

Univerzita Karlova v Praze
Matematicko-fyzikální fakulta

DIPLOMOVÁ PRÁCE



Petr Dlouhý

Business model teplárenské společnosti

Katedra teoretické informatiky a matematické logiky
Vedoucí diplomové práce: Doc. RNDr. Mirko Krivánek, CSc.
Studijní program: Informatika, Softwarové systémy

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi umožnili tuto práci uskutečnit, ať už radou nebo pomocí. Zvláště bych chtěl poděkovat panu Mirko Křivánkovi za vedení mé diplomové práce a panu Markovi Piskačovi ze společnosti Pražská teplárenská a.s. za čas, který věnoval vysvětlování principů teplárenské výroby, a za všechny připomínky, kterými přispěl k úspěšnému dokončení modelu.

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci napsal samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů. Souhlasím se zapůjčováním práce.

V Praze dne 18.4. 2008

Petr Dlouhý

Název práce: *Business model teplárenské společnosti*
Autor: *Petr Dlouhý*
Katedra (ústav): *Katedra teoretické informatiky a matematické logiky*
Vedoucí diplomové práce: *Doc. RNDr. Mirko Křivánek, CSc*
E-mail vedoucího: *Mirko.Krivanek@mff.cuni.cz*

Abstrakt:

Práce je zaměřena na využití počítačových simulací pro manažerské rozhodování. Modelovaným prostředím je vybraná teplárenská soustava, avšak model i závěry mohou být obecně využity pro libovolnou centralizovanou teplárenskou soustavu.

Model se zaměřuje na obchodní pohled řízení jednotlivých výrobních zdrojů v závislosti na vývoji energetického trhu, vývoji počasí a dalších variabilních parametrech.

Klíčová slova: *simulace, teplárenství, management, System Dynamics*

Title: *Business model of heat generating company*
Author: *Petr Dlouhý*
Department: *Department of Theoretical Computer Science and Mathematical Logic*
Supervisor: *Doc. RNDr. Mirko Křivánek, CSc*
Supervisor's e-mail address: *Mirko.Krivanek@mff.cuni.cz*

Abstract:

Presented thesis deals with the usage of computer simulations in management decision. Modeled environment is selected heat-distribution network, however model and its conclusions can be used for arbitrary heat-distribution network.

Model is focused on business management view of control of heat and electricity generating sources depending on power-producing market, weather and other varying parameters.

Keywords: *simulation, heat distribution network, management, System Dynamics*

Obsah

Obsah	1
1 Úvod	3
2 Modelování a System Dynamics	5
2.1 CL diagramy	6
2.2 SF diagramy	7
2.3 Powersim Studio	9
3 Teplárenství	10
4 Pražská teplárenská a.s.	14
5 Model pražské teplárenské soustavy	17
5.1 Fáze první - Základní (pilotní) model	17
5.1.1 Výpočet aktuálního zatížení oblasti	18
5.1.2 Výpočet nákladů na hodinovou výrobu zdroje	20
5.1.3 Základní model	20
5.1.4 Základní model – Optimalizace teorie	22
5.1.5 Základní model – Optimalizace v praxi (Powersim Studio)	25
5.1.6 Základní model – Finální stav	28
5.2 Fáze druhá - Finální model - základní popis	31
5.2.1 Požadavky na model	31
5.2.2 Obecné parametry soustavy	31
5.2.3 Optimalizace	37
5.2.4 Implementace optimalizace	42
5.2.5 Výstup	43
5.3 Fáze druhá - Finální model - podrobný popis	44
5.3.1 Pomocné parametry	44
5.3.2 Základní parametry popisující soustavu	45
5.3.3 Parametry zdrojů	47
5.3.4 Další vstupní parametry	51
5.3.5 Výpočet hodinového odběru oblasti	53
5.3.6 Výpočet nákladů na zdroj	54
5.3.7 Parametry vstupující do optimalizace	56
5.3.8 Parametry vystupující z optimalizace	56
5.3.9 Referenční běh simulace	57
5.3.10 Uživatelské rozhraní a spouštění prezentace	61

6	Závěr	64
6.1	Zhodnocení modelu	64
6.2	Další vývoj	64
	Seznam použité literatury	65
	Příloha A – Výpis elementů a vzorců modelu	66
	Příloha B – Popis XLS šablony	74

1 Úvod

Tématem diplomové práce bylo namodelovat v simulačním nástroji Powersim Studio model řízení teplárenské společnosti Pražská teplárenská a.s v závislosti na předpokladech o vývoji energetického trhu a jeho hlavních subjektů – výrobců a odběratelů energií. Proč však vůbec podobnou problematiku řešit? V tuto chvíli jsou ve společnosti Pražská teplárenská primárně zaměřeni na technologické aspekty přenosové sítě a zdrojů, jako je řízení hydrauliky, řešení přemostění případných výpadků dodávky, zpoždění přenosu a dalších faktorů. Jedná se tedy primárně o real-time systémy řízení provozu, které sice umožňují i modelování chování v blízké budoucnosti (hodiny, dny), avšak pouze z provozního hlediska soustavy a zdrojů. V tuto chvíli přichází požadavek na vytvoření modelu, který se bude zajímat více o ekonomické aspekty, externí vstupy jako jsou prodejní a nákupní ceny energií, emisních povolenek, samozřejmě v návaznosti na pokrytí všech závazků na výrobu tepelné a elektrické energie. Tj. Sestrojit model, který bude umožňovat dynamicky měnit jednotlivé parametry a sledovat změny v chování a rozložení výroby jednotlivých zdrojů a z nich plynoucí ekonomické údaje, a bude tedy určen pro oddělení strategie a tradingu a ne pro technický provoz.

Na začátku prací bylo nutno realizovat několik kroků:

1. nastudování základních informací o teplárenském odvětví
2. nastudování základních informací o společnosti Pražská teplárenská
3. nastudování základních informací o pražské teplárenské soustavě
4. definice potřeb zadavatele práce
5. definice modelu a algoritmů optimalizace

V rámci bodu jedna se jako výborný zdroj informací ukázala kniha pana Kratochvíla [1], kde jsou popsány základní principy a funkce teplárenské soustavy. Jako další zdroj informací mi sloužily knihy Brož K. [2] a Vlach J. [3], které se problematice věnovaly podrobněji co se technické stránky týče.

U bodu dva (a vlastně pro celou diplomovou práci) byli nejvíce nápomocni zaměstnanci Pražské teplárenské pan Marek Piskač a pan Lubomír Kučera, kterým bych tímto ještě jednou rád poděkoval.

Bod tři spočíval, alespoň ze začátku práce, v častých návštěvách Pražské teplárenské, získávání informací o soustavě, jejích parametrech a omezeních. Současně s bodem tři krystalizovalo samotné zadání, tj. očekávání zadavatele od simulačního modelu (bod 4). Původní myšlenka spočívala v dynamické simulaci chování soustavy za delší časové období (rok či dva) s tím, že jako vstup budou sloužit křivky na základě aktuálního chování (ceny paliv, elektřiny, povolenek a dalších). Toto zadání bylo poté přeformulováno na sledování chování soustavy za několik dní v hodinových intervalech. Primárním důvodem této změny byla užitečnost modelu – pro krátkodobé simulace je možné použít konkrétní očekávané hodnoty jednotlivých vstupujících elementů, u dlouhodobé simulace by se jednalo spíše o teoretický model jednající na základě odhadu chování netriviálních ukazatelů ve vzdálenější budoucnosti.

Po pečlivém nastudování této pro mě do té doby neznámé oblasti a pochopení důležitých principů bylo teprve možné začít pracovat přímo na samotné diplomové práci, tedy na bodu pátém. Jednalo se hlavně o hledání nejlepších postupů modelování soustavy v nástroji Powersim Studio, řešení vyskytnuvších se problémů a hledání optimalizace. V rámci celého procesu realizace diplomové práce bylo nutné několikrát změnit úhel pohledu na samotnou problematiku, hlavním důvodem byla stále lepší znalost modelovacího nástroje Powersim Studio, jeho omezení a možnosti, a pak samozřejmě samotné změny v zadání práce.

Popisu práce na samotném modelu je věnována celá pátá kapitola, kde je jednak postup vytváření modelu, jednak popisu vstupů a výstupů modelu a samozřejmě také popis samotných optimalizačních algoritmů, které jsou jádrem celé simulace. Je zde k nalezení postup sloužící k vytvoření jednoduchého pilotního modelu, na kterém se lze naučit základní práce v programu Powersim Studio, a také na něm pochopit základní optimalizační procesy. Po důsledném vysvětlení základního modelu pak následuje představení finálního modelu, nejprve v obecném provedení, kde jsou představeny požadavky na model, vyjmenování obecných parametrů a nadefinování optimalizačního algoritmu pomocí znalostí nabytých studiem optimalizace. Poté je již probírán finální model podrobněji tak, aby čtenář byl schopný pomocí tohoto popisu vytvořit model sám.

Práci uzavírá šestá kapitola, kde se shrnují přínosy modelu, použitelnost modelu jak ve společnosti Pražská teplárenská a.s, pro kterou model byl primárně určen, ale i pro jiné společnosti zabývající se tepelnou energetikou. V poslední kapitole také najdeme zamyšlení se nad další možnou prací na modelu, jakým směrem by bylo možné se dále ubírat.

2 Modelování a System Dynamics

System Dynamics, neboli Systémová dynamika je metoda studia a řízení komplexních zpětnovazebních systémů, mezi které patří chování tržních či sociálních systémů. Obecně ji lze však využít pro libovolný zpětnovazební systém. Termín systém je zde použit v obecném významu, zpětnovazební označuje situaci, kdy prvek X ovlivňuje prvek Y a naopak prvek Y ovlivňuje prvek X pomocí řetězce příčin a následků. Není možné studovat pouze vazbu mezi prvky X a Y, ale je nutné vzít v potaz celý systém, tedy i vazbu Y na X.

Metodu můžeme shrnout do těchto bodů:

- vymezení problému
- vytvoření dynamické hypotézy vysvětlující základní závislosti (tzv. mentální model)
- vytvoření počítačového simulačního modelu, který popisuje samotný problém
- ověření validity modelu, tj. zda model odpovídá chování v reálném světě
- zavedení alternativních procesů do modelu, které zjednoduší samotný problém
- implementace navržených změn

Tato oblast zkoumání byla poprvé zmíněna v práci Jay W. Forrester, profesora na Sloan School of Management, MIT. Ve své studii Industrial Dynamics [10] z roku 1961 se zabývá komplexními vztahy v průmyslu, i přestože studie vyšla již před téměř půl stoletím, je dosud považována za jednu z nejdůležitějších prací týkající se obecného pohledu a samotné metody na tuto oblast.

Profesor Forrester definoval jeden ze základních kamenů metody, tzv. mentální model následovně:

“Obraz světa kolem nás, který nosíme v hlavě je pouze modelem. Nikdo nemá v hlavě obraz celého města, vlády či země. Má pouze vybrané pojmy a vztahy mezi nimi a ty používá k reprezentaci reálného systému”. „Mentální modely jsou nepřesné, neúplné. Jsou nepřesně definované. Nevíc mentální model jedince se může v průběhu času měnit”.

Systémová dynamika využívá mentální modely k zachycení struktury a vazeb v dynamických systémech, které jsou pak využity při jejich modelování. Od doby vzniku se aplikace Systémové dynamiky velmi rozšířila, uveďme několik vybraných odvětví, ve kterých se stále častěji využívají její přínosy:

- plánování na úrovni korporací

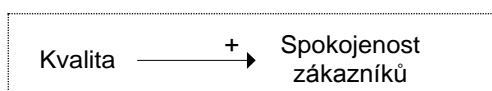
- modelování chování biologických a medicínských systémů
- dynamické rozhodovací metody
- modelování teorií v přírodních a sociálních vědách
- aplikace v energetice a v životním prostředí

V následujícím textu popíšeme základní stavební prvky metody se zaměřením na dva způsoby grafického znázornění mentálního modelu simulovaného systému – Stock and Flow Diagram (SFD) a Causal Loop Diagram (CLD). CLD se využívá na počátku modelování k zobrazení nejdůležitějších příčinných souvislostí a je tedy hlavně nástrojem kvalitativním než kvantitativním. Naopak SFD se využívá pro vytvoření již skutečného kvantitativního modelu.

2.1 CL diagramy

Jak již bylo uvedeno, diagramy CL se zaměřují primárně na kvalitativní popis systému založený na zpětnovazebních smyčkách a proměnných. Vazby (smyčky) jsou mezi proměnnými znázorněny pomocí šipek, kdy směr šipky určuje, která proměnná je ovlivňující a která je ovlivněná. U každé vazby je navíc určena polarita (+/-), která určuje zda se jedná o posilující či vyvažující vazbu.

Jako příklad uveďme společnost, která spojuje spokojenost svých zákazníků s kvalitou produktů. Společnost věří, že se zvýšením kvality produktu bude stoupat i spokojenost zákazníků:



Obrázek 1 Vztah mezi kvalitou výrobku a spokojeností zákazníků

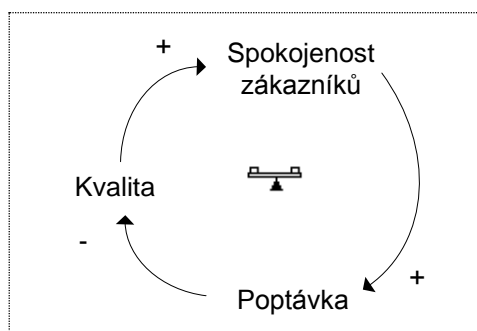
Vztah je posilující, neboť zvyšováním proměnné Kvalita zvyšujeme také proměnnou Spokojenost zákazníků, a jedná se o jednosměrný vztah.

Jako příklad vyvažující vazby můžeme využít vztah ceny produktu a vnímání poměru „cena/kvalita“ zákazníků. Při navýšení proměnné Cena dojde ke snížení proměnné Vnímání poměr cena/kvalita.



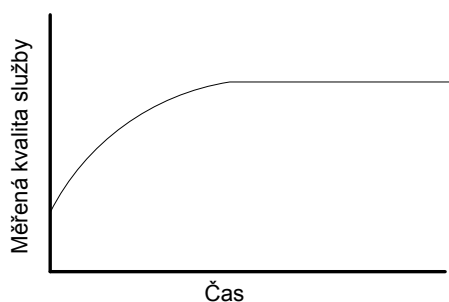
Obrázek 2 Vztah mezi cenou a vnímaným poměrem cena/kvalita

V rámci uvedeného příkladu nyní přidáme zpětnovazební smyčku. Předpokládejme, že uvedená společnost nemá dostatek zdrojů pro výrobu a každé navýšení výroby vede nutně ke snížení kvality. Výsledná zpětnovazební smyčka – vyvažující – může vypadat následovně:



Obrázek 3 Zpětnovazební smyčka uspokojování poptávky

Kvalita služby v závislosti na čase pak může mít tento průběh:



Obrázek 4 Graf měřené kvality služby/produktu v čase

CL digramy jsou výborný nástroj pro modelování skutečného chování komplexních systémů, jejich podstatným přínosem je jednoduché znázornění příčinných souvislostí mezi jednotlivými proměnnými, které se v systému vyskytují.

2.2 SF diagramy

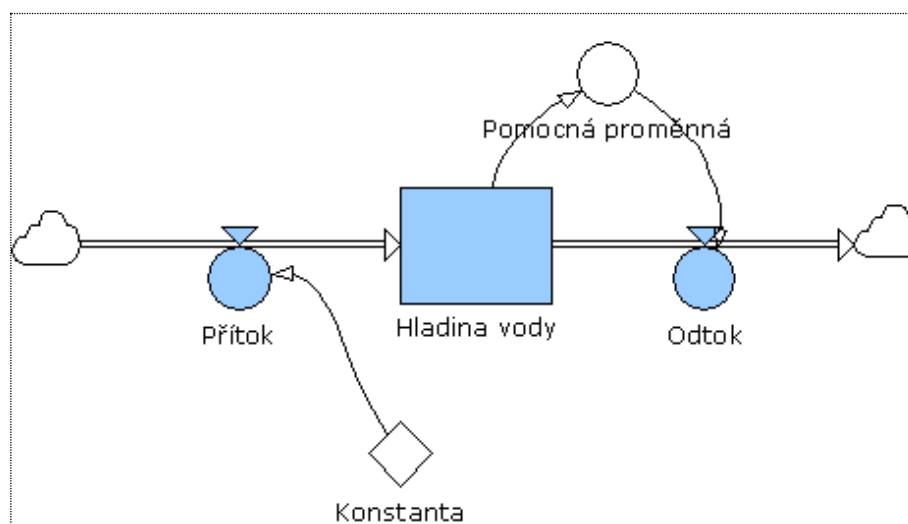
Diagramy SF slouží k zachycení kvantitativního pohledu na vzájemné vztahy mezi proměnnými, a jelikož poskytují dostatečný matematický popis systému, je možné diagramy SF simulovat. Jak již název vypovídá jsou základními prvky diagramů Hladina (Stock) a Tok (Flow). Kromě nich je možné využít také pomocné proměnné, konstanty a vnější zdroje.

Hladina je proměnná, která v průběhu simulace mění svoji hodnotu v závislosti na své předchozí hodnotě a na vstupech a výstupech, tedy Tocích, které jsou na Hladinu napojeny. Ilustrativním příkladem budiž koupelnová vana (Hladina), do které přitéká voda kohoutkem

(Tok) a ze které naopak odpadem voda odtéká (Tok). Množství vody ve vaně je závislé na množství v předchozím kroku simulace a na přítoku a odtoku vody. Toto množství můžeme vyjádřit pomocí rovnice:

$$\text{Objem vody}(t-1) + (\text{Přítok}(t) - \text{Odtok}(t)).$$

Grafická notace výše uvedeného vztahu je pak následující:



Obrázek 5 Notace SF diagramu

Kromě Toků (zobrazeny dvojitou čarou s kohoutkem) a Hladiny (zobrazena jako obdélník) obsahuje diagram pomocné proměnné (zobrazeny jako kolečko) a konstanty (zobrazeny jako kosočtverec). Pomocné proměnné a konstanty slouží ke zpřehlednění rovnic v modelu. Šipky znázorňují závislost jednoho objektu diagramu na druhém.

