí se výrobci nevyplatilo nabídnout tolik SE, po které byla poptávka. To je způsobeno nastavením odhadů cen, při kterých se nevyplatí najíždět „příliš drahé“ elektrárenské bloky a upřednostnění nabídky PpS, ze které má výrobce vyšší výnosy. Naopak v dalších čtvrtletích jsou ceny již nastaveny tak, že může výrobce uvést do provozu dostatečný počet bloků, aby s rezervou pokryl celou poptávku. Detaily obou případů nabídek jsou pak k dispozici na Obr. 28 a Obr. 29.



Obr. 27 Nabídka SE dominantního výrobce pro roční model

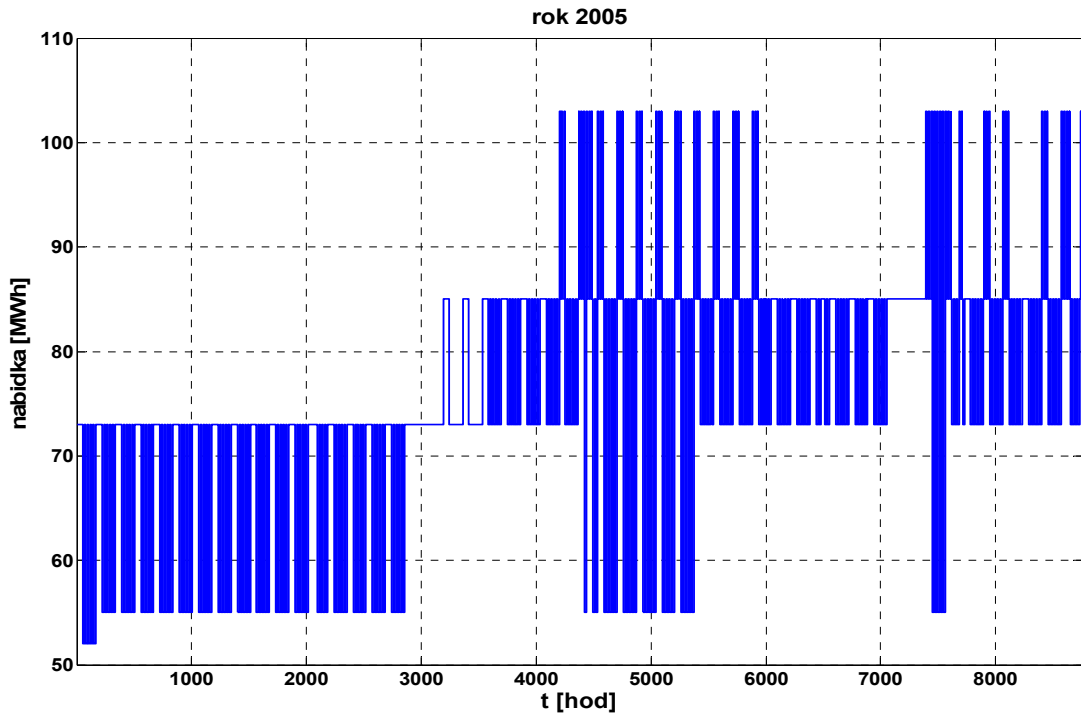


Obr. 28 Detail z výsledku nabídky SE dominantního výrobce pro roční model – výrobce nedokázal pokrýt ve všech intervalech poptávku

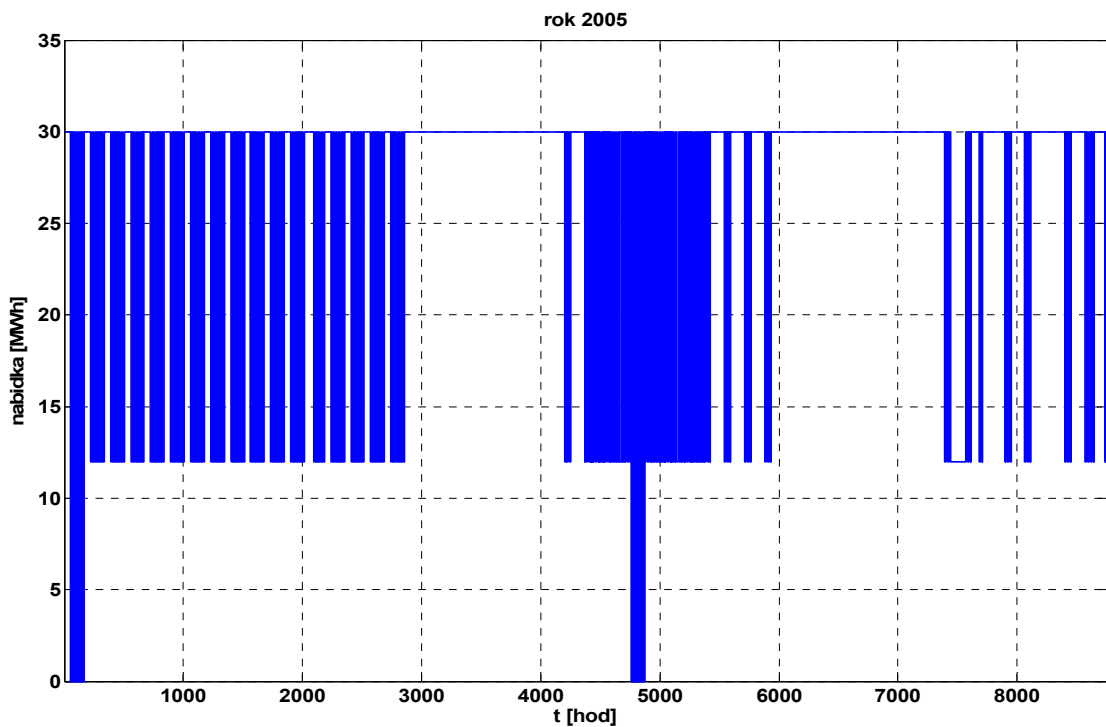


Obr. 29 Detail z výsledku nabídky SE dominantního výrobce pro roční model – výrobce dokázal pokrýt ve všech intervalech poptávku