Dosud se pohybujeme stále na vizuální reprezentaci modelovaného prostředí, která jistě dává vhled do problému a vede k jeho lepšímu pochopení, avšak cílem je vytvoření modelu, který bude umožňovat simulaci na počítači. Tento však vyžaduje přesné matematické vyjádření jednotlivých vztahů.

Vztah mezi proměnnými Hladina a Tok lze ekvivalentně s grafickou notací SFD vyjádřit pomocí integrální a diferenciální rovnice. Rovnice pro příklad uvedený na *Obrázek 5* jsou pak následující:

$$\text{Hladina vody}(t) = \int_{t_0}^t [\text{Přítok}(s) - \text{Odtok}(s)] ds + \text{Hladina vody}(t_0)$$

$$\frac{\partial \text{Hladina vody}}{\partial t} = \text{Pritok}(t) - \text{Odtok}(t)$$

Z výše uvedeného je patrný další výrazný důvod proč používat grafickou notaci. V komplexních prostředích s mnoha Toky a Hladinami by zápis pouze pomocí diferenciálních a integrálních rovnic byl, z hlediska čitelnosti celého modelu, velmi obtížný. Tento nedostatek odstraňuje zavedení SFD modelu, kde pro definování rovnic popisujících vztahy v rámci modelu není formálně stanoveno žádné omezení a je pouze na autorovi modelu, jak systém popíše.

Modely SFD jsou tedy nepostradatelné pro uchopení problematiky modelovaného systému tak, aby jej bylo možné převést do dynamické počítačové simulace. Na druhou stranu je zachována čitelnost a názornost modelu.

Podrobnější informace o Systémové dynamice a Systémovém myšlení jsou uvedeny v publikacích [4-6], případně [11]

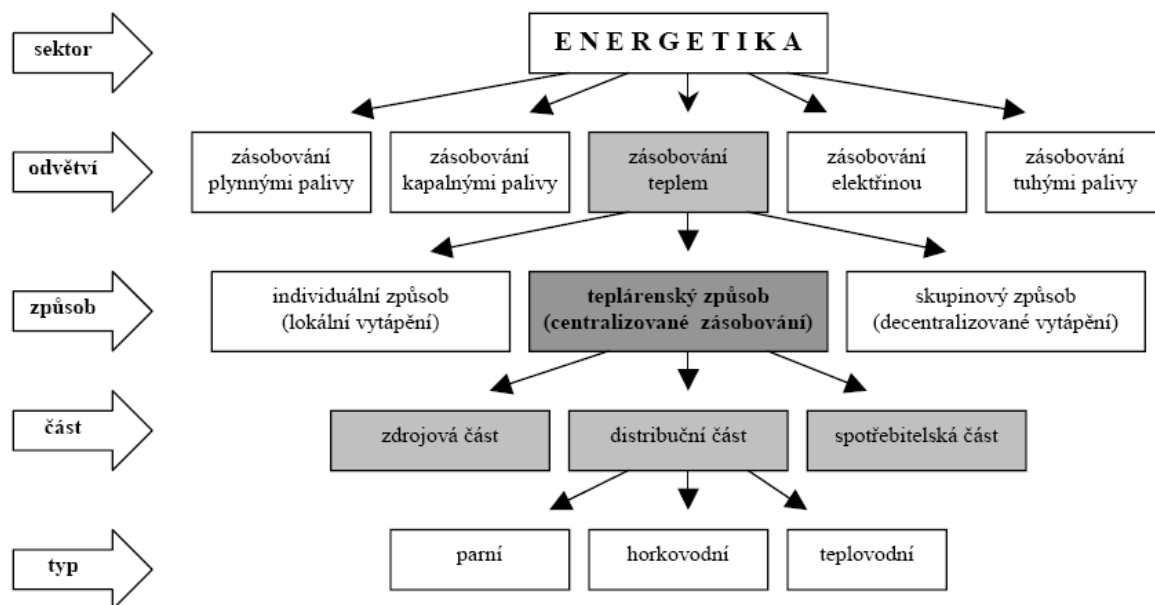
2.3 Powersim Studio

Pro samotné vytvoření počítačové simulace byl využit program Powersim Studio ve verzi 2005 od norské společnosti Powersim Software AS. Tento nástroj umožňuje vytváření SF diagramů v plné šíři a doplňuje samotné možnosti modelování o několik desítek dostupných rovnic a funkcí, vytváření uživatelského prostředí, komunikaci s externím prostředím pomocí datových zdrojů a další. Přínosem je také velmi precizně zpracovaná dokumentace jednotlivých funkcí systému a řada podrobně popsaných ukázkových příkladů využití SF modelů v praxi – uveďme simulování vývoje populace, životní cyklus produktu či simulování jednoduchého akciového trhu.

Hlavní komplikací při využití aplikace Powersim Studio je problematická prezentace vytvořeného modelu bez nutnosti zakoupení, finančně náročné, plné licence systému. Dostupná volná verze je kvantitativně omezená co do počtu proměnných, který byl překročen už v rámci první fáze vytváření modelu pro Pražskou teplárenskou.

3 Teplárenství

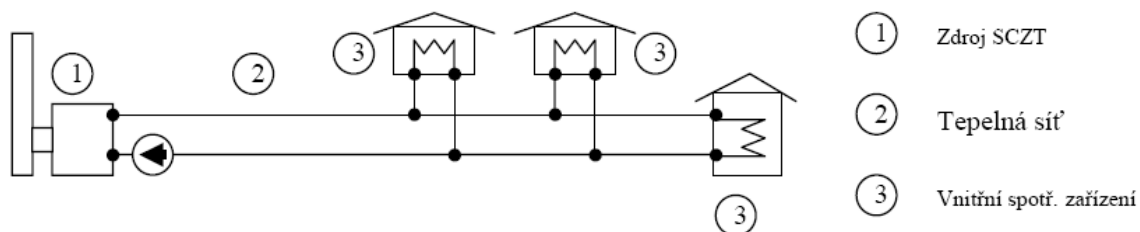
Termínem teplárenství je dle publikace [1] definováno v Energetické politice státu celé odvětví zásobování teplem. Tím se liší od původních definic, kdy bylo teplárenství definováno pouze jako technologický proces výroby elektrické energie a tepla.



Obrázek 6 Vymezení termínu teplárenství v oblasti energetiky

Pro potřeby této práce budeme teplárenství chápat jako tu část energetiky, která slouží k pokrytí potřeb bytových jednotek, budov občanské vybavenosti a průmyslových podniků pomocí soustavy centrálního zásobování teplem (SCZT).

Tepelná soustava je tvořena propojenými zdroji a odběrateli tepla s případným umístěním předávacích stanic.



Obrázek 7 Jednoduché schéma zapojení SCZT

Jelikož se práce týká modelování teplotní sítě, nebudeme zabíhat do přílišných detailů popisujících samotné teplotní, ale uvedeme pouze několik dále využívaných pojmů a principů.

Základním pojmem je charakteristika samotné rozvodné sítě. Tu lze rozdělit do několika částí:

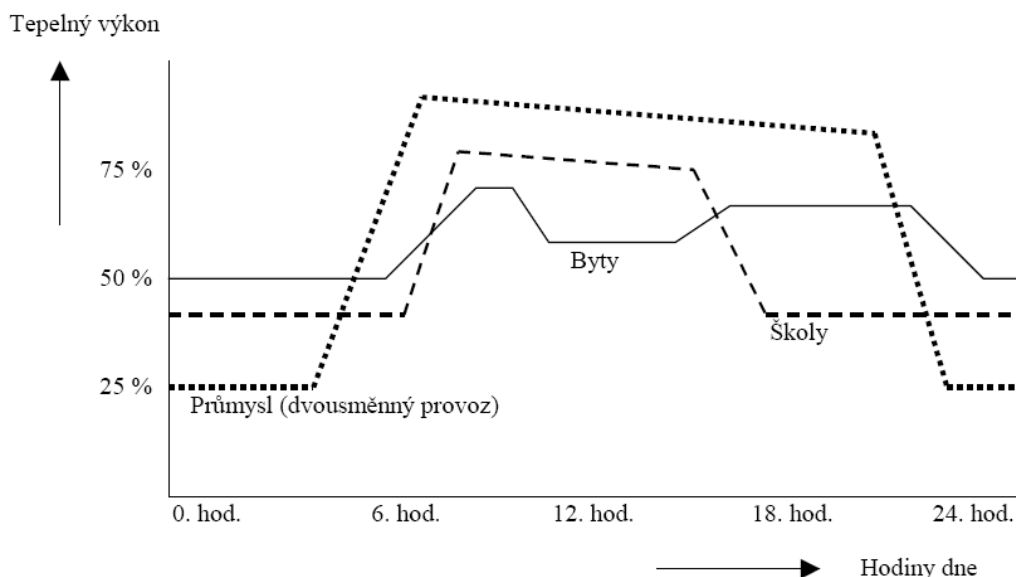
- energetické parametry – výroba a dodávka energie, spotřeba
- technické parametry – parametry samotných zařízení
- ekologické parametry – emise
- ekonomické parametry – efektivita, náklady

Existují dva základní typy zdrojů – čistá výroba tepla a kogenerační výroba tepla, kdy se kromě tepelné energie vyrábí také elektrická energie. V případě kogenerační výroby můžeme tuto rozdělit na vynucenou, tedy výrobu, kdy při výrobě tepla automaticky vzniká i výroba elektrické energie, a výrobu řízenou.

Základními typy paliva jsou uhlí, zemní plyn a topné oleje, s tím, že v dnešní době se stále více pracuje na hledání alternativních zdrojů, mezi které patří využití energie vody, větru, biomasy, geotermální energie, slapové jevy a přímé sluneční záření.

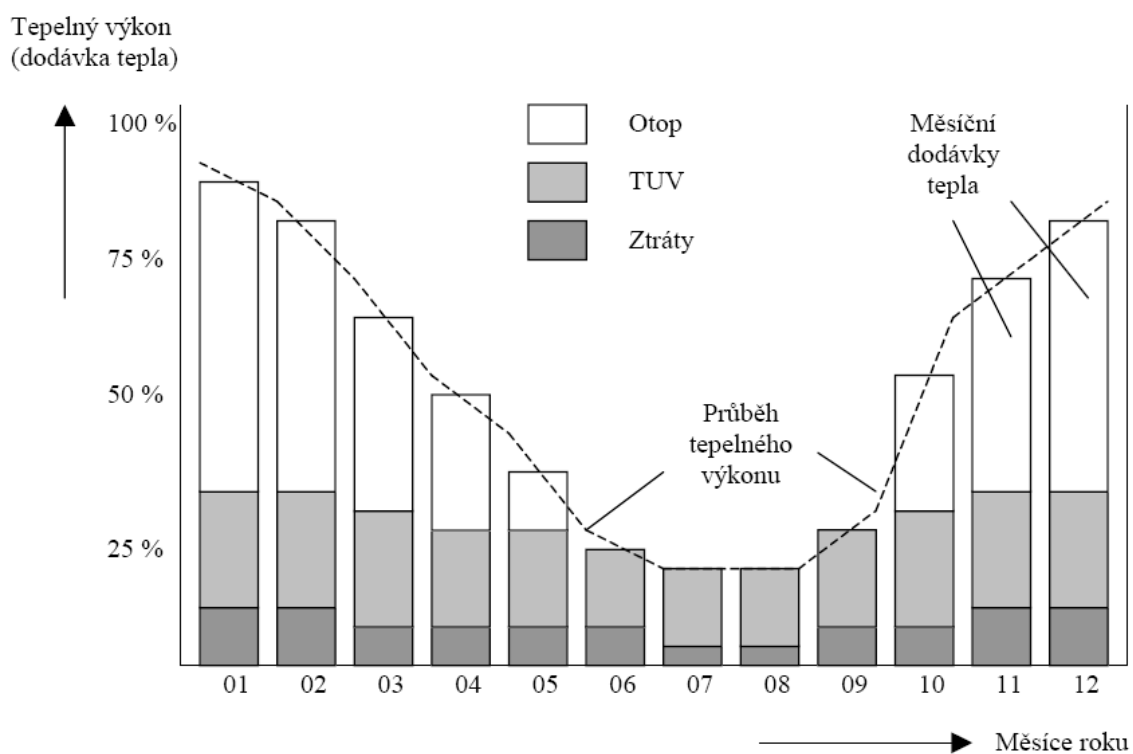
V rámci rozvodné sítě dochází k únikům tepla, které jsou způsobeny jednak únikem samotného média, jednak také samotnou tepelnou ztrátou. V rámci zpracování přenosu tepelné energie je tedy třeba počítat s navýšením výroby o tuto ztrátu, která je závislá na mnoha parametrech samotné rozvodné soustavy.

Základní potřeby jednotlivých odběratelů jsou nejvíce ovlivněny venkovní teplotou, i přesto však můžeme obecně zakreslit rozdělení spotřeby jednotlivých typů odběratelů do 24 hodinového průběhu, jak zachycuje *Obrázek 8*.



Obrázek 8 Ukázka typického průběhu denních potřeb pro různé typy odběratelů

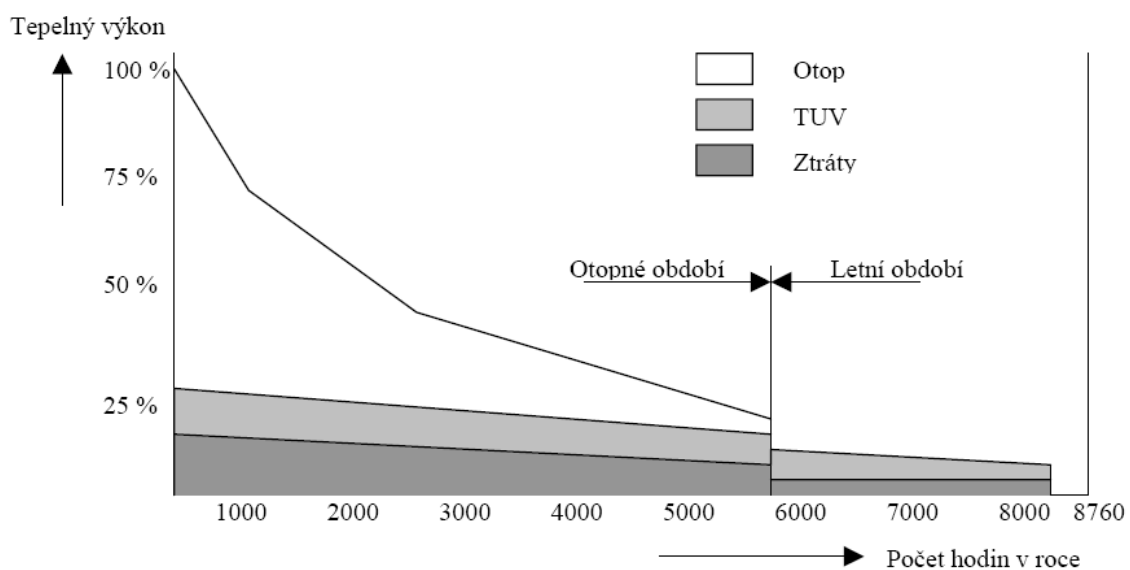
Důležitým údajem jsou také celkové roční průběhy potřeb tepla, nejčastěji vyjádřené jako měsíční diagramy průměrných potřeb tepla. Ukázka takového diagramu je uvedena na níže zobrazeném diagramu Obrázek 9.



Obrázek 9 Měsíční diagram potřeb tepla s rozlišením účelů spotřeby

Posledním důležitým diagramem (Obrázek 10) je diagram doby trvání tepelného výkonu, který představují sestupně seřazené hodnoty okamžitých (hodinových) výkonových zatížení

soustavy v průběhu celého roku. Tyto diagramy umožňují odečítat kolik hodin byla, je, nebo pravděpodobně bude zatížení soustavy vyšší než zvolená hodnota.



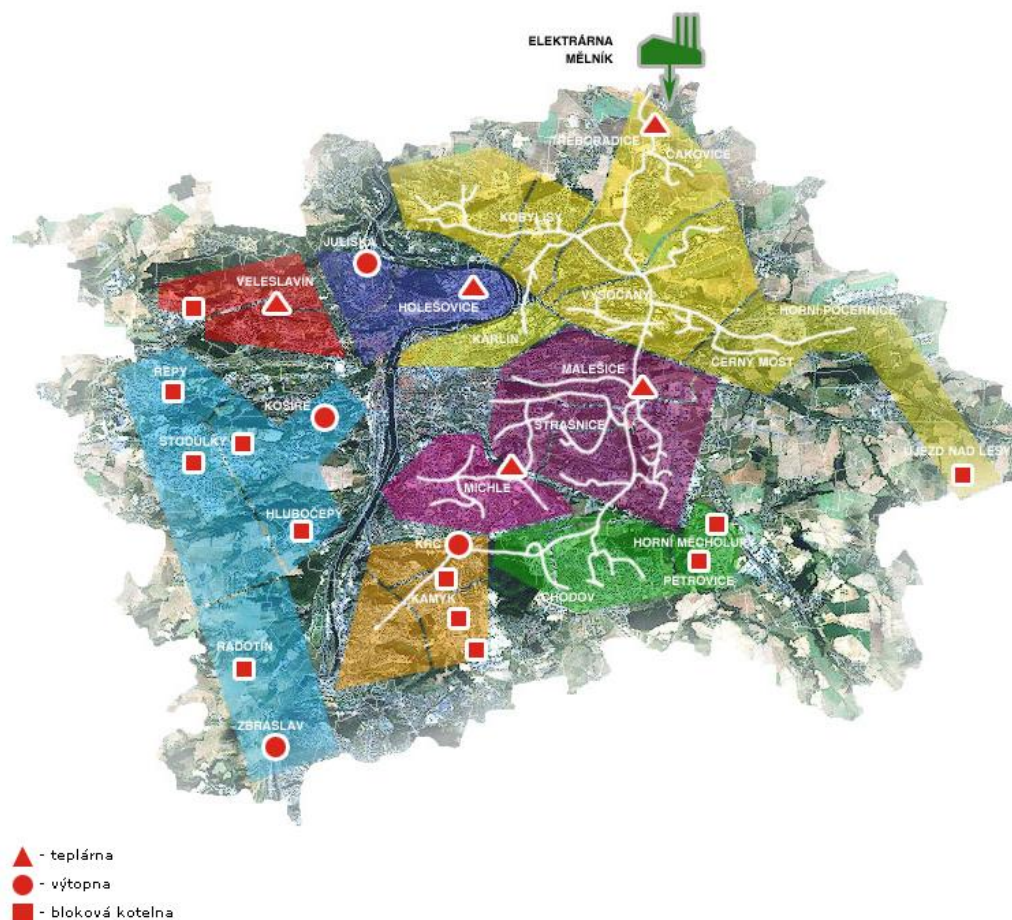
Obrázek 10 Diagram doby trvání tepelného výkonu

4 Pražská teplárenská a.s.

Hlavním zdrojem informací v této kapitole je www prezentace společnosti Pražská teplárenská a.s. [7] a tištěné materiály, které tato společnost vydává.