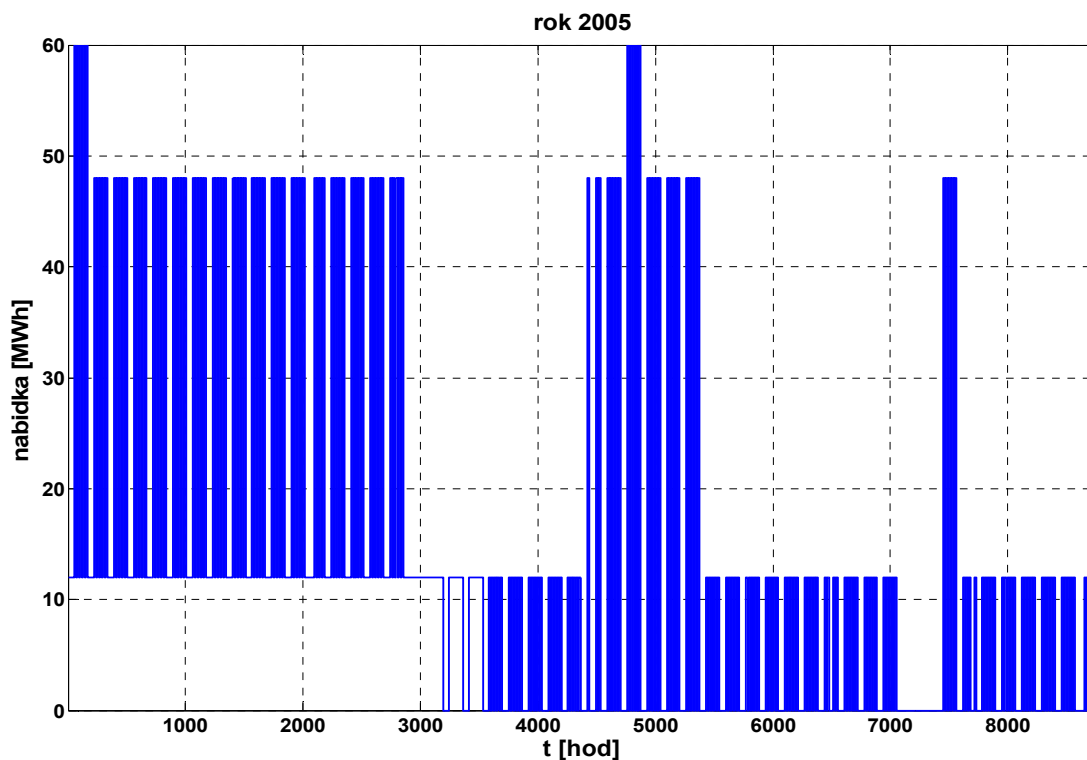
Na Obr. 30, Obr. 31 a Obr. 32 vidíme, jak dopadla nabídka SE, SR a TRP pro malého výrobce v ročním modelu. Z grafů lze vidět zmiňovaný efekt snižování nabídky SE ve prospěch dražších PpS. Tento jev může dokonce nastat i mezi samotnými PpS. Z Obr. 31 a Obr. 32 vidíme, že výrobce snižuje přes pracovní dny nabídku SE a SR, aby mohl nabídnout větší množství TRP, za které bude mít spolu s nižší nabídkou SE celkový zisk větší.



Obr. 30 Nabídka SE vybraného malého výrobce pro roční model



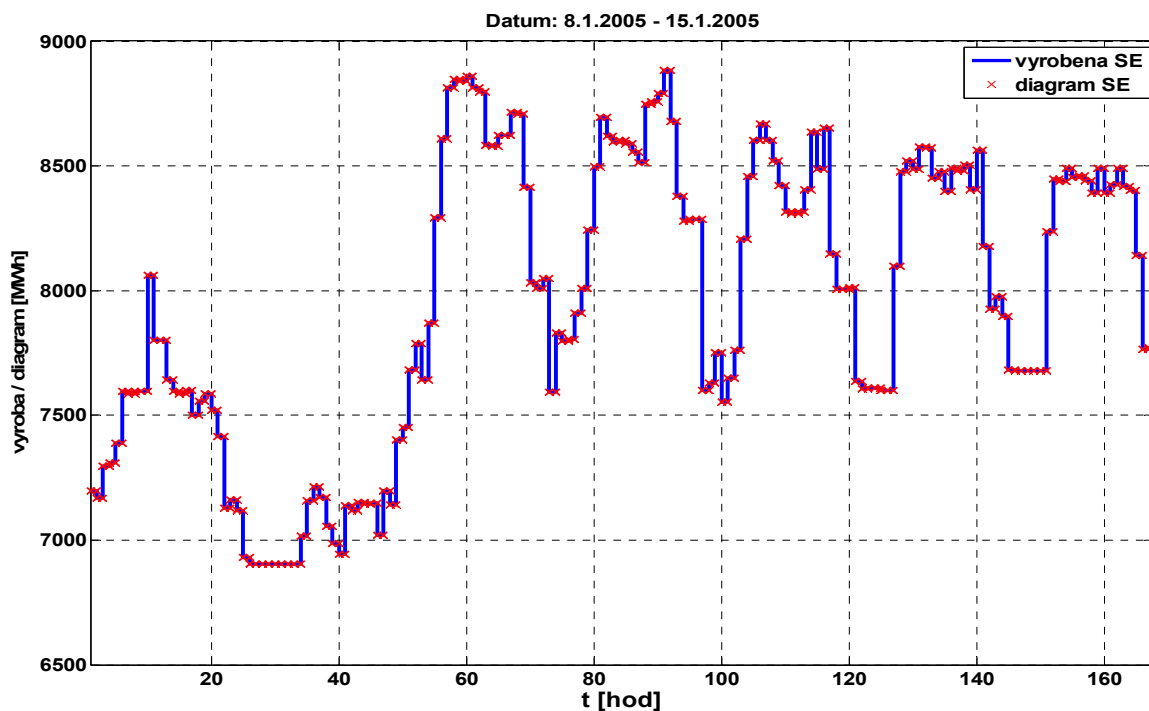
Obr. 31 Nabídka SR vybraného malého výrobce pro roční model



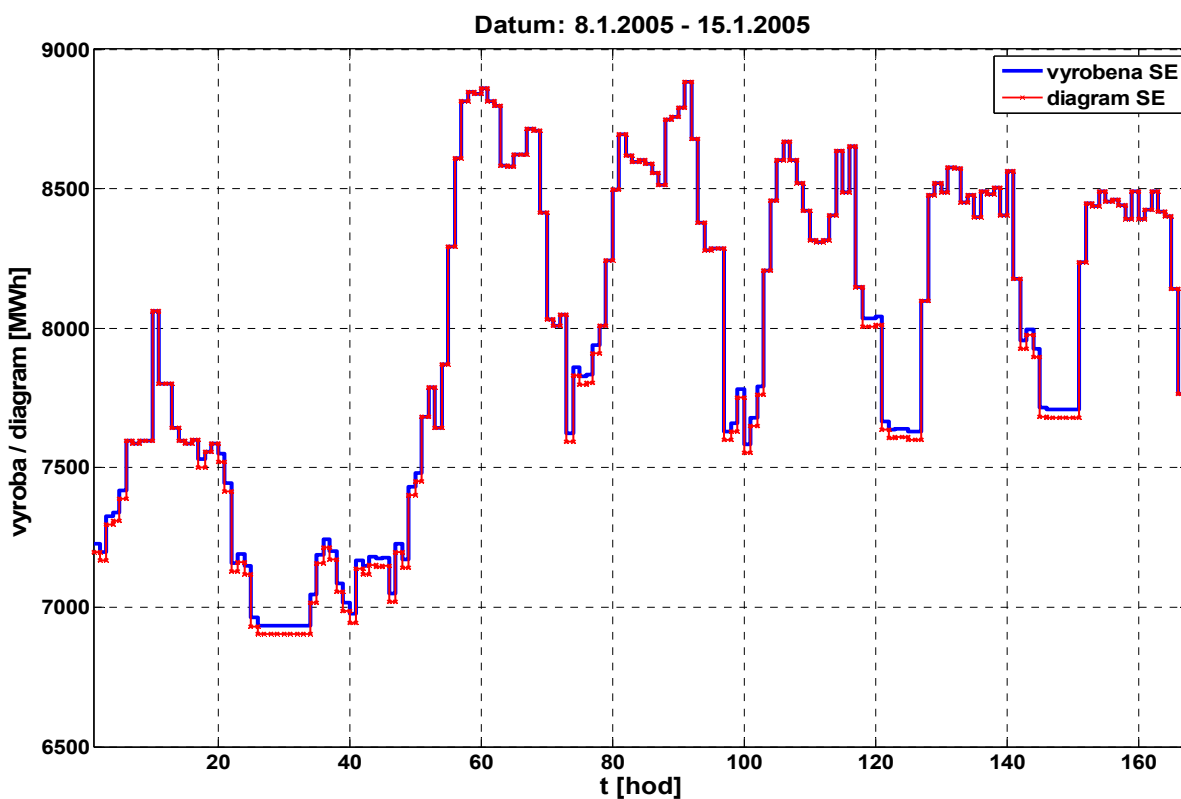
Obr. 32 Nabídka TRP vybraného malého výrobce pro roční model

4.2 Výrobní režim

Ve výrobním režimu se na rozdíl od nabídkového uplatňuje penalizace výrobce za nedodržení jeho smlouvaného diagramu (zúčtování odchylky). Výrobci se však za určitých okolností (nastavení odhadů cen za odchylku a odhadů cen SE a PpS) může vyplatit odchylku způsobit. Na Obr. 33 je vidět výsledek výroby SE dominantního výrobce pro týdenní model při vysokých cenách za odchylku (Tab. 5). Zde se výrobci nevyplatilo jít do odchylky a respektoval plně svůj smlouvaný diagram. Na dalším obrázku (Obr. 34) je pak vidět jak dopadne stejná situace pro nízké ceny za odchylku (Tab. 6), že při snížení smlouvaného diagramu (typicky v nepracovní noc) se výrobci vyplatí způsobit kladnou odchylku. Jeho chování je motivováno tím, že se mu vyplatí některé bloky neodstavit, jelikož by je pak ve dne musel zase draze najíždět. Celková cena za způsobenou odchylku je nižší než náklady potřebné pro opětovné najetí bloků.