Pražská teplárenská a.s. vznikla 1. května 1992, ale svými aktivitami historicky navazuje na éru Elektrických podniků královského hlavního města Prahy, která se traduje již od roku 1897.

V dnešní době společnost disponuje 49 tepelnými zdroji a teplárenskými sítěmi o celkové délce 664 km. Tepelnou energií zásobuje zhruba 265 tisíc domácností, řadu průmyslových podniků, účelových zařízení a institucí. Hlavním předmětem činnosti je výroba tepelné a elektrické energie. Elektrickou energii dodává Pražská teplárenská do elektrizační soustavy města Prahy.



Obrázek 11 Základní schéma rozvodné sítě Pražské teplárenské

Pražská teplárenská a.s. je z hlediska počtu provozovaných zařízení jednou z největších teplárenských společností v České republice. Aktivity společnosti jsou soustředěny na oblast hlavního města Prahy a přilehlých oblastí (např. Neratovice). Pražská teplárenská a.s. v současné době pokrývá přibližně 37,5 % současného trhu s tepelnou energií v hlavním městě Praze. Zákazníky Pražské teplárenské a.s. jsou průmyslové podniky, administrativní budovy i bytoví odběratelé.

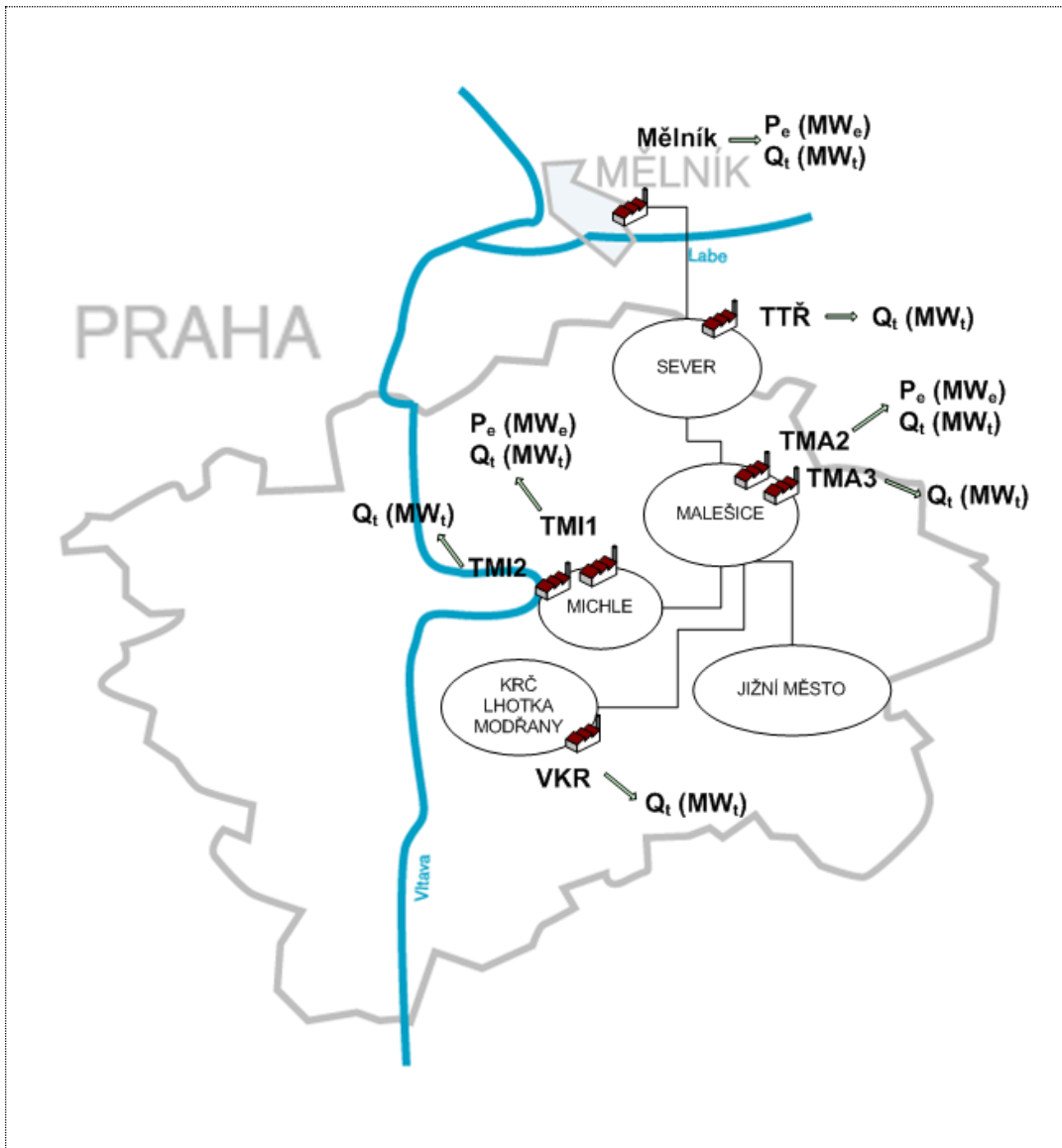
Z hlediska samotného modelu můžeme samotnou síť omezit dle následujících kritérií:

- rozdělení zdrojů na tři typy:
 - pouze výroba tepla
 - výroba tepla a vynucená výroba elektřiny
 - výroba tepla a škálovatelná výroba elektřiny

- jednotlivé zdroje jsou „černé skříňky“ s definovanou charakteristikou – viz. výkonové diagramy
 - nutno nadefinovat tyto charakteristiky (výstup tepla a elektřiny při daném příkonu, účinnost výroby tepla, elektřiny, účinnost paliva – roční průměrná)
 - nutno uvažovat minimální/maximální výkon jednotlivých zdrojů
 - otázka spotřeby zdrojů při daném příkonu

- celá síť je definována jako množina navzájem propojených oblastí, přitom u každé oblasti je definován diagram potřeb tepelné energie

- přenosová síť s definovaným zpožděním, přenosovou kapacitou a ztrátou
 - úzká místa, definování přenosových kapacit (720,330,90 MWt)
 - definování zpoždění na síti – přenosová rychlost je 2 m/s (Mělník – Praha 8-12 hodin), toho je možno využít pro akumulaci či předtopení – zpoždění ani akumulaci v rámci modelu dále neuvažujeme
 - využití lokálního zdroje při dosažení maxima přenosové soustavy – pak dojde k zmenšení odběru, který se navýší až při dalším navýšení spotřeby
 - ztráta v rámci sítě je 14 procent, spojení s Mělníkem ještě o 3 procenta větší



Obrázek 12 Rozdělení sítě do oblastí

5 Model pražské teplárenské soustavy

5.1 Fáze první - Základní (pilotní) model

Po získání základních informací o pražské teplárenské soustavě na pravém břehu Vltavy bylo možné začít pracovat na jejím namodelování v nástroji Powersim Studio. Již po první schůzce bylo jasné, že se model bude skládat z několika oblastí, které odebírají teplo, a z několika zdrojů, které teplo generují. Další podstatnou informací byl fakt, že jednotlivé zdroje kromě vytváření tepla také mohou generovat elektrickou energii (protitlakem, kondenzačně), a to v závislosti na množství vytvářeného tepla. Tyto informace byly dostatečné pro vytváření základního modelu.



Prvním úkolem bylo správné nalezení Hladin a Toků v základním modelu, což díky samotné podstatě problému nebylo příliš složité. Jako prvek Hladina se dalo využít akumulované teplo v jednotlivých oblastech, množství tepla dodávaného a naopak spotřebovávaného v dané oblasti jsou označena jako Toky.

Nyní bylo třeba nadefinovat Zdroj generující teplo, jeho základní parametry, přidat parametry přenosové soustavy a samozřejmě parametry samotné oblasti. Zde se vyskytla otázka k řešení, a to jakým způsobem nastavit spotřebu jednotlivých oblastí.

Jak je uvedeno v dalším textu, byla z důvodu přílišné komplexnosti vypuštěna sledování zpoždění a akumulace tepla (například problém akumulace tepla je nyní předmětem analýz externí společnosti pro Pražskou teplárenskou v očekávaném rozsahu mnoha člověkoměsíků), což ovlivnilo i samotnou podstatu základu modelování.

5.1.1 Výpočet aktuálního zatížení oblasti

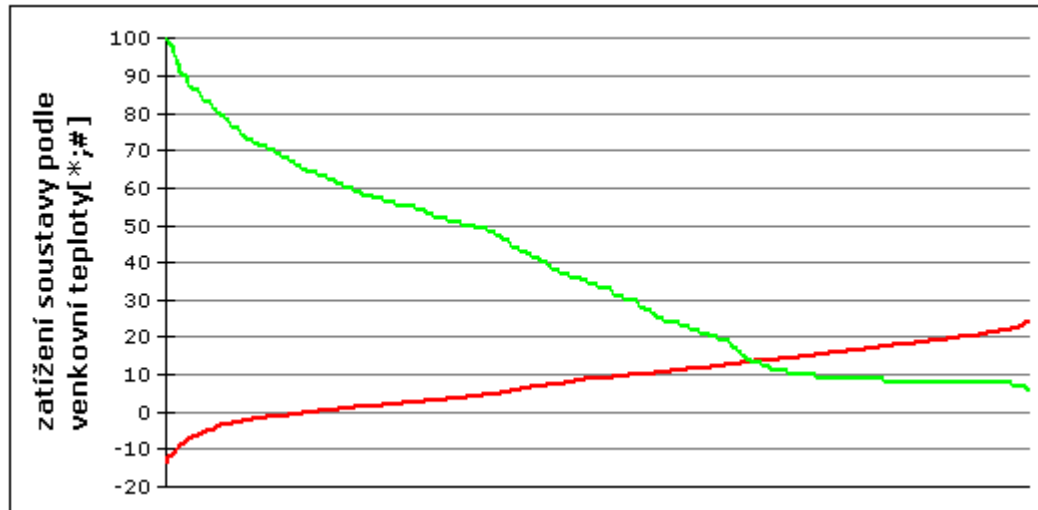
Zatížení oblasti se mění podle dvou základních parametrů:

1. denní průměrné venkovní teploty
2. hodiny v rámci denního průběhu (poptávková křivka)

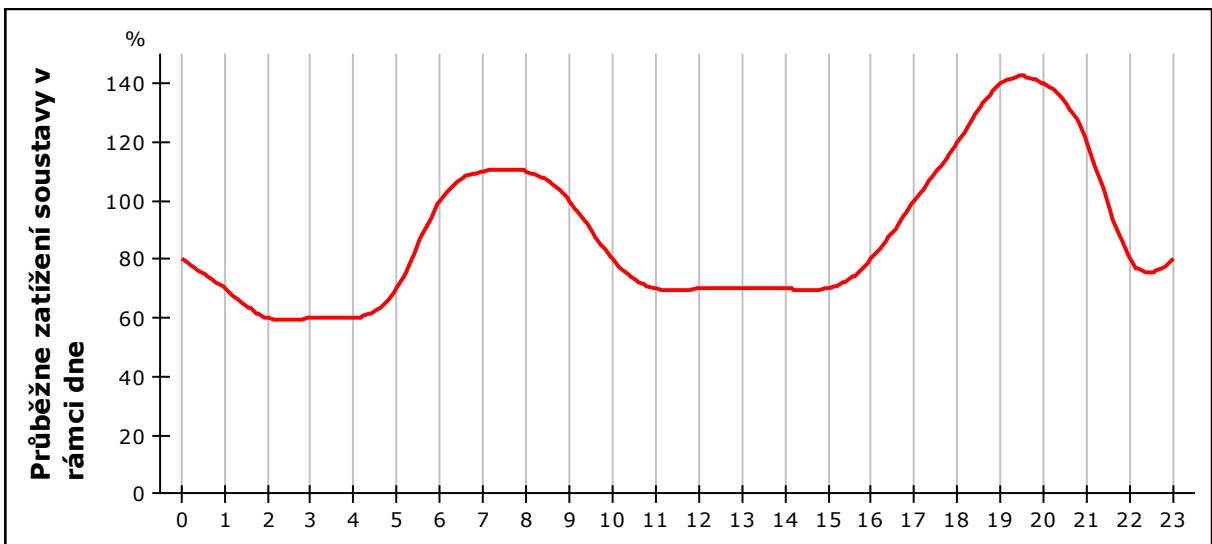
Oba parametry jsou definované jako vstupní hodnoty modelu a zadávají se pomocí dvou tabulek:

1. tabulka dvojic – (průměrná denní teplota, zatížení celé oblasti v %), kde 100% zatížení je definováno v nejméně chladném dni v roce (v rámci uvažované soustavy je to -13.7°C)
2. tabulka dvojic – (hodina ve dni, zatížení soustavy v %), kdy 100% je zatížení vyplývající z průměrné denní teploty

Tato parametrizace je zjednodušení reálného stavu, avšak pro potřeby pilotního modelu je zcela postačující.

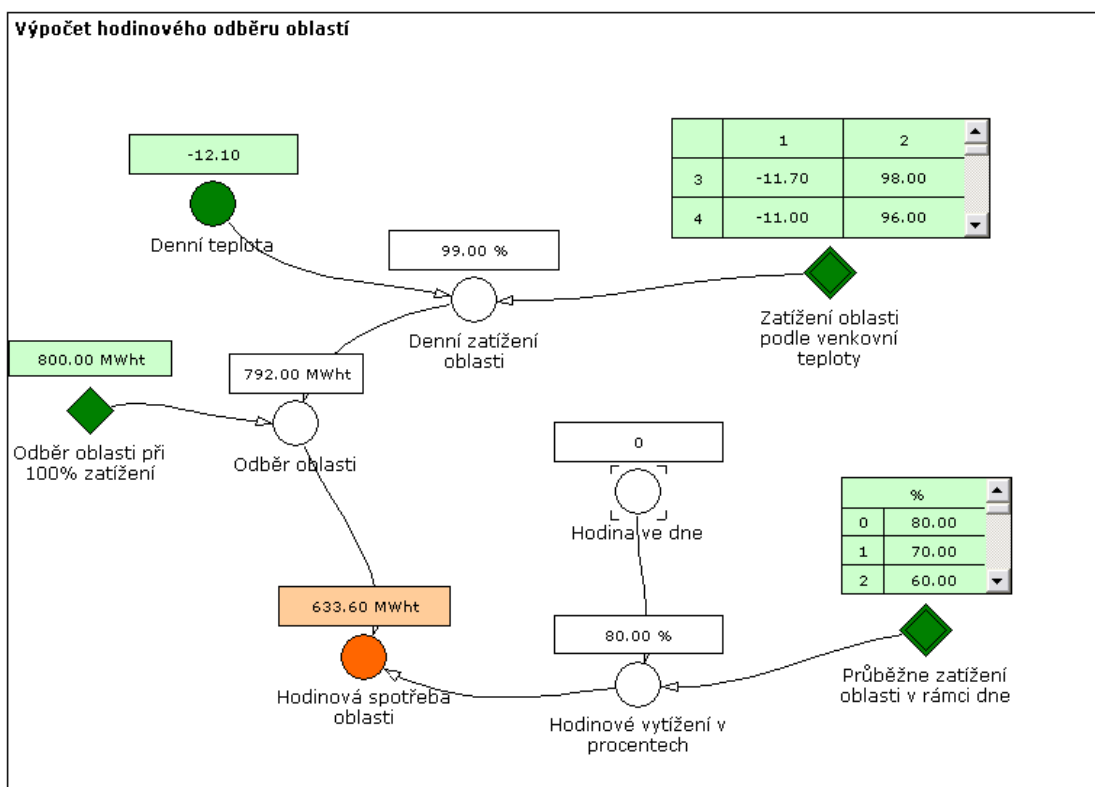


Obrázek 13 Závislost denní průměrné teploty na zatížení soustavy



Obrázek 14 Zatížení soustavy v průběhu dne

Výpočet aktuálního zatížení soustavy je znázorněn na následujícím diagramu (Obrázek 15), kde jsou k dispozici i vstupní údaje (označeny zelenou barvou) a údaje výstupní (oranžové podbarvení).