Obr. 33 Srovnání výsledku celkové výroby SE a smluveného diagramu pro dominantního výrobce v týdenním modelu při vysokých cenách za odchylku



Obr. 34 Srovnání výsledku celkové výroby SE a smluveného diagramu pro dominantního výrobce v týdenním modelu při nízkých cenách za odchylku

Z Tab. 6 je vidět, že pro funkci ceny odchylky byly zvoleny dva zlomy (nepočítáme zlom v nule), funkce má tedy čtyři intervaly s různými cenami za odchylku – intervaly: $(-\infty, 20)$, $(20, 0)$, $(0, 30)$ a $(30, \infty)$ MWh. Cena za kladnou odchylku v intervalu $(0, 30)$ MWh je nastavena na nízkou hodnotu 100 Kč/MWh a tak se výrobci vyplatí způsobit kladnou odchylku právě jen v tomto intervalu, což potvrzuje také Obr. 34, ve kterém je vidět, že výrobce nikde nezpůsobil odchylku větší než je hodnota zlomu.

Tab. 5 Použité ceny odchylky (vysoké)

Zlom – velikost odchylky [MWh]	Kladná odchylka		Záporná odchylka	
	0	30	0	20
Cena za odchylku [Kč/MWh]	3000	4000	2500	3000

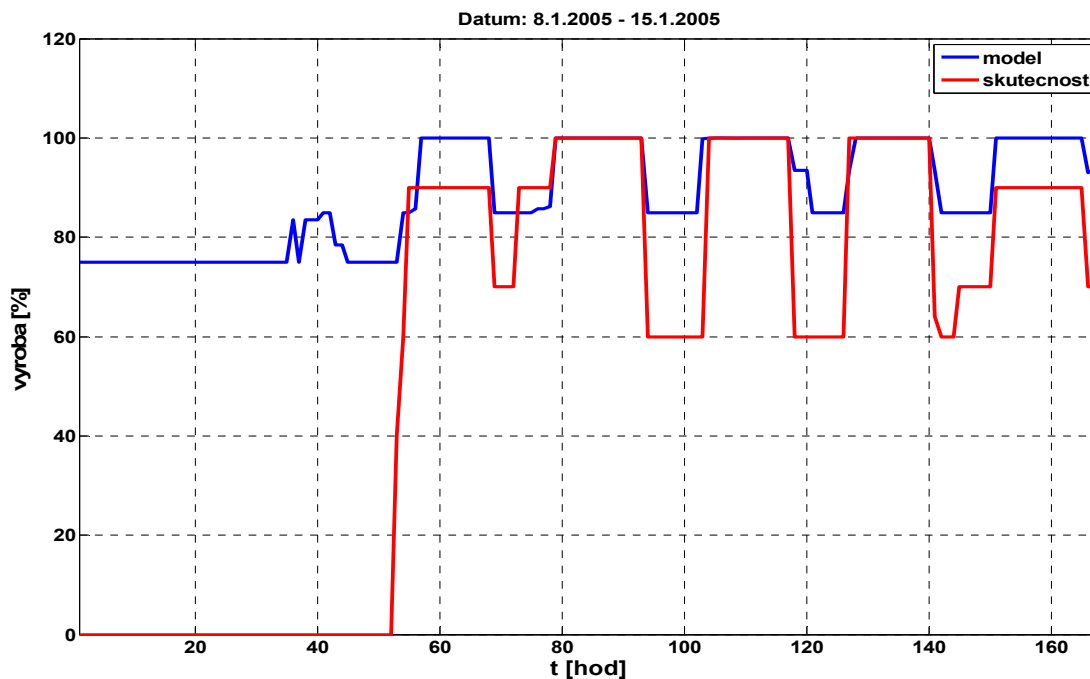
Tab. 6 Použité ceny odchylky (nízké)

Zlom – velikost odchylky [MWh]	Kladná odchylka		Záporná odchylka	
	0	30	0	20
Cena za odchylku [Kč/MWh]	100	2000	20	2000

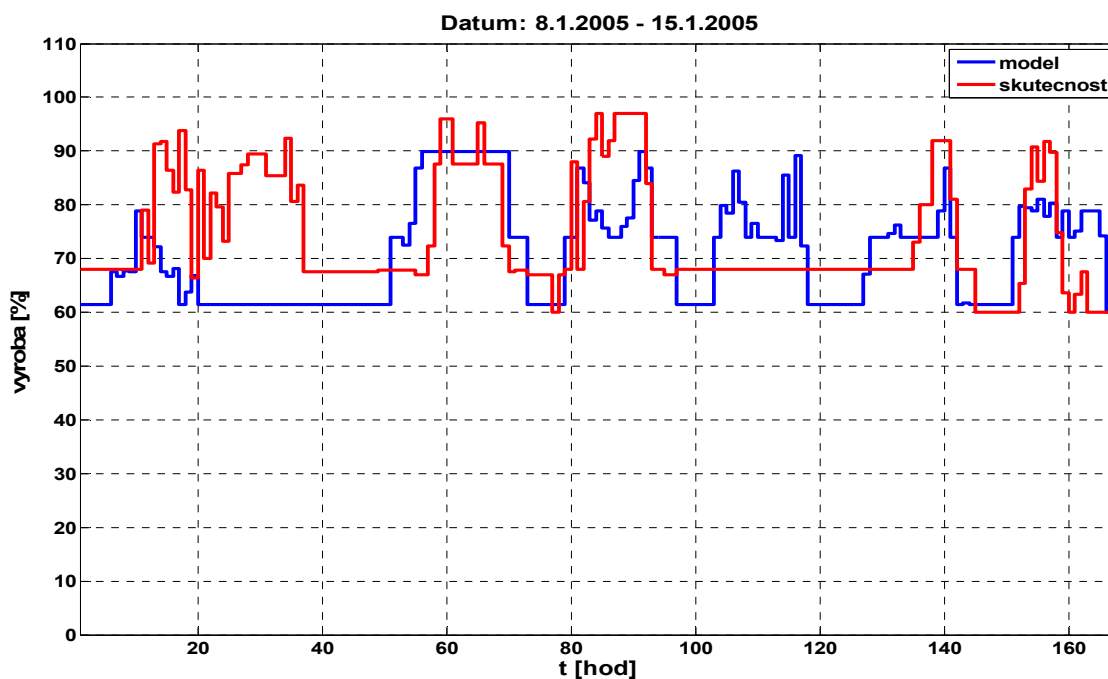
4.3 Srovnání modelu se skutečným chováním výrobců

Srovnání modelu s realitou je vždy klíčové pro posouzení kvality modelu. Jelikož se ale jedná o model, do kterého vstupuje mnoho vstupních parametrů je celkem logické, že se nepodaří model naprosto sladit s realitou. Nicméně i přesto jsou výsledky, které dává model výrobců jsou vcelku uspokojivé.

Srovnání výsledku modelu s reálnými daty nám poskytuje Obr. 35, kde je na vertikální ose uvedeno vyrobené množství SE v procentech (vztaženo k nominálnímu výkonu bloku). Jedná se o jeden z hnědouhelných bloků dominantního výrobce. Z obrázku lze vyzorovat, že trendy v týdnu jsou stejné jak v modelu tak i ve skutečnosti (snižování výkonu bloku přes noc). Rozdílem, který lze pozorovat, je jiná volba strategie odstávky bloku. Podle skutečných dat byl blok na víkend odstaven, kdežto model jej nechal v provozu. To může být dáno jinou rozvrhovaní metodou, kterou ve skutečnosti používá výrobce, nebo také dalšími vlivy, které tento model nezahrnuje. Model totiž simuluje ekonomicky optimální rozhodování výrobců a tedy rozvrhuje výrobu optimálním způsobem, který nemusí být vždy shodný s realitou.



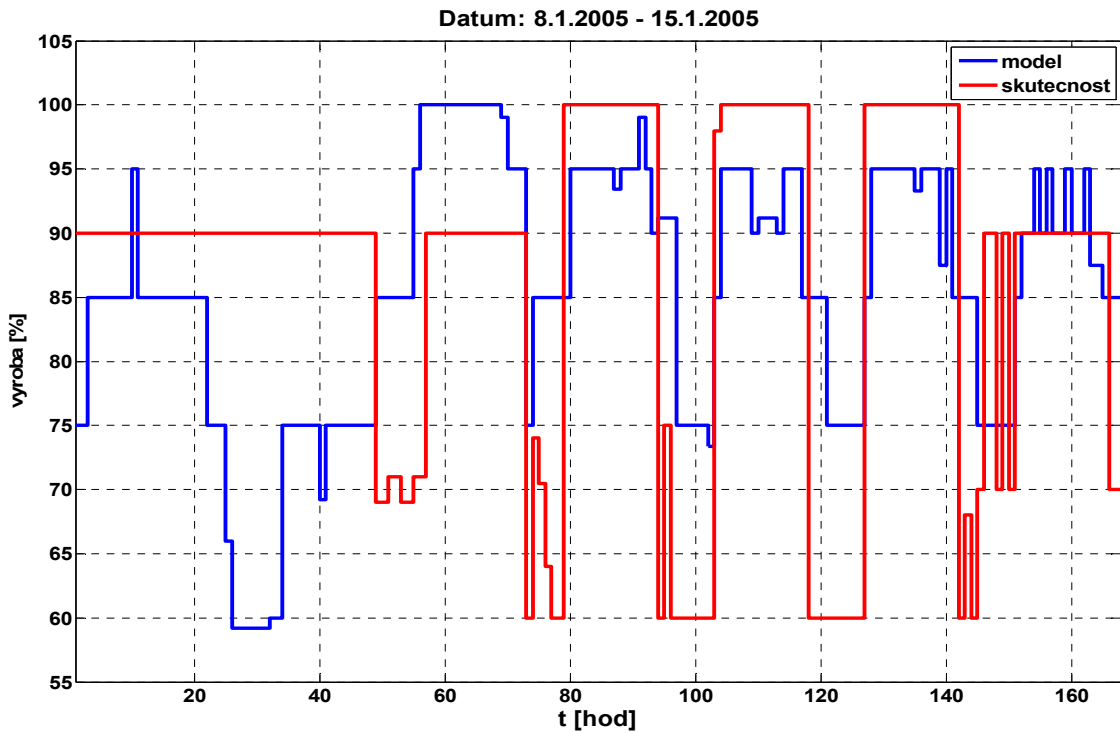
Obr. 35 Srovnání výsledku výroby SE hnědouhelného el.bloku v modelu a ve skutečnosti