Obrázek 15 Výpočet aktuální (hodinové) spotřeby oblasti

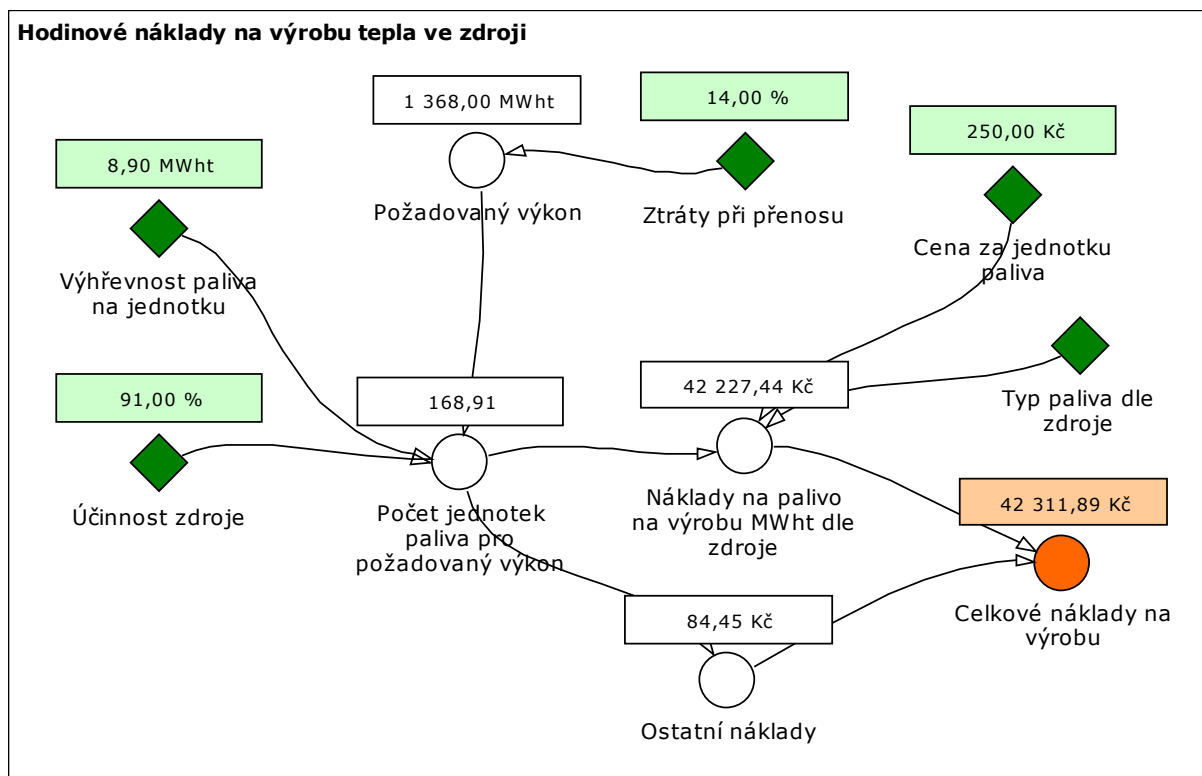
Tento výpočet lze jednoduše rozšířit na libovolný počet oblastí, což bylo později využito při vytváření modelu celé pražské teplárenské soustavy.

5.1.2 Výpočet nákladů na hodinovou výrobu zdroje

Po úspěšném zpracování výpočtu aktuální spotřeby oblasti zbývalo pro vytvoření základního modelu nadefinovat výpočet nákladů na produkci zdroje pro pokrytí poptávky z dané oblasti. Do úvahy bylo nutné vzít následující tři parametry:

1. typ zdroje - určení paliva a účinnosti
2. typ paliva - výhřevnost a náklady na jednotku
3. ztráty při přenosu

Jednotlivé parametry byly zadány do nástroje Powersim Studio a výsledkem byl následující diagram:



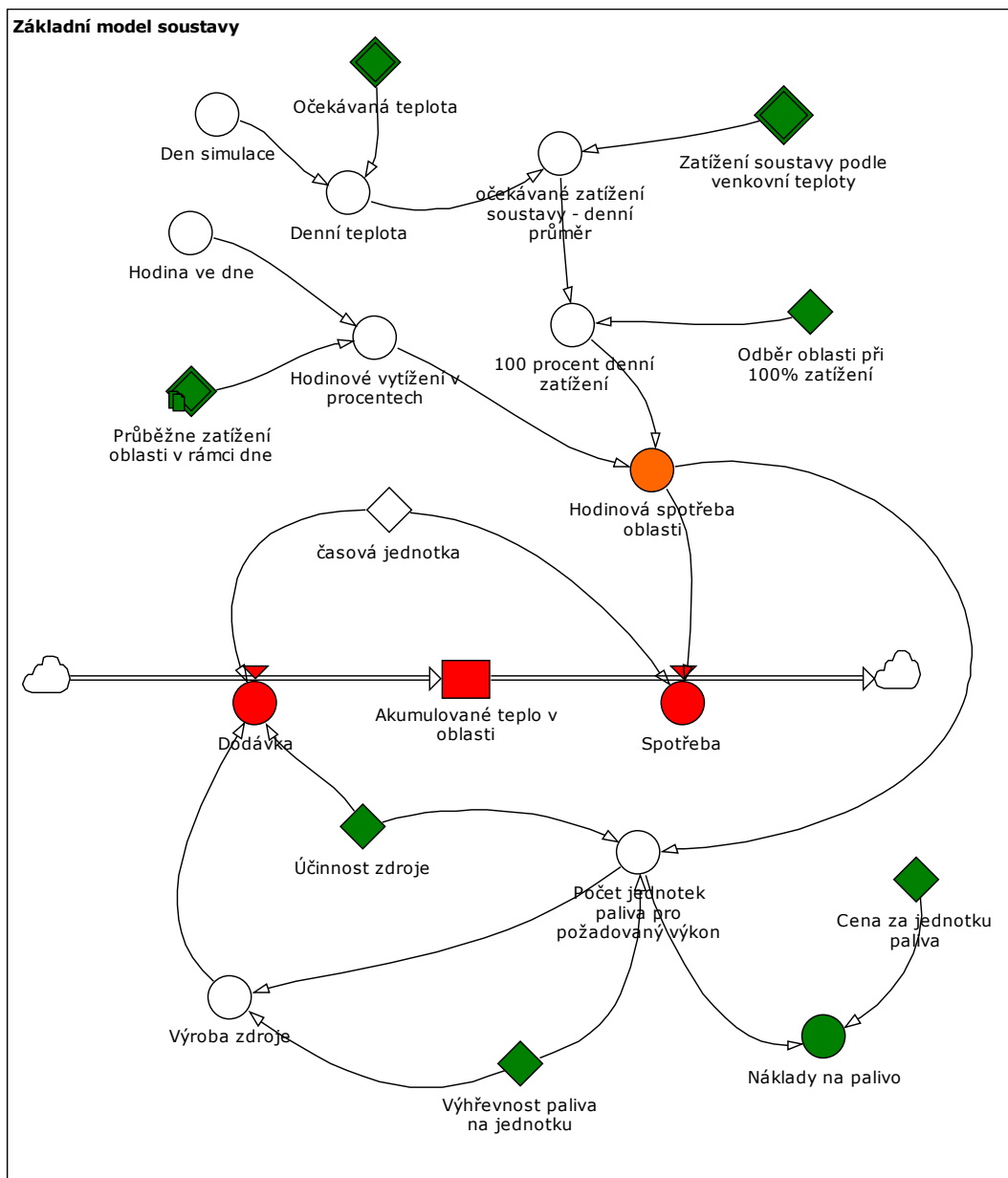
Obrázek 16 Výpočet aktuálních (hodinových) výrobních nákladů na uspokojení poptávky oblasti

5.1.3 Základní model

Na základě obou výše uvedených výpočtů aktuálního zatížení oblasti a nákladů na hodinovou výrobu zdroje bylo již možné vytvořit základní model jednoduché soustavy s jedním zdrojem

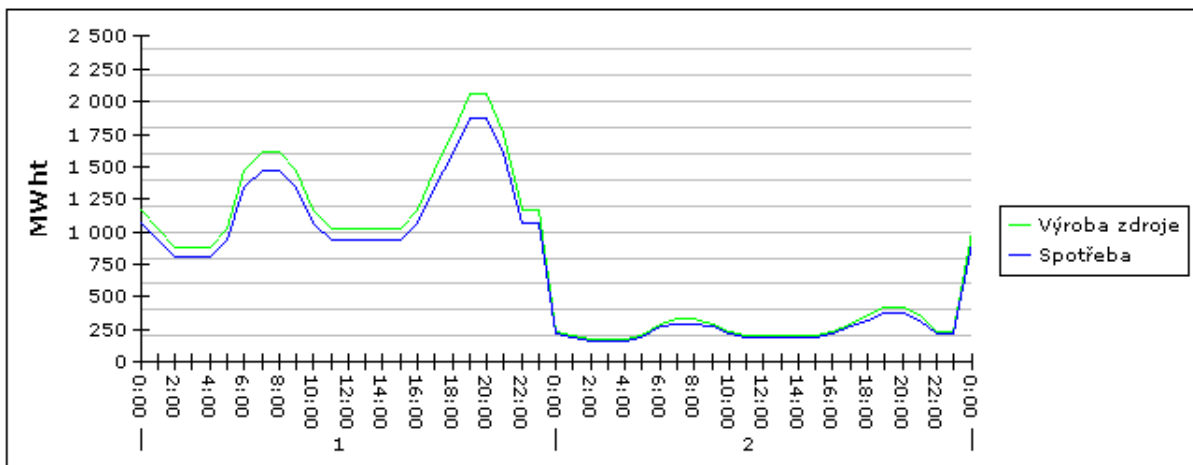
a jednou oblastí. Časový rámec simulace byl nastaven na 2 dny, tj. simulace spočívala v 48 krocích, přičemž průměrná teplota v obou dnech se zadávala jako parametr.

Výsledný diagram vypadal následovně (zachováváme stejnou barevnou syntaxi jako u předchozího diagramu).



Obrázek 17 Základní model soustavy

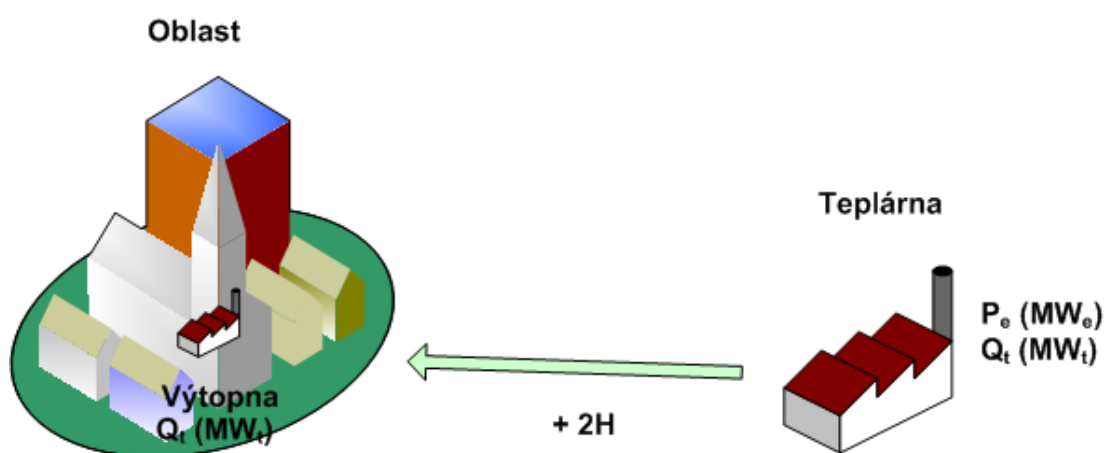
Výsledný graf výroby zdroje při zvolených denních teplotách (-12.10°C,12.10°C) pak vypadá takto:



Obrázek 18 Průběh základní simulace dvou dnů

5.1.4 Základní model – Optimalizace teorie

Po dokončení základního modelu a vytvoření simulace základní soustavy bylo možné začít řešit otázku samotné optimalizace výroby – tj. rozložení výroby mezi jednotlivé zdroje tak, aby byla splněna základní podmínka dodání nasmlouvaného objemu tepla a zároveň se minimalizovaly náklady na výrobu. K vytvoření optimalizace bylo již potřeba využít alespoň dvou zdrojů – jedním ze zdrojů byl zdroj čistě teplotenský (výtopna – palivo plyn) a druhý s vynucenou výrobou elektrické energie pomocí protitlakové turbíny (palivo hnědé uhlí).



Obrázek 19 Jednoduché schéma dvou teplotenských zdrojů

Problém si můžeme rozdělit na několik (v našem případě 48 – simulujeme dva dny po hodinovém kroku) statických podproblémů, jelikož jednotlivé kroky simulace jsou na sobě

nezávislé a v každém kroku je třeba provést výpočet, který nalezne optimální výrobu tepla jednotlivých zdrojů. Každý takovýto podproblém vede na úlohu nelineární optimalizace.

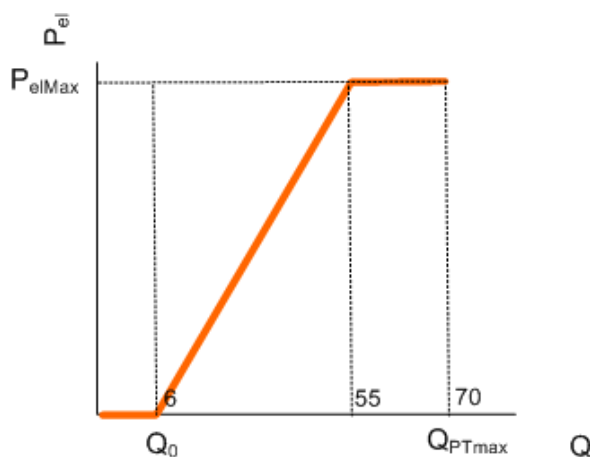
Označme Q_i tepelný výkon jednotlivých zdrojů a z_i ztráty jednotlivých zdrojů při přenosu, tedy:

Q_1 = tepelný výkon teplárny, z_1 = tepelná ztráta při dodávce z teplárny

Q_2 = tepelný výkon výtopyny, z_2 = tepelná ztráta při dodávce z výtopyny

Dále označme $Q_{d,max}$ objednaný tepelný výkon, který musíme primárně uspokojit. Symboly c_p a c_u necht' značí cenu za výrobu jednotky tepla z plynu, resp. z uhlí.

Symbolem $f(Q)$ označíme funkci vynucené výroby elektřiny v závislosti na vyrobeném teple. Její tvar zachycuje následující obrázek.



Obrázek 20 Graf vynucené výroby elektrické energie

Explicitní předpis pro funkci f tedy můžeme zapsat ve tvaru

$$f(Q) = \begin{cases} 0 & Q \leq Q_0 \\ \frac{P_{elMax}}{(Q_{PTmax} - Q_0)} (Q - Q_0) & Q_0 \leq Q \leq Q_{PTmax} \\ P_{elMax} & Q \geq Q_{PTmax} \end{cases}$$

kde Q_0 označuje minimální tepelný výkon teplárny, při němž začíná docházet k výrobě elektřiny, a Q_{PTmax} značí nejnižší tepelný výkon teplárny, při němž je generováno maximální množství elektrické energie, pro které užíváme symbol P_{elMax} .

Základními podmínkami uvažované optimalizační úlohy jsou omezení na minimální a maximální výkon teplárny, resp. výtopny, a podmínka na uspokojení poptávky Qd_{\max} . Symbolicky je můžeme zapsat ve tvaru

$$\begin{aligned} Q_1^{\min} &\leq Q_1 \leq Q_1^{\max} \\ Q_2^{\min} &\leq Q_2 \leq Q_2^{\max} \\ (1 - z_1)Q_1 + (1 - z_2)Q_2 &\geq Qd_{\max}. \end{aligned}$$

Účelová funkce naší úlohy bude obsahovat celkové provozní náklady soustavy při výkonech Q_1 a Q_2 , jejichž optimální hodnoty se snažíme najít. Symboly N_1 , resp. N_2 , budeme značit provozní náklady dvou zdrojů tepla na jejich jednotkový výkon (předpokládáme lineární závislost). Dále P_1 a P_2 nechť značí ztrátu za neprodané povolenky, opět na jednotku výkonu (zde je linearita velmi rozumným předpokladem), a konečně symbolem E budeme rozumět jednotkovou cenu elektřiny.