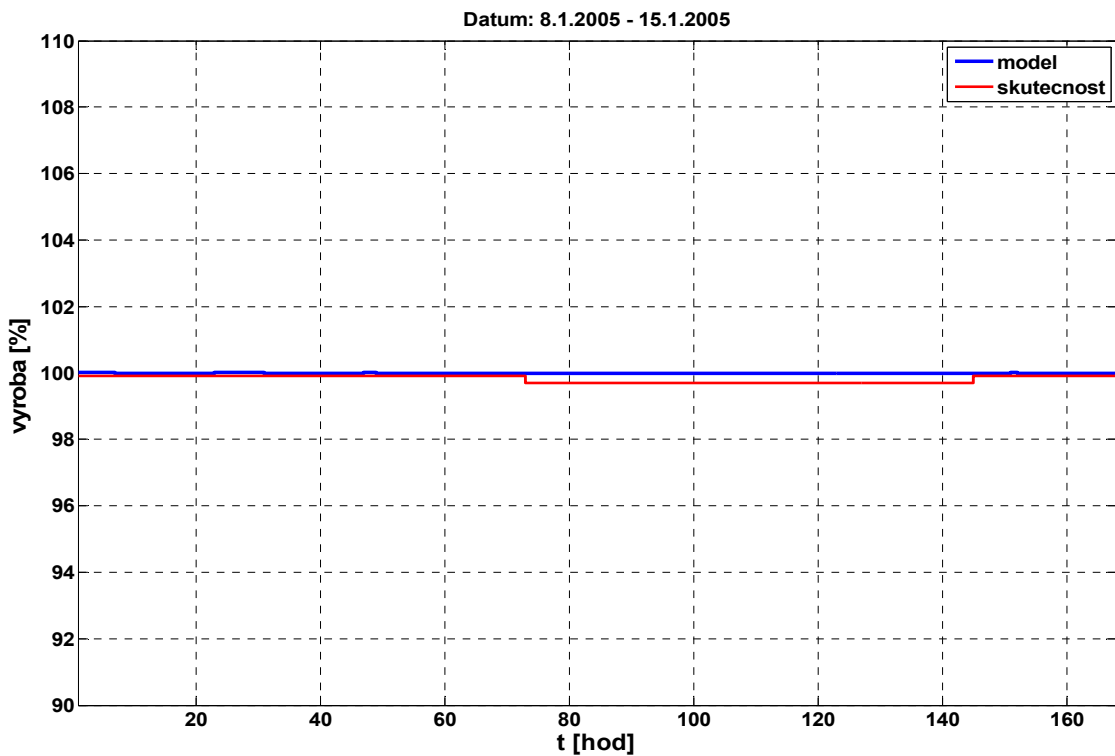
Obr. 36 Srovnání výsledku výroby SE hnědouhelného el.bloku v modelu a ve skutečnosti

Na Obr. 36 lze pozorovat, že model v tomto případě další (jiný) hnědouhelný blok neodstavil (stejně jako ve skutečnosti) a jen měnil hodnotu poskytované SE bloku. V některých intervalech pak dokonce zachytil model trendy bloku, které se vyskytují ve skutečnosti. Obr. 37 je zde uveden právě k demonstraci výsledku modelu, který zachycuje trend snižování výkonu bloku v nočním pásmu, nicméně ani tento blok se plně neshoduje s modelovanou realitou. Posledním srovnáním bloků je Obr. 38 pro

jaderný blok dominantního výrobce. Zde vidíme, že se podařilo modelu dosáhnout téměř dokonalé shody. U tohoto typu bloku se však dal takový výsledek očekávat, jelikož se jedná o blok s nejnižšími náklady a proto je výrobcem silně preferován.

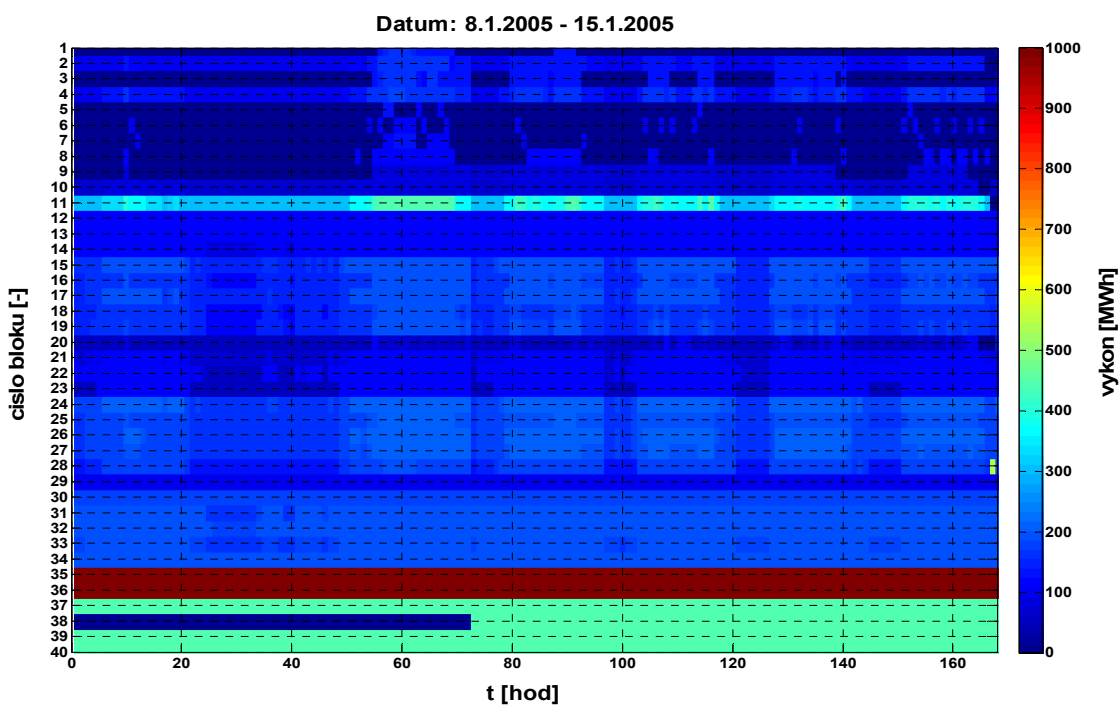


Obr. 37 Srovnání výsledku výroby SE hnědouhelného el.bloku v modelu a ve skutečnosti

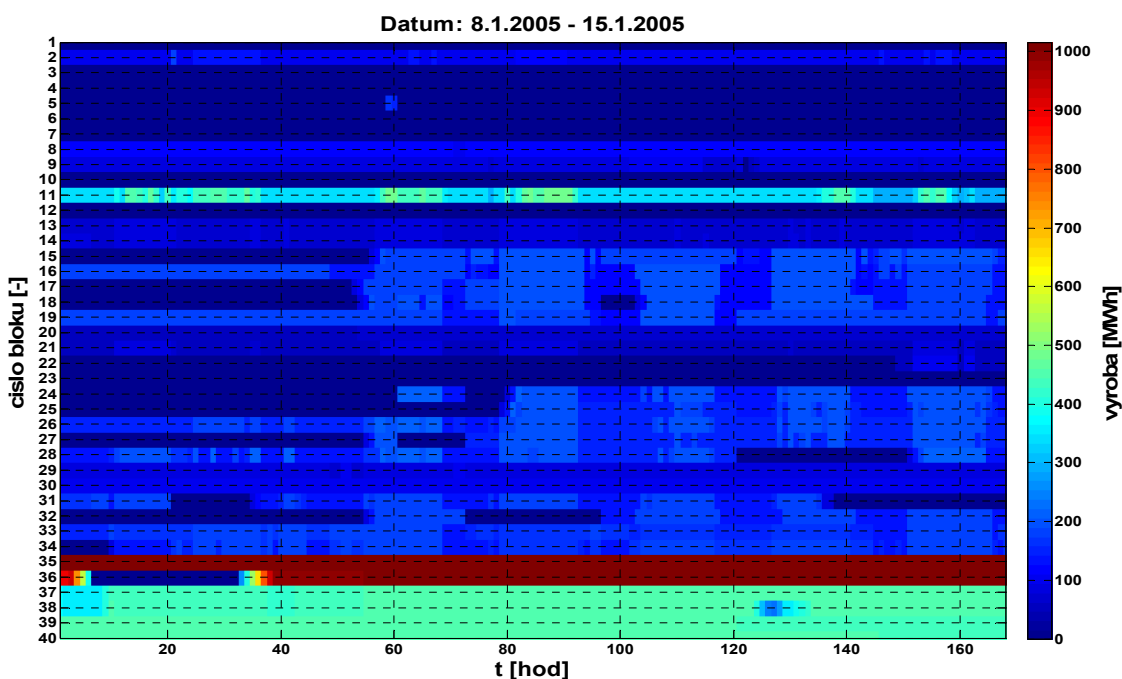


Obr. 38 Srovnání výsledku výroby SE jaderného el.bloku v modelu a ve skutečnosti

Na Obr. 39 a Obr. 40 je vidět srovnání celkového rozvržení výroby SE dominantního výrobce, dle smlouveného diagramu podle různých typů elektrárenských bloků (hnědouhelné a jaderné). Lze pozorovat, že se opravdu podařilo dosáhnout částečné shody modelu se skutečností a struktura rozvržení výroby je stejná. To znamená, že v modelu i ve skutečnosti výrobce upřednostňuje nejlevnější el. bloky, resp. ty s nejnižšími náklady. Drahé el. bloky, které se mu nevyplatí provozovat má odstavené nebo odstavuje častěji. Dále lze pozorovat trend snižování výkonů bloků v nočním pásmu a to opět u bloků, které mají nejvyšší náklady.



Obr. 39 Rozvržení výroby na bloky dominantního výrobce (model)



Obr. 40 Rozvržení výroby na bloky dominantního výrobce (skutečnost)

5 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit a implementovat model a zmíněná vylepšení modelu výrobců silové elektřiny a podpůrných služeb. Tato vylepšení měla napomoci ke zpřesnění stávajícího modelu, který by měl nyní více odpovídat skutečnosti.

Upravený model zahrnující uvedená vylepšení předkládá výsledek optimálního rozvržení výroby nebo nabídky na jednotlivých elektrárenských blocích, tedy jak by se chovali výrobci v ryze ekonomicky optimálním případě s omezeními, která by se měla co nejvíce přiblížit skutečnosti. Při srovnání se skutečností je vidět, že se výsledky shodují jen částečně. Tyto rozdíly lze přičíst skutečnostem, se kterými model nepočítá, a také nejistotě ve vstupních datech.