Následně můžeme zapsat náklady na provoz teplárny jako

$$Q_1 c_u + Q_1 N_1 + Q_1 P_1 - f(Q_1) \cdot E$$

a podobně náklady na provoz výtopny jako

$$Q_2 c_p + Q_2 N_2 + Q_2 P_2.$$

Nyní můžeme sestavit finální tvar optimalizační úlohy. Dostáváme

$$\min_{Q_1, Q_2} Q_1(c_u + N_1 + P_1) - f(Q_1) \cdot E + Q_2(c_p + N_2 + P_2)$$

za podmínek

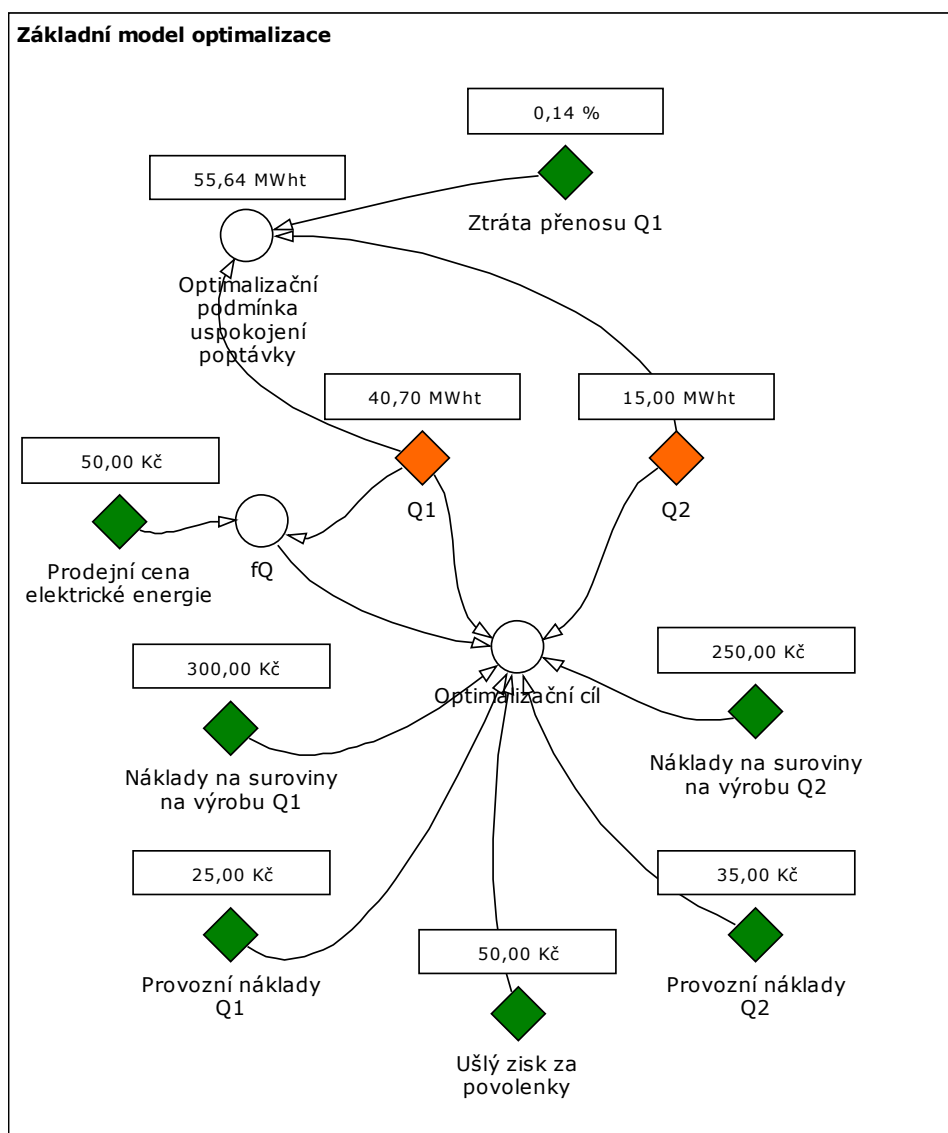
$$\begin{aligned} Q_1^{\min} &\leq Q_1 \leq Q_1^{\max} \\ Q_2^{\min} &\leq Q_2 \leq Q_2^{\max} \\ (1 - z_1)Q_1 + (1 - z_2)Q_2 &\geq Qd_{\max}. \end{aligned}$$

Došli jsme k úloze s jednoduchou strukturou. Všech pět omezení je lineárních vzhledem ke Q_1 a Q_2 , množina přípustných řešení je tudíž (omezeným) konvexním polyedrem v \mathbf{R}^2 . Jelikož je účelová funkce nelineární ve svých proměnných, bylo třeba k řešení úlohy využít některý z algoritmů určených pro problémy nelineární optimalizace. Přes nelinearitu funkce f je účelová funkce natolik jednoduchá, že žádný z běžně užívaných postupů by s touto úlohou neměl mít vážnější problémy. Dobrou volbou by mohl být jeden z nejpoužívanějších algoritmů – iterativní metoda redukovaného gradientu, která je implementována např.

v nástroji Solver v MS Excelu. Její popis i více o tématu řešení nelineárních optimalizačních úloh lze nalézt např. v knize Bazaraa S., Sherali H.D., Shetty C.M. [8].

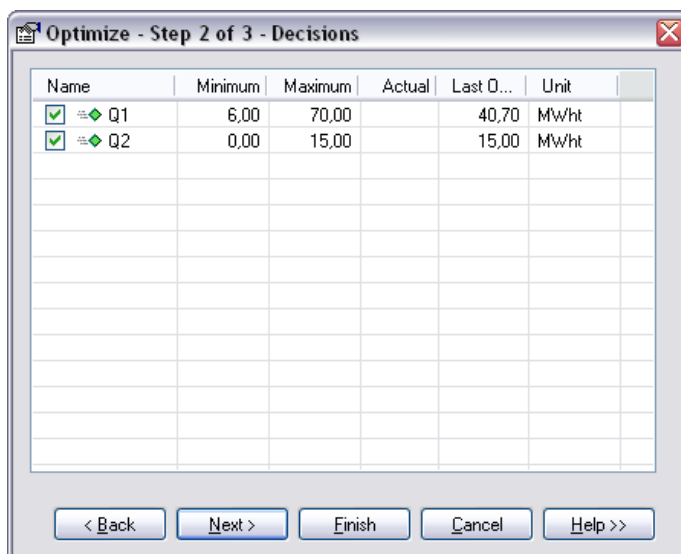
5.1.5 Základní model – Optimalizace v praxi (Powersim Studio)

Při vytváření optimalizačního modelu v programu Powersim Studio se ukázal velký nedostatek aplikace, kterým je nemožnost provádět optimalizaci v každém kroku simulace. Jediná možnost výpočtu optimalizace (zde pomocí evolučních algoritmů) je explicitně spuštěná optimalizace uživatelem, jejíž výsledky jsou zapsány do konkrétních proměnných modelu. Z hlediska této diplomové práce byla však tato možnost zcela nepoužitelná, neboť by vyžadovala, aby uživatel simulace při každém kroku explicitně pouštěl optimalizaci, což například u třídní simulace znamená 72 spuštění.

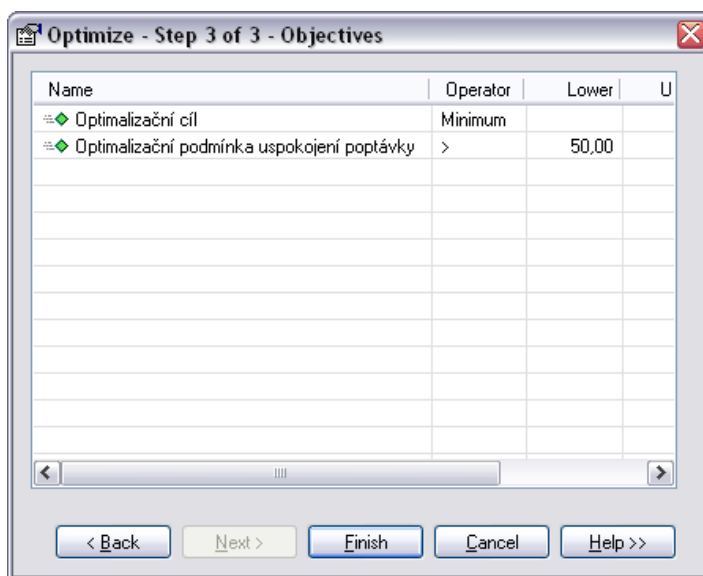


Obrázek 21 Základní model optimalizace

Uvedený základní model optimalizace na *Obrázek 21* zobrazuje kromě vstupních dat i vypočtené hodnoty Q_1 a Q_2 . Při zadávání samotné optimalizace byly nastaveny následující parametry:



Obrázek 22 Nastavení hraničních hodnot výroby jednotlivých zdrojů



Obrázek 23 Nastavení cílů optimalizace

Samotný běh optimalizace (150 iterací) trval několik sekund.

Výše zmíněný problém byl konzultován se zástupci společnosti Proverbs [12], reprezentující lokální zastoupení společnosti nabízející aplikaci Powersim Studio, a výsledkem bylo, že tento problém již také několikrát řešili a že jediná možnost je si optimalizaci realizovat externím programem/skriptem. Na základě těchto informací vzniklo několik možností, jak problém s implementací optimalizace vyřešit:

1. pokusit se pomocí programových prostředků, které nabízí modelovací prostředí Powersim Studio, naprogramovat optimalizaci
2. pokusit se naprogramovat optimalizaci ve Visual Basic Script, který se dá v rámci akce v modelu vykonávat
3. využít již stávající optimalizační výpočet a pokusit se jej do modelu integrovat

V rámci této volby vyhrál bod třetí – využití již existujícího optimalizačního algoritmu. Jedním z dostupných řešení byl nástroj Solver (Řešitel), který je součástí aplikace Microsoft Excel a který se zdál být pro potřeby modelu zcela dostačující.

5.1.5.1 Integrace Microsoft Excel Solver rozšíření do modelu

Integrace volání rozhraní Solver byla realizována ve dvou fázích – první byla implementace otevření, naplnění a zavolání Solver funkcí pomocí jazyka VBScript a druhou fází pak bylo zavolání tohoto kódu z programu Powersim Studio.

Přes zjevnou trivialitu první fáze se ukázala být implementačně nejsložitější, hlavně z důvodu špatné dokumentace funkcí Solver rozhraní a jejich programového volání.

Druhá fáze spočívala ve využití funkce produktu Powersim Studio VBFUNCTION, sloužící k vykonání kódu v jazyce VBScript. Funkce má tři parametry, prvním je dimenze a jméno výstupního pole, druhým je mapování vnitřních proměnných užitých ve VBScript kódu na proměnné v modelu a třetím je textové pole, které představuje tělo samotného VBScript kódu.

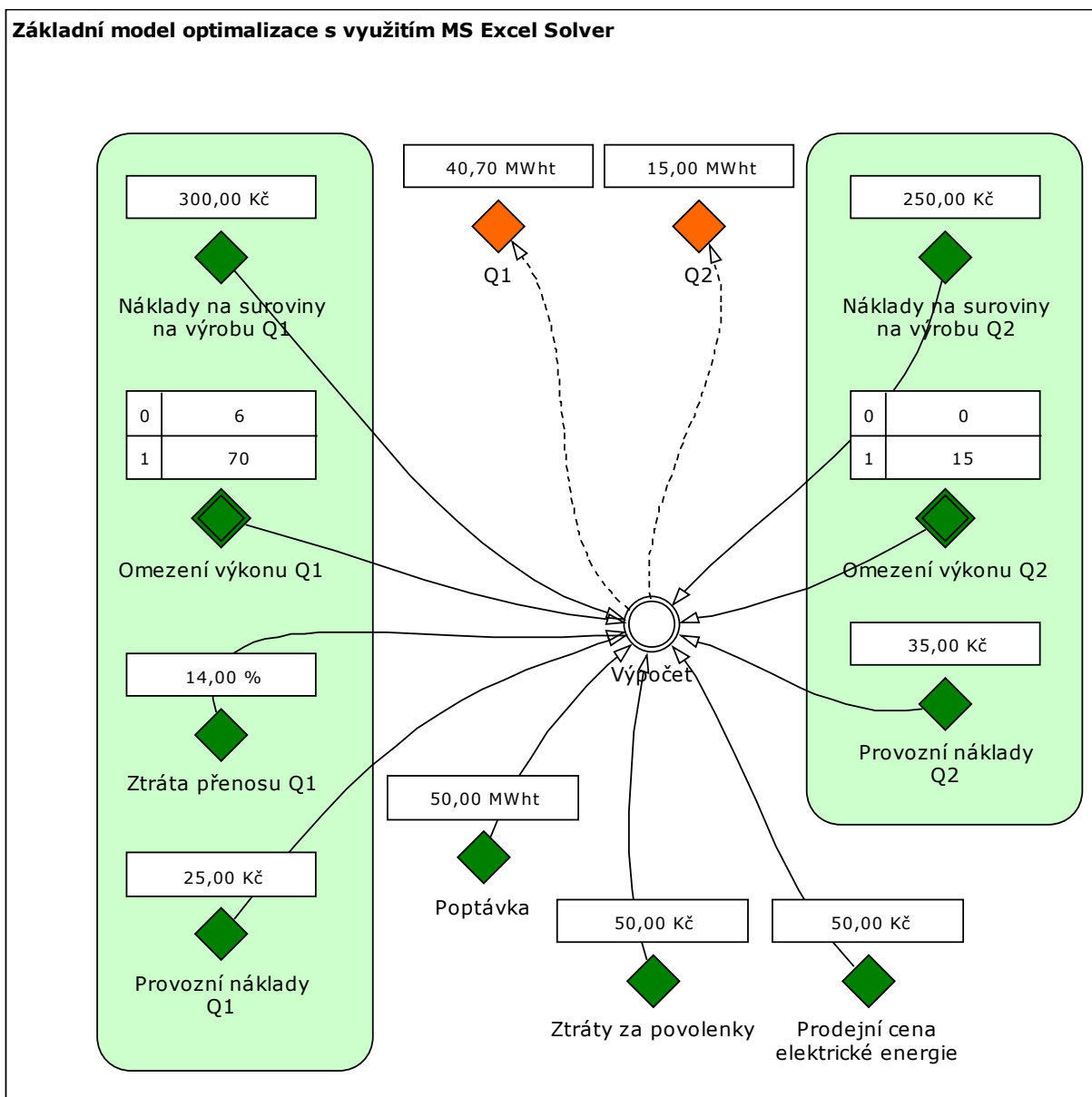
Jeden z příkladů uváděných v dokumentaci k programu Powersim Studio, který demonstruje možnost násobení každého prvku vstupního pole konstantou 10, vypadá následovně:

```
VBFUNCTION ( 1..3 | {1,6,3} |  
"for i = 0 to 2"  
"Result(i) = Param(i)*10"  
"next"  
) = {10,60,30}
```

Samotná definice proměnné, ve které se realizuje výpočet, je taktéž obsažena v Příloze A.

5.1.6 Základní model – Finální stav

Na základě uvedeného rozhodnutí využít možnosti integrace s nástrojem Solver, bylo potřeba základní model upravit tak, aby obsahoval všechny potřebné údaje pro vytvoření optimalizačního dotazu.



Obrázek 24 Základní model s využitím volání MS Excel Solver

Jak je z diagramu vidět, výsledek, tj. optimální výroba pro oba zdroje, je totožný s výsledkem interní optimalizace nástroje Powersim Studio, který je uveden jako Obrázek 21.

Níže uvádíme celý kód volání funkce VBFUNCTION v základním modelu:

```
VBFUNCTION(sources|
"iNakladyNaSurovinyNaVyrobu_Q1" = 'Náklady na suroviny na výrobu Q1';
"fZtratyPriPrenosu_Q1" = 'Ztráta přenosu Q1';
"iNakladyNaSurovinyNaVyrobu_Q2" = 'Náklady na suroviny na výrobu Q2';
"iProvozniNaklady_Q1" = 'Provozní náklady Q1';
"iProvozniNaklady_Q2" = 'Provozní náklady Q2';
"iUslyZiskZaPovolenky_Q1" = 'Ušlý zisk za povolenky';
"iUslyZiskZaPovolenky_Q2" = ' Ušlý zisk za povolenky';
"fProdejniCenaElEnergie" = 'Prodejní cena elektrické energie';
"iQ1" = 'Omezení výkonu Q1';
"iQ2" = 'Omezení výkonu Q2';
"iPoptavka" = Poptávka
|
' interní vytvoření XLS souboru a začlenění doplňku Solver
set objXL = CreateObject("Excel.Application")
objXL.WorkBooks.Open(
    "E:\Microsoft Office\OFFICE11\Library\Solver\Solver.xla")
Set NewBook = objXL.WorkBooks.Add

'vyplnění základních buněk - hledaných řešení výroby
"objXL.Cells(1, 1).Value = "Q1"
"objXL.Cells(2, 1).Value = "Q2"
"objXL.Cells(3, 1).Value = "QPT"

"objXL.Cells(1, 2).Value = 0"
"objXL.Cells(2, 2).Value = 0"

'uložení do proměnných výpočty nákladů
iNakladyQ1 = iNakladyNaSurovinyNaVyrobu_Q1 + iProvozniNaklady_Q1 +
            iUslyZiskZaPovolenky_Q1 - fProdejniCenaElEnergie
iNakladyQ2 = iNakladyNaSurovinyNaVyrobu_Q2 + iUslyZiskZaPovolenky_Q2 +
            iProvozniNaklady_Q2

objXL.Cells(3, 2).Value = "=" & (1- fZtratyPriPrenosu_Q1) & "*" & "$B$1+$B$2"
objXL.Cells(4, 2).Value = "=" & iNakladyQ1 & "*" & "$B$1+" & iNakladyQ2 & "*" & "$B$2"

'zadání pro doplněk Solver
'(1,2): iMin_Q1 <= B1 <= iMax_Q1
'(2,2): iMin_Q2 <= B2 <= iMax_Q2
'(3,20): B3 >= iPoptavka'
'minimalizuj B4 (4,2)
'changing cells B1 a B2 (2,1) a (2,2)
objXL.Application.Run "Solver.xla!Auto_Open"
objXL.Application.Run "Solver.xla!SolverReset"
objXL.Application.Run "Solver.xla!SolverOk", "$B$4", 2, "0", "$B$1:$B$2"
```



```
objXL.Application.Run \"Solver.xla!SolverAdd\", \"&B&1\", 3, iQ1(0)
objXL.Application.Run \"Solver.xla!SolverAdd\", \"&B&1\", 1, iQ1(1)
objXL.Application.Run \"Solver.xla!SolverAdd\", \"&B&2\", 3, iQ2(0)
objXL.Application.Run \"Solver.xla!SolverAdd\", \"&B&2\", 1, iQ2(1)
objXL.Application.Run \"Solver.xla!SolverAdd\", \"&B&3\", 3, iPoptavka
objXL.Application.Run \"Solver.xla!SolverSolve\", TRUE
```

```
If writeToFile = 1 Then
    FileName = \"Sim_\" & Hour(Now) & Minute(Now) & Second(Now) & \".xls\"
    NewBook.SaveAs (\"d:\\\" & FileName)
End If
```

```
'načtení výsledků zpět do simulace
Result(0) = objXL.Cells(1, 2).Value\"
Result(1) = objXL.Cells(2, 2).Value\"
```

```
'uvolnění objektu Excel
objXL.DisplayAlerts = FALSE
objXL.Quit
set objXL = Nothing
)
```

Výsledkem základního modelu je funkční prostředí pro řešení optimalizace výroby na základě definovaných fundamentálních parametrů.

5.2 Fáze druhá - Finální model - základní popis

5.2.1 Požadavky na model

Na finální verzi modelu byly kladeny jednoznačné požadavky, jak co se týká samotného modelu soustavy a optimalizace, tak důslednost na korektní zadání vstupů.