Přes jisté komplikace s výpočetní náročností při implementaci modelu a vylepšení modelu si myslím, že se podařilo najít kompromis mezi dostatečnou informační hodnotou výsledku a celkovou náročností modelu. Existují ještě další vylepšení, pomocí kterých by se mohl nalézt takový model, který by lépe vystihoval realitu. Jedním z nich jsou například technická omezení odstávek elektrárenského bloku, která ovlivňují proměnlivou cenu opětovného najetí elektrárenského bloku v závislosti na délce trvání odstávky. Co se týče časové náročnosti modelu, musím být skeptický a předpokládám, že se ji, mj. s dalšími přibývajícími vylepšeními, nepodaří výrazně snížit. Nicméně i přesto by se měl v dalším vývoji modelu věnovat časové náročnosti modelu dostatečný prostor, aby nepřekročila rozumnou mez.

6 Literatura

- [1] Horáček, Petr - Janeček, Eduard a kol.: *Metodika a modely spolehlivosti a ekonomie systémových služeb*, Centrum aplikované kybernetiky, 2005
- [2] Kolektiv autorů: *Norma spolehlivosti zajištění systémových služeb pro ES ČR*, Centrum aplikované kybernetiky, 2005
- [3] Kod'ousek, Martin: *Podpůrné a systémové služby v elektrizační soustavě* (disertační práce), České vysoké učení technické v Praze, leden 2005
- [4] Eikland, Kjell - Notebaert, Peter – Bert, Juergen: *LP Solve reference guide* <http://lpsolve.sourceforge.net/5.5/> (online)

7 Příloha - Seznam vygenerovaných kombinací parametrů

Všechny parametry jsou v tabulkách kvůli úspoře místa definovány ve své číselné podobě dle manuálu k programu LP Solve [4]. V manuálu lze také nalézt jejich celé názvy.

Tab. 7 Vygenerované kombinace parametrů ze skupiny SCALING

pořadí kombinace	hlavní parametry	přídavné parametry
1	0	8
2	0	16
3	0	31
4	0	32
5	0	64
6	0	128
7	0	256
8	0	512
9	0	1024
10	1	8
11	1	16
12	1	31
13	1	32
14	1	64
15	1	128
16	1	256
17	1	512
18	1	1024
19	2	8
.	.	.
.	.	.
.	.	.
54	7	1024

Tab. 8 Vygenerované kombinace parametrů ze skupiny PRESOLVE

Pořadí kombinace	parametr
1	1
2	2
3	4
4	8
5	16
6	32
7	64
8	128
9	256
10	512
11	1024
12	2048
13	4096
14	8192
15	16384
16	32768
17	65536
18	131072
19	262144
20	524288
21	1048576

Tab. 9 Vedlejší parametry ze skupiny BRANCH BOUND, které se nemodifikovaly

Vedlejší parametry
8
32
1024
16384
32768

Tab. 10 Vygenerované kombinace parametrů ze skupiny BRANCH BOUND

pořadí kombinace	1. hlavní parametr	2. hlavní parametr	přídavné parametry							
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	8192
3	0	1	0	0	0	0	0	0	4096	0
4	0	1	0	0	0	0	0	2048	0	0
5	0	1	0	0	0	0	512	0	0	0
6	0	1	0	0	0	256	0	0	0	0
7	0	1	0	0	128	0	0	0	0	0
8	0	1	0	64	0	0	0	0	0	0
9	0	1	16	0	0	0	0	0	0	0
10	0	1	0	0	0	0	0	0	4096	8192
11	0	1	0	0	0	0	0	2048	0	8192
12	0	1	0	0	0	0	0	2048	4096	0
13	0	1	0	0	0	0	512	0	0	8192
14	0	1	0	0	0	0	512	0	4096	0
15	0	1	0	0	0	0	512	2048	0	0
16	0	1	0	0	0	256	0	0	0	8192
17	0	1	0	0	0	256	0	0	4096	0
18	0	1	0	0	0	256	0	2048	0	0
19	0	1	0	0	0	256	512	0	0	0
20	0	1	0	0	128	0	0	0	0	8192
21	0	1	0	0	128	0	0	0	4096	0
22	0	1	0	0	128	0	0	2048	0	0
23	0	1	0	0	128	0	512	0	0	0
24	0	1	0	0	128	256	0	0	0	0
25	0	1	0	64	0	0	0	0	0	8192
26	0	1	0	64	0	0	0	0	4096	0
27	0	1	0	64	0	0	0	2048	0	0
28	0	1	0	64	0	0	512	0	0	0
29	0	1	0	64	0	256	0	0	0	0
30	0	1	0	64	128	0	0	0	0	0
31	0	1	16	0	0	0	0	0	0	8192
32	0	1	16	0	0	0	0	0	4096	0
33	0	1	16	0	0	0	0	2048	0	0
34	0	1	16	0	0	0	512	0	0	0
35	0	1	16	0	0	256	0	0	0	0
36	0	1	16	0	128	0	0	0	0	0
37	0	1	16	64	0	0	0	0	0	0
38	0	1	0	0	0	0	0	2048	4096	8192
39	0	1	0	0	0	0	512	0	4096	8192
.										
1792	0	7	16	64	128	256	512	2048	4096	8192
1793	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
.										
5376	2	7	16	64	128	256	512	2048	4096	8192