Základní model byl rozšířen o všechny zdroje a oblasti pražské teplotní soustavy, byly nadefinovány parametry jednotlivých zdrojů, parametry týkající se nákladů na výrobu dle typu paliva, spotřeba jednotlivých oblastí a samozřejmě plný záběr optimalizace – v tomto bodě došlo k značnému rozšíření vstupních podmínek na optimalizaci a změnil se i přístup a zpracování v rámci XLS souboru. Samotný model byl dosti rozšířen a byly využity některé další možnosti programu Powersim Studio při práci s diagramy, provázaností diagramů a subdiagramů a další.

Důležitým bodem bylo i schválení a nastavení vstupů a výstupů simulace ze strany Pražské teplotní soustavy.

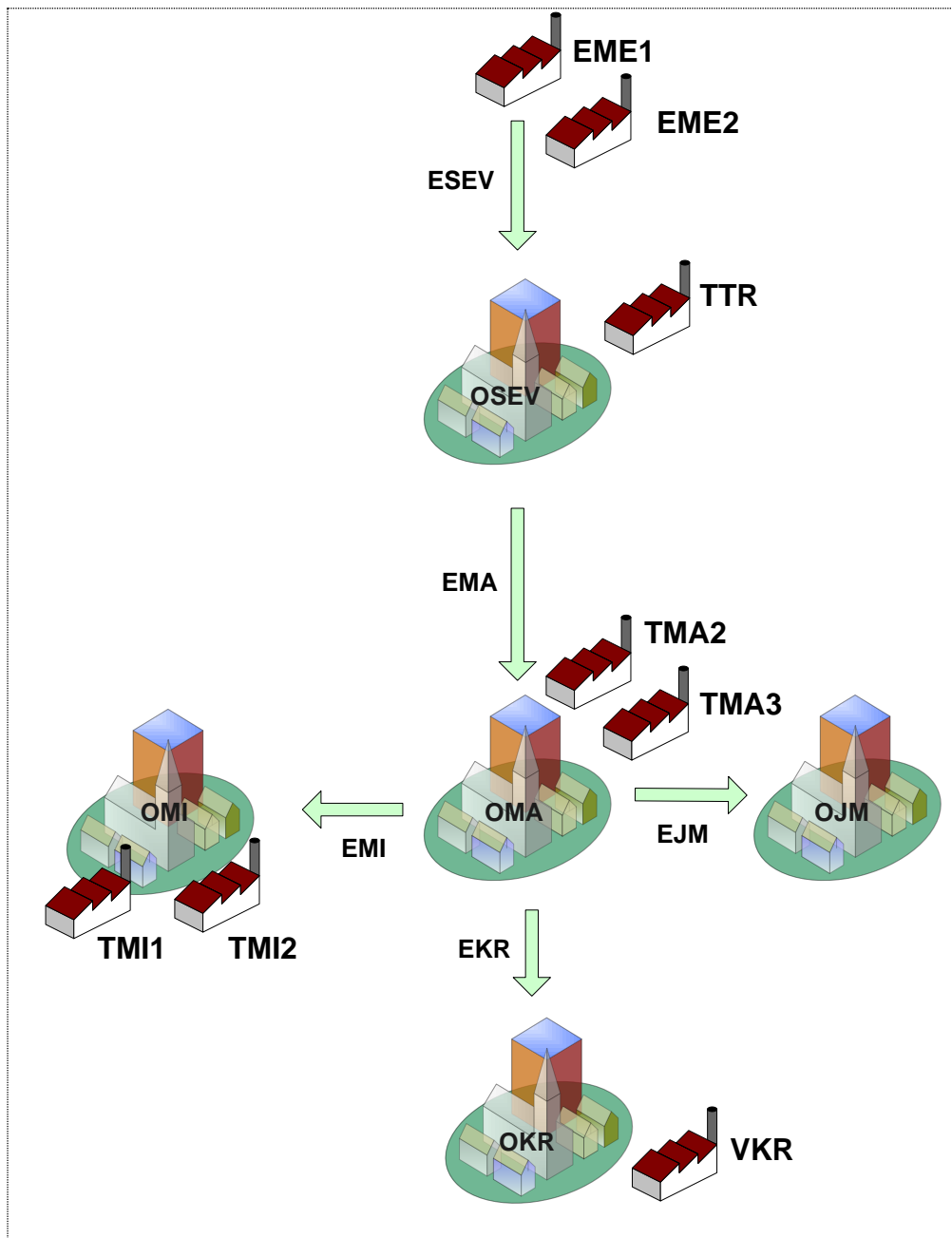
Celá kapitola 5.2 obsahuje definici soustavy, podle které byl vytvořen finální model, její komponenty a parametry. Dále obsahuje popis a definici optimalizační funkce a podmínek pro finální model a v neposlední řadě skutečné hodnoty parametrů jednotlivých komponent.

5.2.2 Obecné parametry soustavy

Pražská teplotní soustava se skládá z následujících komponent:

1. výrobních zdrojů
2. spotřebních oblastí
3. přenosových kanálů

Pro účely modelu byla vytvořena následující mapa soustavy, která obsahuje všechny důležité komponenty a která sloužila při definici optimalizace k nastavení korektní distribuce tepla z jedné oblasti (zdroje) do druhé.



Obrázek 25 Teplárenská soustava vstupující do modelu

Základní popis jednotlivých komponent:

Zdroj	
EME1	Elektrárna Mělník 1
EME2	Elektrárna Mělník 2
TTR	Teplárna Třeboradice
TMI1	Teplárna Michle 1
TMI2	Teplárna Michle 2
TMA2	Teplárna Malešice 2
TMA3	Teplárna Malešice 3

VKR	Výtopna Krč
------------	-------------

Oblasti	
OSEV	Oblast Sever
OMA	Oblast Malešice
OMI	Oblast Michle
OJM	Oblast Jižní město
OKR	Oblast Krč

Přenosové kanály	
ESEV	Přenosový kanál EME1/2-Oblast Sever
EMA	Přenosový kanál Oblast Sever – Oblast Malešice
EMI	Přenosový kanál Oblast Malešice – Oblast Michle
EJM	Přenosový kanál Oblast Malešice – Oblast Jižní město
EKR	Přenosový kanál Oblast Malešice – Oblast Krč

Každá komponenta je popsána netriviálním množstvím parametrů, následuje jejich výčet a význam pro každý typ:

Parametry zdroje	
Typ paliva	Typ paliva užívaného ve zdroji – možnosti jsou černé uhlí (ČU), hnědé uhlí (HU) a zemní plyn (ZP)
Min výroba MWt	Minimální výroba tepla Q_0
Max výroba MWt	Maximální výroba tepla Q_{PTmax}
Max výroba MWe	Maximální výroba elektrické energie
Účinnost	Účinnost zdroje
Ztráty u přenosu	Ztráty přenosu do soustavy
Typ výroby elektrické energie	Možnosti jsou – žádná, kogenerační (protitlakem), kondenzační
Součinitel e	Poměr vyráběné el. energie k tepelné energii
Spotřeba MWhe na výrobu MWht	Spotřeba el. energie na výrobu 1 MWh tepla
Spotřeba MWhe na výrobu	Spotřeba el. energie na výrobu 1 MWh elektrické

MWhe	energie
Spotřeba MWhe na čerpání MWht	Spotřeba el. energie na čerpání 1 MWh tepla do oblasti

Parametry přenosového kanálu	
Max. kapacita	Kapacitní omezení přenosového média

Parametry oblasti	
Procento spotřeby	Procentuální část spotřeby z celé soustavy

Další parametry se vztahují k samotné výrobě energie – hlavně k palivu.

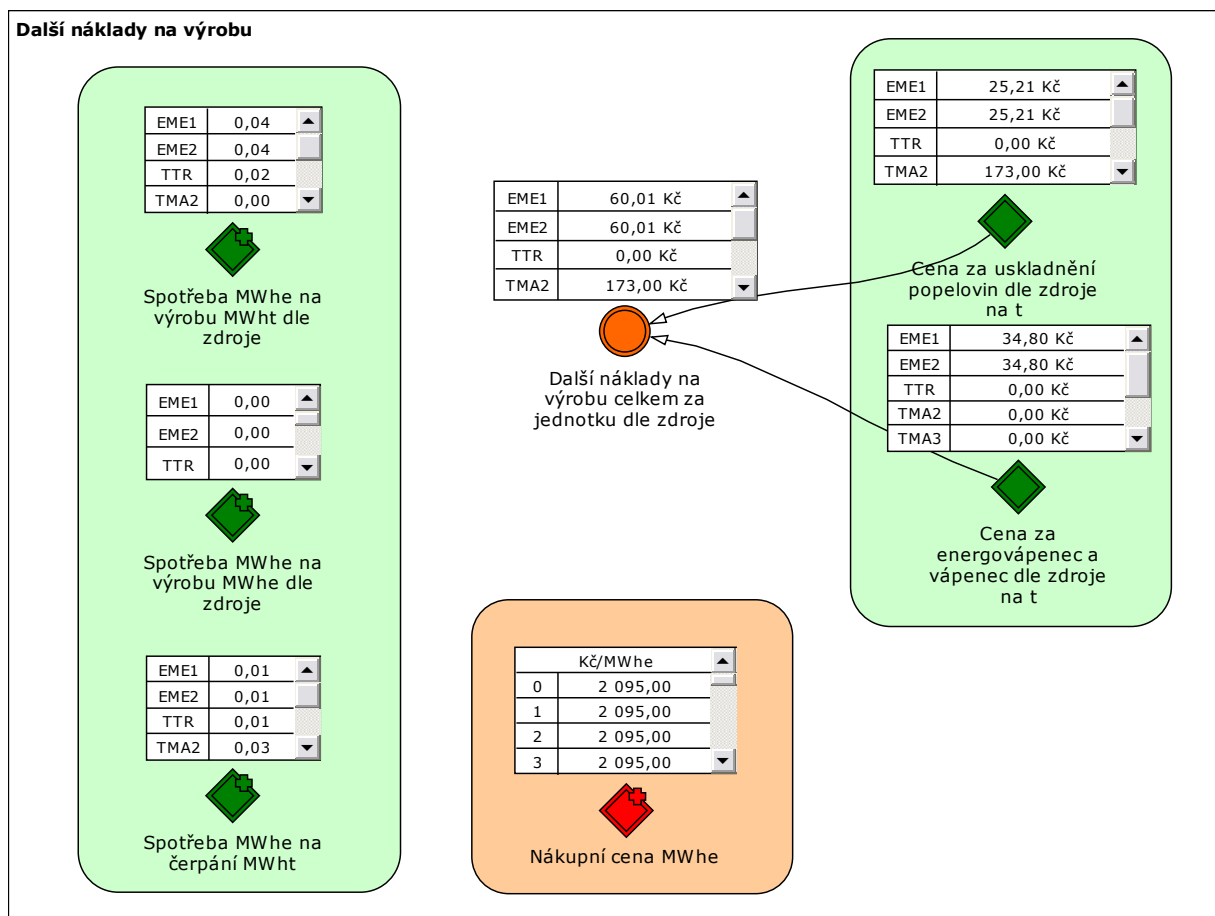
Parametry paliva	
Měrná jednotka	Typ měrné jednotky
Výhřevnost	Výhřevnost MJ na měrnou jednotku
Produkce CO₂	Produkce CO ₂ na měrnou jednotku
Uskladnění popílek a struska	Jen u ČU a HU
Vápenec a energosádrovec	Jen u ČU a HU

A poslední množina parametrů se vztahuje k simulaci jako takové.

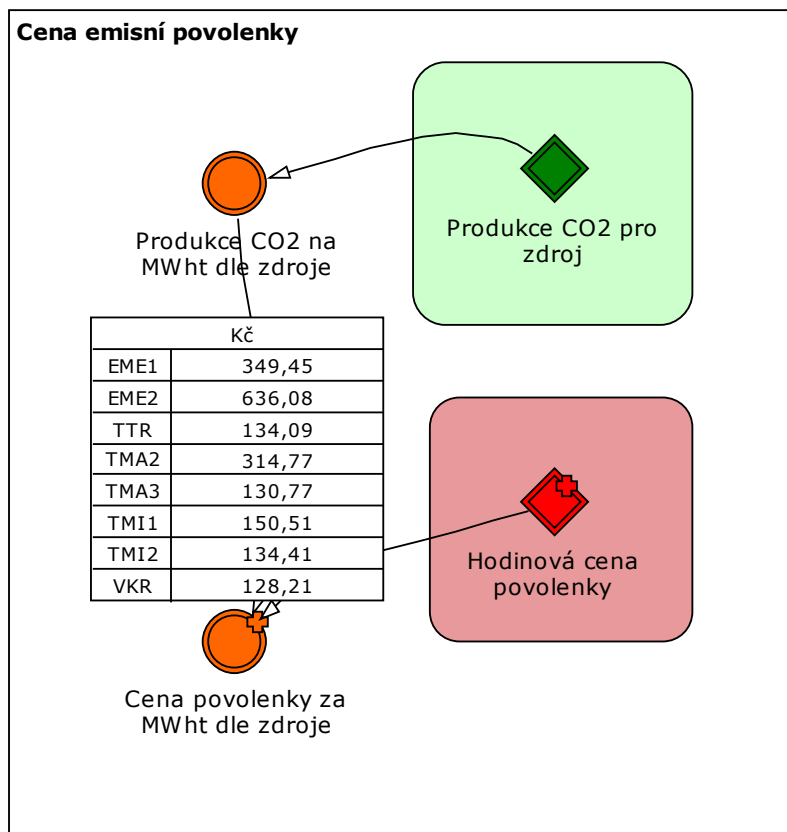
Ostatní parametry	
Cena povolenky CO₂	Cena za jednu povolenku CO ₂ (proměnná v hodinách)
Celková spotřeba soustavy	Udává celkovou spotřebu soustavy při 100% zatížení v MWht
Nasmlouvaný odběr elektrické energie EME	Minimální nutná výroba elektrické energie na EME
Prodejní cena elektřiny – základ	Prodejní cena elektřiny – základ
Prodejní cena elektřiny – bonus za kogeneraci	Prodejní cena elektřiny – bonus za kogeneraci
Prodejní cena elektřiny – bonus za	Prodejní cena elektřiny – bonus za

decentralizovanou výrobu	decentralizovanou výrobu
Hodinová nákupní cena elektřiny	Nákupní cena elektřiny
Paušální cena za nasmlouvaný odběr za 1 MWht	Smluvní cena za odběr elektrické energie v nasmlouvaném množství
Zpoždění přenosu Q z EME	V hodinách udávaný parametr soustavy, který udává zpoždění dodávky tepla z EME

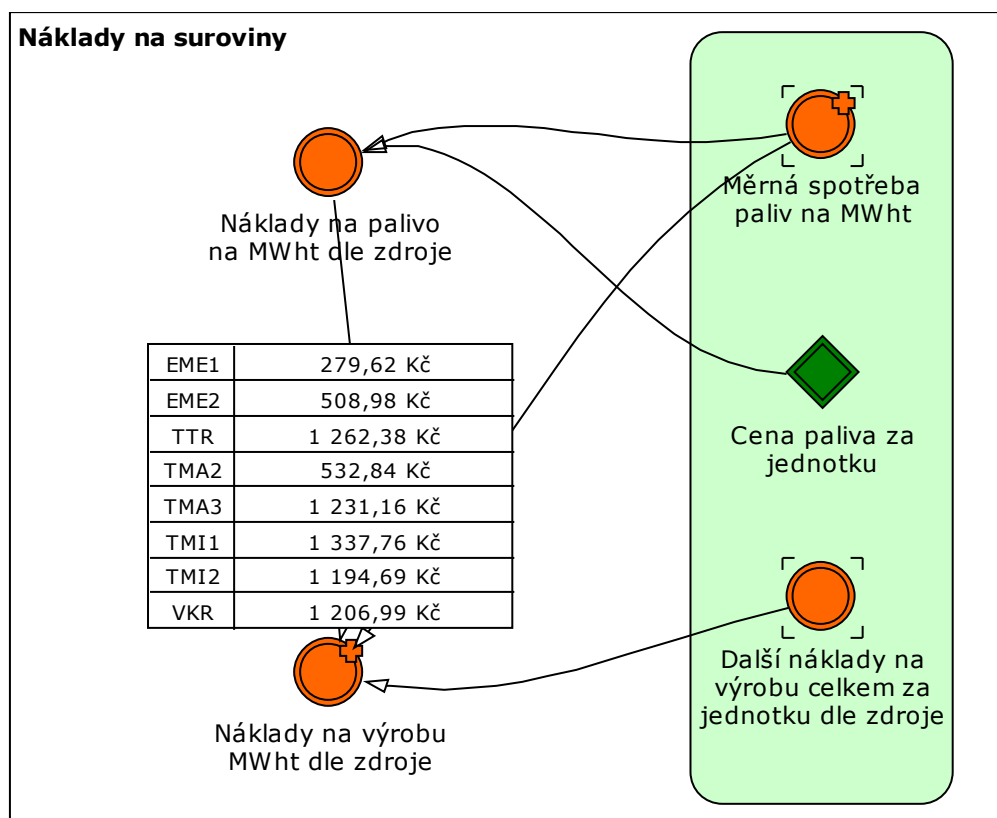
Výše uvedené parametry jsou do modelu zakomponovány takto:



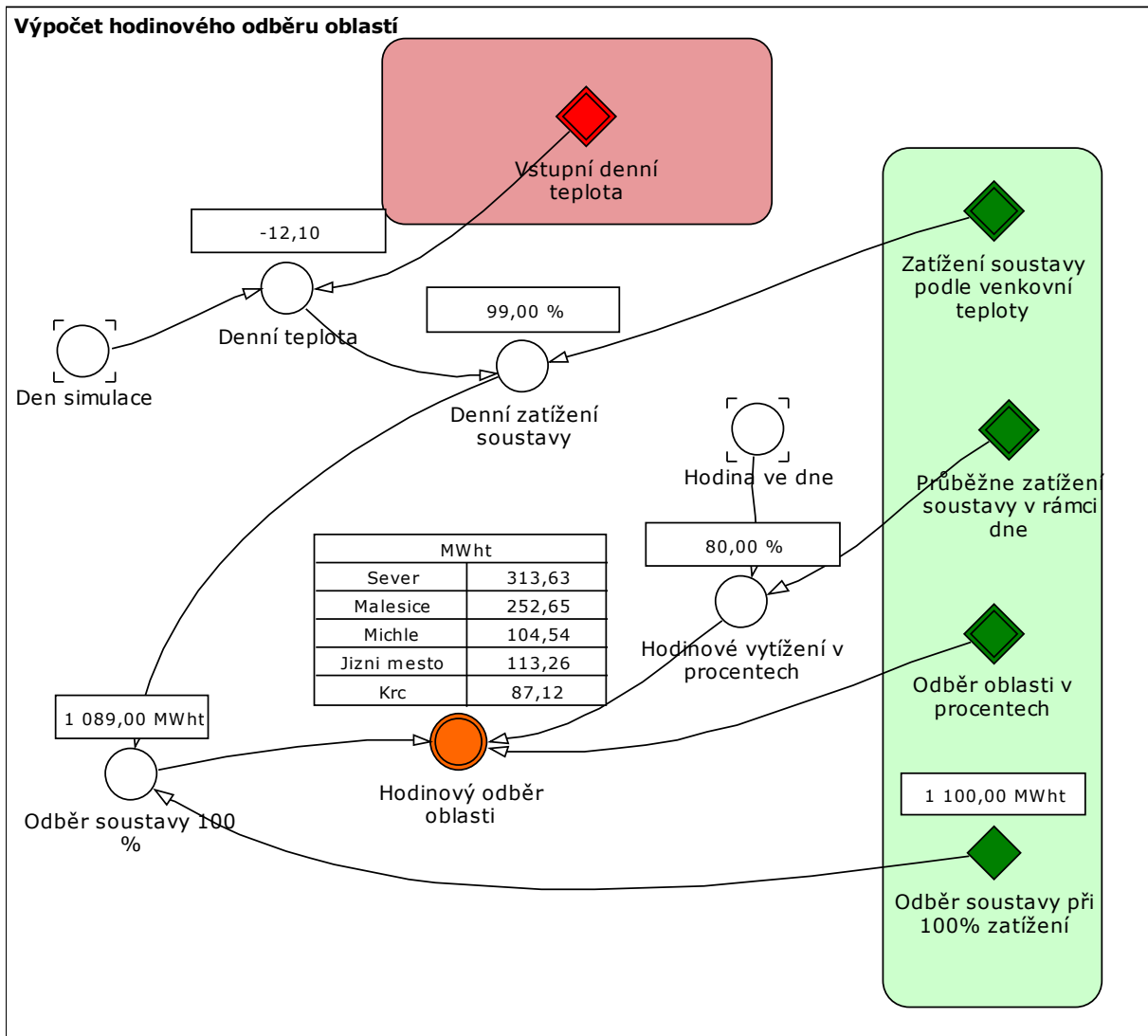
Obrázek 26 Další náklady na výrobu



Obrázek 27 Cena emisních povolenek



Obrázek 28 Celkové náklady na palivo ve zdroji



Obrázek 29 Výpočet hodinového zatížení jednotlivých oblastí

Podrobný popis jednotlivých parametrů a jejich hodnot je uveden v dalším textu.

5.2.3 Optimalizace

Finální verze optimalizace vychází z následujících podmínek a požadavků:

1. za každých okolností musí být uspokojena poptávka na tepelnou energii rozdělená na jednotlivé oblasti
2. při výrobě tepelné energie je nutno počítat se ztrátou při přenosu
3. každý zdroj má svůj minimální a maximální bod výroby tepelné energie
4. u každého zdroje je nutné počítat s náklady na elektrickou energii určenou pro výrobu tepelné energie, elektrické energie či čerpání

5. přenosové kanály mají omezenou kapacitu
6. příjmy z výroby elektrické energie je nutné započítávat, přičemž prodejní ceny jsou různé pro jednotlivé zdroje
7. do výrobních nákladů je nutné započítávat povolenky CO₂
8. u EMĚ je nutno počítat s minimální nasmlouvanou výrobou elektrické energie

Pro zjednodušení zpracování byla komplexní výroba elektrické energie jak protitlakem tak kondenzačně u elektrárny Mělník rozdělena na dva zdroje – první zdroj s kogenerační výrobou elektrické energie a druhý zdroj pouze s výrobou elektrické energie kondenzačním procesem.

Praktickou úlohu nyní převedeme na problém matematického programování. Hlavním rozdílem oproti zjednodušenému modelu popsanému v sekci 5.1.4 je fakt, že je nutné vzít do úvahy další sadu proměnných, které budeme optimalizovat. Jde o objemy tepla, které jsou distribuovány jednotlivými přenosovými kanály. Při formulování problému budeme raději užívat slovní vyjádření jednotlivých proměnných; domníváme se, že zavedení symboliky pro tak rozsáhlou sadu vstupních parametrů by nepřispělo ke zvýšení čitelnosti zápisu.

Začneme konstrukcí množiny přípustných řešení. Stejně jako ve výše zmíněné úloze i zde budeme mít omezení na minimální a maximální výkon všech zdrojů. U elektrárny Mělník máme navíc omezení týkající se minimální dodávky elektřiny. Další podmínky se budou týkat kapacity přenosových kanálů a rovnováhy distribuce tepla v celé přenosové soustavě. Musí samozřejmě platit, že množství tepla v každém jednotlivém kanále nesmí překročit jeho kapacitu (dolní mez zde není, resp. je rovna nule). Dále žádáme, aby množství tepla, které opouští oblast, bylo menší či rovno objemu tepla, které je do oblasti dodáváno, plus tepla, které je v této oblasti generováno některým ze zdrojů, minus spotřeba oblasti. Pro tuto spotřebu máme dolní mez – poptávku oblasti po teple, která musí být bezpodmínečně uspokojena. Jako příklad těchto podmínek uvedeme omezení pro oblast Malešice. Musí platit:

$$\begin{aligned}
 & (\text{Malešice} \rightarrow \text{Michle}) + (\text{Malešice} \rightarrow \text{Jižní město}) + (\text{Malešic} \rightarrow \text{Krč}) \leq (\text{Sever} \rightarrow \text{Malešice}) \\
 & + \text{Výroba v TMA1} * (1 - \text{účinnost zdroje}) + \text{Výroba v TMA2} * (1 - \text{účinnost zdroje}) - \\
 & \text{spotřeba Malešic.}
 \end{aligned}$$

Nyní popíšeme tvar účelové funkce, která bude zachycovat celkové náklady na výrobu tepla v celé soustavě (a tudíž ji budeme minimalizovat); bude se jednat o součet nákladů pro

jednotlivé zdroje. Struktura těchto nákladů bude pro všechny zdroje v podstatě stejná. Zdroje se odlišují pouze svými parametry jako je účinnost, typ (a tedy cena) paliva, schopnost vyrábět mimo tepla ještě elektřinu, atd. Náklady na výrobu tepla pro jeden konkrétní zdroj se sestávají z následujících položek:

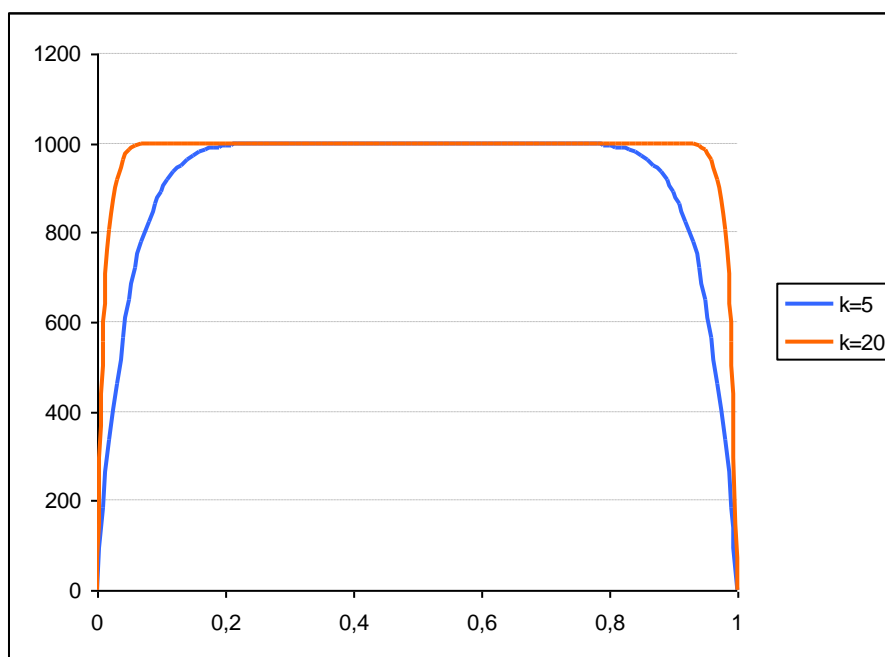
1. výkon zdroje * náklady na palivo při jednotkovém výkonu = celkové náklady na palivo
2. výkon zdroje * cena povolenek příslušných k provozu zdroje na jednotkový výkon (závisí na typu paliva a množství vypouštěných zplodin) = celková cena povolenek
3. spotřeba a/nebo výroba elektrické energie (pokud je to u daného zdroje možné). Elektrická energie je potřeba jednak při samotné výrobě tepla (a také elektřiny), jednak při jeho přečerpávání dále po přenosové soustavě. Množství spotřebované elektřiny tedy závisí také na množství tepla, které danou oblast opouští. Pokud je celkové množství spotřebované elektřiny vyšší, než kolik elektřiny zdroj v dané oblasti vyrobí, přebytečná energie se prodá za prodejní cenu na trhu (jeden ze vstupních parametrů modelu). Tato částka se pak z nákladů odečte. Pokud je naopak elektřiny v oblasti nedostatek, je ji třeba nakoupit za nákupní sazbu. Tato částka se samozřejmě k nákladům přičítá
4. podstatné je zajistit pokrytí nasmlouvané výroby elektrické energie ze zdroje EMĚ1 a EMĚ2, do dalšího prodeje vstupuje pouze další volné množství elektrické energie

Svou povahou je účelová funkce po částech lineární funkcí proměnných, jejichž optimální hodnoty hledáme – výkonu zdrojů a využití (některých) přenosových kanálů. Omezující podmínky jsou v těchto proměnných lineární, až na podmínku na minimální výkon. Ta se ukázala jako mimořádně problematická, jelikož je díky ní množina přípustných řešení nekompaktní. S takovouto úlohou není schopen Solver pracovat.

Úloha byla tedy z tohoto důvodu přeformulována do tvaru, který by mohl doplnku Solver více vyhovovat. Pro každý zdroj byla zavedena nová nula-jedničková proměnná, která vystihuje, zda je zdroj v provozu či nikoli (bez ohledu na výkon). Součin této proměnné a proměnné „výkon“, který nyní představoval skutečný výkon zdroje, pak figuroval ve všech výše popsaných výpočtech. Bohužel ani tato změna neměla kýžený efekt. Solver sice umožňuje

označit proměnnou jako „binary“, ale úlohy s takovými proměnnými mu dělají značné problémy. V závislosti na volbě počátečního řešení buď vůbec nenašel přípustné řešení, nebo došel k závěru, že sice má řešení přípustné, ale nikoliv optimální, případně dokonce ukončil běh s hlášením, že našel optimální řešení, přestože bylo evidentní, že o optimum nejde. Jádrem této komplikace může být již zmíněný fakt, že úloha má ze své podstaty nekompaktní množinu přípustných řešení.

Abychom problém s nula-jedničkovými proměnnými obešli, byly tyto nahrazeny proměnnými spojitymi s podmínkou, aby ležely v intervalu $\langle 0,1 \rangle$. Do účelové funkce byla jako kompenzace přidána tzv. penalizace (pro každý zdroj zvlášť). Konkrétně jsme zvolili funkci tvaru $M[1 - (2x - 1)^{2k}]$, $x \in \langle 0,1 \rangle$, kde M je penalizační konstanta (volí se tak, aby byla výrazně větší než všechny parametry a proměnné v modelu) a k je libovolné přirozené číslo (čím vyšší, tím strměji funkce roste (klesá) u nuly (jedničky)). Její tvar pro $M = 1000$ zachycuje následující obrázek.

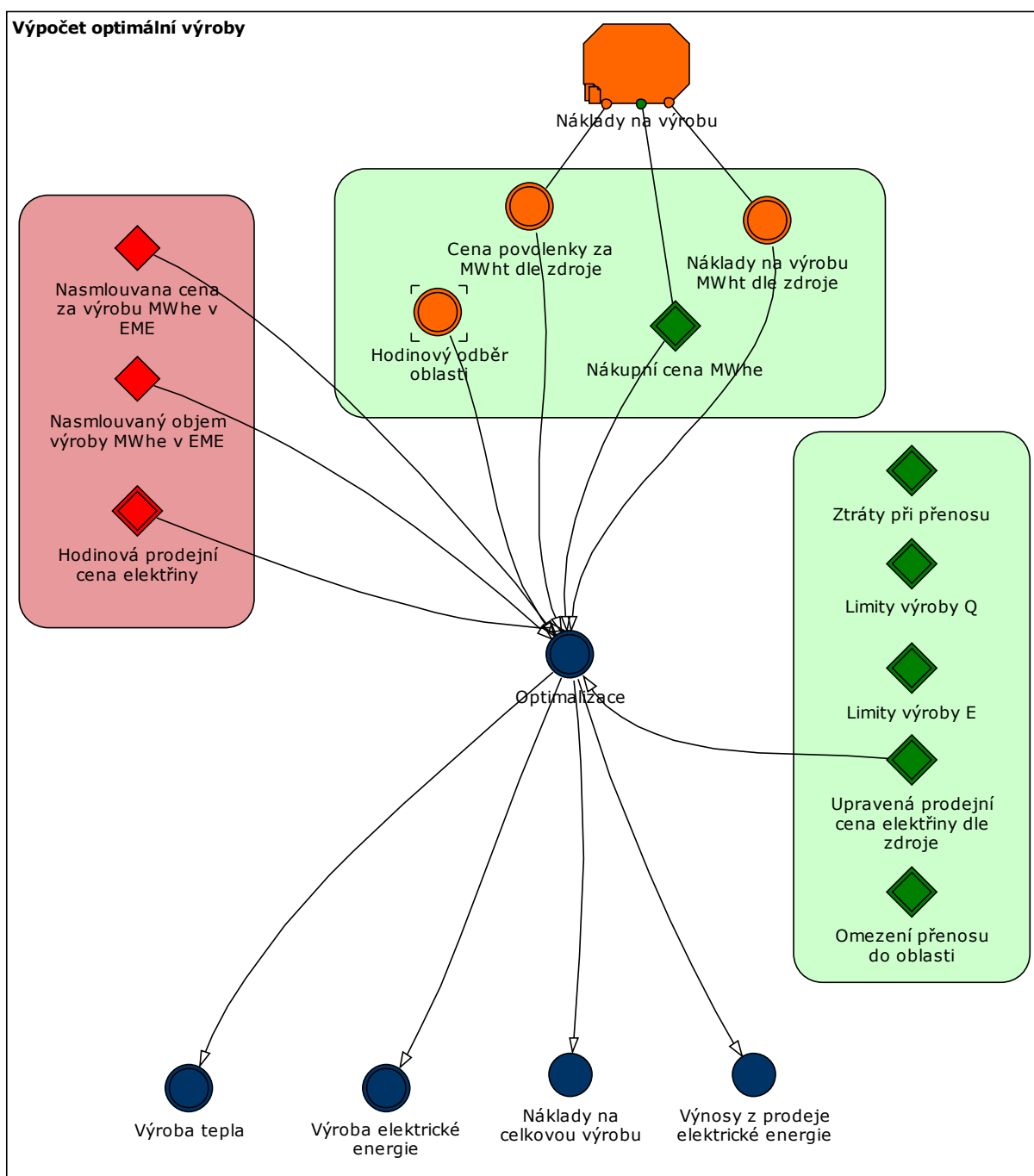


Obrázek 30 Penalizační funkce

Přičtení penalizační funkce tohoto typu k nákladům tlačí optimalizační algoritmus k tomu, aby hledal takové optimální řešení, které by mělo sadu proměnných „zdroj je/není v provozu“ co nejbližší nul nebo jedniček.

Ani tato snaha pomoci doplňku Solver s nalezením optimálního řešení problému však nevedla k cíli. Solver vykazoval v podstatě totožné chování, jako je popsáno výše u úlohy s nulajedičkovými proměnnými. Z tohoto důvodu bylo bohužel nutné upustit od podmínek na minimální výkon jednotlivých zdrojů, což sice může mít jistý vliv na výsledek, avšak z hlediska praktických vstupů a z důvodu obecného vypuštění technologického nabíhání a vypínání zdrojů je tento zanedbatelný.

V rámci samotného modelu je výsledný diagram pro výpočet optimalizace následující:



Obrázek 31 Výpočet rozložení výroby pro celou soustavu – zjednodušený model

5.2.4 Implementace optimalizace

Stejně jako v případě řešení základního modelu se pro realizaci výpočtu optimalizace využije Microsoft Office Solver. Rozdílem je to, že množství podmínek a složitost samotné účelové funkce zabraňuje elegantnímu vytvoření výpočtového sešitu v MS Excel, ale vede k vyplnění předpřipravené šablony. Doplnují se však pouze některé parametry, fixní parametry zdrojů a sítě jsou umístěny přímo v šabloně (v případě požadavku se mohou předávat všechny parametry). V rámci každého optimalizačního kroku, se tedy ve volání VBFUNCTION otevře šablona XLS souboru:

```
Set NewBook = objXL.Workbooks.Open ("D:\\Solver macro engine_empty_v5_r0.xls")
```

Samotná šablona je umístěna na přiloženém CD a popsána v Příloze B.

V rámci těla VBFUNCTION funkce se vyplní jednotlivé hodnoty XLS do otevřeného sešitu, tedy libovolné změny v zadání modelu se propagují následně do samotné optimalizace.

Příkladem budiž vyplnění polí na definovaný odběr oblastí:

```
objXL.Cells(21, 2).Value = odberOblasti(0)
objXL.Cells(22, 2).Value = odberOblasti(1)
objXL.Cells(23, 2).Value = odberOblasti(2)
objXL.Cells(24, 2).Value = odberOblasti(3)
objXL.Cells(25, 2).Value = odberOblasti(4)
```

Kromě samotných dat, je součástí XLS šablony také předpřipravená úloha nástroje Solver. Samotné volání je realizováno připraveným makrem:

```
objXL.Run "\"solver_execute\""
```

A stejně jako je tomu u základního modelu je výsledek, tj. výroba jednotlivých zdrojů ať už po stránce tepelné či elektrické, předán zpět do aplikace Powersim Studio.

Samotné makro, které slouží k načtení úlohy pro nástroj Solver a vypočtení úlohy, je pak jednoduché a vypadá takto:

```
Workbooks.Open ("E:\Microsoft Office\OFFICE11\Library\SOLVER\SOLVER.XLA")
Application.Run "Solver.xla!Auto_Open"
Application.Run "Solver.xla!SolverReset"
Application.Run "Solver.xla!SolverLoad", "Vstupy!$A$45:Vstupy!$A$68"
```

```
Application.Run "Solver.xla!SolverSolve", True  
Application.Run "Solver.xla!SolverFinish", True
```

5.2.5 Výstup

Výsledkem provedené úlohy je rozdělení výroby tepla a elektrické energie mezi jednotlivé zdroje za splnění všech definovaných podmínek. Mezi vedlejší výstupy patří také náklady vynaložené na výrobu obou energií a výnos z prodané volné elektrické energie.

Jednotlivé grafy/diagramy na výstupu jsou uvedené v kapitole 5.3.9.

5.3 Fáze druhá - Finální model - podrobný popis

V této kapitole je rozveden popis jednotlivých parametrů modelu a jejich hodnoty pro referenční běh.

Pro zdroj prodejních cen elektrické energie se využívají statistiky operátora trhu s elektrickou energií www.ote-cr.cz, konkrétně jsou zvoleny hodinové průměry v rámci měsíce března 2008.

Pro ostatní parametry se vychází z dat poskytnutých v rámci konzultací v Pražské teplárenské. V následujících odstavcích jsou popsány jednotlivé parametry s reálnými hodnotami, dále navazuje popis běhu a výstupy referenčního běhu.

5.3.1 Pomocné parametry

V rámci modelu se vyskytuje několik pomocných parametrů, které slouží k technické realizaci běhu. Jedná se o tyto parametry:

Pomocné proměnné

1	1
Den simulace	Write to file
0	0 00:00:00
Hodina ve dne	Popis 24 hodin

Parametr WRITE TO FILE udává, zda se má ukládat XLS soubor se vstupy optimalizační úlohy pro každý krok.

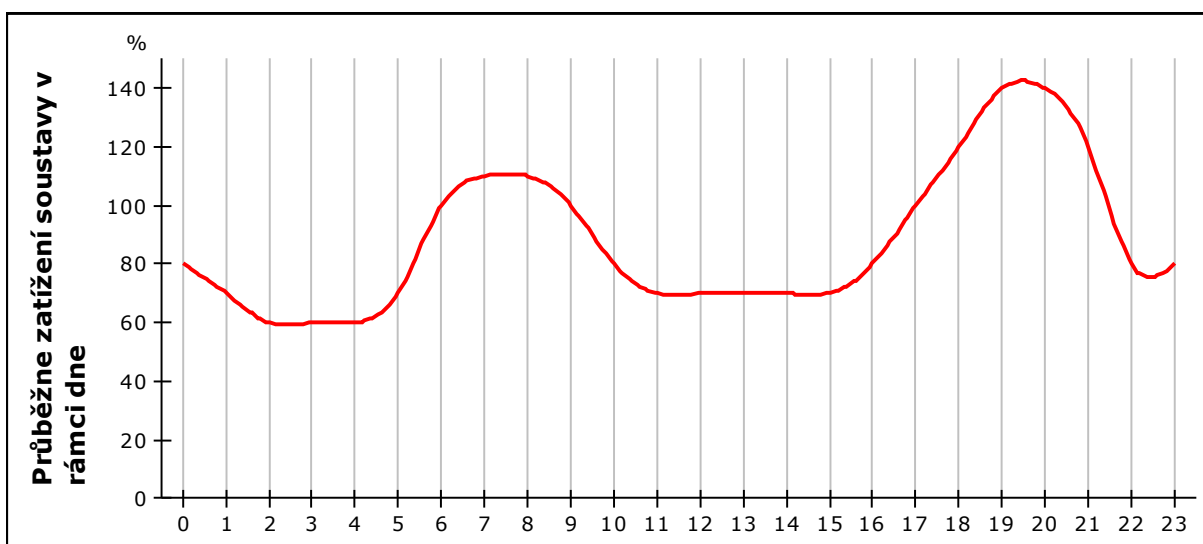
5.3.2 Základní parametry popisující soustavu

5.3.2.1 Zatížení soustavy podle venkovní teploty

Zatížení soustavy v závislosti na venkovní teplotě slouží k definování konkrétního zatížení celé soustavy v závislosti na venkovní teplotě. Jedná se o seřazený seznam 365 hodnot, které odpovídají průměrným denním teplotám. Z důvodu rozsáhlosti zde není uveden, zmiňme jen, že jako minimum je brána teplota $-13.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, která odpovídá 100% zatížení, naopak maximum je teplota $24.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, které odpovídá 6% zatížení soustavy.

5.3.2.2 Denní zatížení soustavy

Denní zatížení soustavy odpovídá aktuální hodinové spotřebě celé soustavy v rámci jednoho dne.



5.3.2.3 Odběr soustavy při plném zatížení

Skalární veličina udávající maximální celkové zatížení soustavy, pro případ referenčního běhu byla zvolena hodnota 1100 MWht.

1 100,00 MWht



Odběr soustavy při
100% zatížení

5.3.2.4 Poměrový odběr oblasti

Z celkového odběru soustavy se poměrově rozdělují odběry jednotlivých oblastí tímto způsobem:

%	
Sever	36,00
Malesice	29,00
Michle	12,00
Jizni mesto	13,00
Krc	10,00



Odběr oblasti v procentech

5.3.2.5 Denní teplota

Posledním podstatným parametrem pro výpočet zatížení oblastí je očekávaná denní teplota. Pro demonstrační účely byly zvoleny dva dny s velkým teplotním rozdílem, konkrétně:

1	12,00
2	-12,10



Vstupní denní teplota

5.3.2.6 Omezení transportní kapacity přenosových cest

Limitním omezením přenosu tepla mezi jednotlivými zdroji a oblastmi je kapacita přenosových cest. Níže uvedená tabulka odpovídá reálným hodnotám jednotlivých cest.

MWt	
Sever	620,00
Malesice	330,00
Michle	80,00
Jizni mesto	320,00
Krc	80,00



Omezení přenosu do oblasti

5.3.2.7 Ztráty při přenosu

Dalším důležitým parametrem soustavy je ztráta při přenosu média, která ovlivňuje množství generovaného tepla. V rámci modelu byly ztráty tepelné rozděleny do dvou částí – přenos z EMĚ a přenos z ostatních zdrojů.

%	
EME1	17,00
EME2	17,00
TTR	14,00
TMA2	14,00
TMA3	14,00
TMI1	14,00
TMI2	14,00
VKR	14,00



Ztráty při přenosu

5.3.3 Parametry zdrojů

5.3.3.1 Limity výroby energií

Výroba jednotlivých zdrojů je limitována, a to jak minimem, tak maximem výroby tepla, přičemž u elektrické energie uvažujeme pouze omezení maximální výroby.

MWht		
	MIN	MAX
EME1	20,00	580,00
EME2	0,00	40,00
TTR	25,00	116,00
TMA2	40,00	160,00
TMA3	25,00	232,00
TMI1	20,00	27,00
TMI2	25,00	116,00
VKR	7,00	51,00



Limity výroby Q

MWhe	
EME1	226,00
EME2	100,00
TTR	0,00
TMA2	55,00
TMA3	0,00
TMI1	6,00
TMI2	0,00
VKR	0,00



Limity výroby E

5.3.3.2 Teplárenský modul

Teplárenský modul udává poměr dodávané elektřiny a tepla. Pro zdroj EMĚ2 je uvedený modul s hodnotou 1, což je z hlediska definice nekorektní – EMĚ2 nedodává žádné teplo, tento zápis je aplikován kvůli výpočtu optimalizace.

EME1	0,37
EME2	1,00
TTR	0,00
TMA2	0,34
TMA3	0,00
TMI1	0,16
TMI2	0,00
VKR	0,00



Teplárenský modul
dle zdroje

5.3.3.3 Vlastní spotřeba elektrické energie

Elektrická energie se v rámci modelu v jednotlivých zdrojích využívá při:

- výrobě tepla
- výrobě elektrické energie
- čerpání tepla

Pokud daný zdroj vyrábí kromě tepla i elektrickou energii, je primárně uspokojována potřeba zdroje ve výše uvedených oblastech, teprve přebývající volné kapacity jsou nabízeny k prodeji.

EME1	0,04
EME2	0,04
TTR	0,02
TMA2	0,00
TMA3	0,01
TMI1	0,01
TMI2	0,01
VKR	0,01



Spotřeba MWhe na
výrobu MWht dle
zdroje

EME1	0,00
EME2	0,00
TTR	0,00
TMA2	0,00
TMA3	0,00
TMI1	0,00
TMI2	0,00
VKR	0,00



Spotřeba MWhe na
výrobu MWhe dle
zdroje

EME1	0,01
EME2	0,01
TTR	0,01
TMA2	0,03
TMA3	0,03
TMI1	0,00
TMI2	0,00
VKR	0,00



Spotřeba MWhe na
čerpání MWht

5.3.3.4 Náklady na suroviny

Pro zdroje spalující pevné palivo - černé a hnědé uhlí - se v modelu započítává náklad na jejich zpracování, konkrétně se jedná o:

- uskladnění popelovin
- cenu za vápenec a uskladnění energosádrovce (energosádrovec je finální produkt procesu odsíření spalin)

EME1	25,21 Kč
EME2	25,21 Kč
TTR	0,00 Kč
TMA2	173,00 Kč
TMA3	0,00 Kč
TMI1	0,00 Kč
TMI2	0,00 Kč
VKR	0,00 Kč



Cena za uskladnění
popelovin dle zdroje
na t

EME1	34,80 Kč
EME2	34,80 Kč
TTR	0,00 Kč
TMA2	0,00 Kč
TMA3	0,00 Kč
TMI1	0,00 Kč
TMI2	0,00 Kč
VKR	0,00 Kč



Cena za
energovápenec a
vápenec dle zdroje
na t

Základním nákladem je však nákup surovin přímo využívaných pro výrobu energií. V rámci uvažovaných zdrojů se jedná o tyto typy paliv:

- hnědé uhlí (měrná jednotka kg, uvažovaná jednotka v modelu t)
- černé uhlí (měrná jednotka kg, uvažovaná jednotka v modelu t)
- zemní plyn (měrná jednotka m³, uvažovaná jednotka v modelu 1000 m³)

Palivo dle zdrojů	
EME1	Hnědé uhlí
EME2	Hnědé uhlí
TTR	Zemní plyn
TMA2	Černé uhlí
TMA3	Zemní plyn
TMI1	Zemní plyn
TMI2	Zemní plyn
VKR	Zemní plyn

EME1	596,00 Kč
EME2	596,00 Kč
TTR	10 017,00 Kč
TMA2	2 396,00 Kč
TMA3	10 017,00 Kč
TMI1	9 457,00 Kč
TMI2	9 457,00 Kč
VKR	10 017,00 Kč

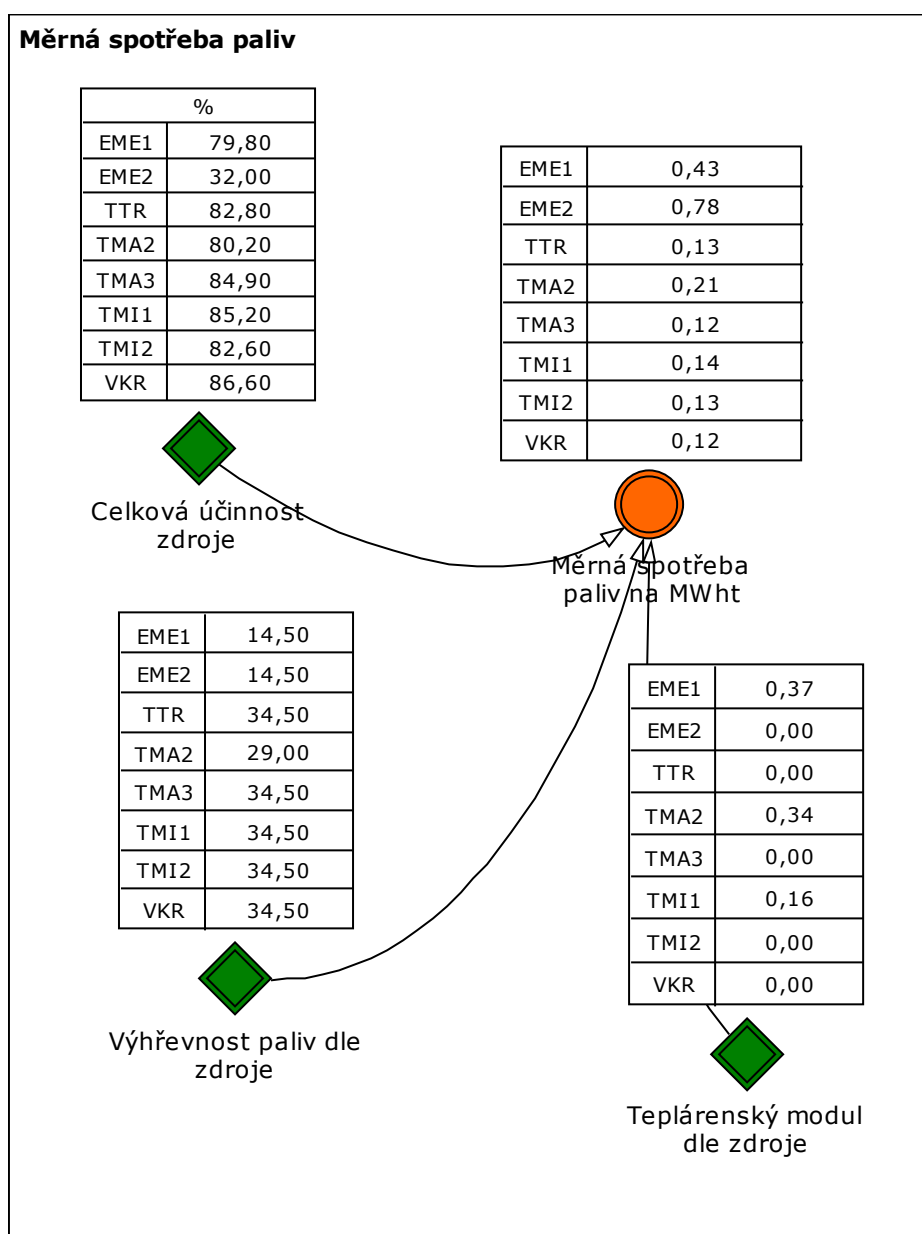


Cena paliva za
jednotku

5.3.3.5 Měrná spotřeba paliv

Měrná spotřeba paliv je poměr mezi energií vystupující a vstupující, poměr mezi množstvím do procesu (vymezeného časovým úsekem s hranicemi) přivedeného paliva/tepla obsaženého v přivedeném palivu a množstvím energie odvedené z energetického zařízení. Měrná spotřeba tepla v palivu je při vyjádření přivedené a odvedené energie ve stejných jednotkách rovna reciproké hodnotě tepelné účinnosti.

Vstupující parametry a jejich hodnoty jsou znázorněny na níže uvedeném diagramu:



Obrázek 32 Výpočet měrné spotřeby paliv

5.3.3.6 Produkce CO₂

V rámci výroby energií ve zdrojích vzniká množství vedlejších produktů, kromě již zmiňovaného popílku a energosádrovce je důležitým odpadním produktem CO₂. Na tento produkt se vztahují tzv. CO₂ povolenky, které vstupují do modelu spíše jako ušlá příležitost než náklad, neboť nepředstavují přímé finanční náklady (objemově obdržené povolenky odpovídají požadavkům na soustavu). Produkce CO₂ se liší podle jednotlivých spalovaných surovin a je uvedena v parametru Produkce CO₂ pro zdroj:

t	
EME1	1,46
EME2	1,46
TTR	1,90
TMA2	2,71
TMA3	1,90
TMI1	1,90
TMI2	1,90
VKR	1,90



Produkce CO₂ pro zdroj

5.3.4 Další vstupní parametry

5.3.4.1 Hodinová prodejní cena elektrické energie

5.3.4.2 Hodinová cena povolenek CO₂

5.3.4.3 Hodinová nákupní cena elektrické energie

Tyto parametry slouží jako jeden ze vstupních údajů pro výpočet, neboť přímo ovlivňují výrobu/výnosy z výroby.

První parametr udává hodinovou prodejní cenu elektrické energie, jejíž hodnoty, jak již bylo dříve uvedeno, byly převzaty ze statistik operátora trhu.

Druhý parametr udává hodinovou cenu povolenky CO₂, v rámci hodnot je zde pro celý rozsah stanovena konstantní cena.

Vzhledem ke spotřebě elektrické energie při výrobě tepla i čerpání je potřeba u zdrojů, které tuto nevyrobí, nakupovat. Toto udává třetí parametr, který je konstantní pro celé časové období simulace, je však možné jej případně upravit pro jednotlivé hodiny.

Kč/MWhe	
0	949,00
1	805,00
2	677,00
3	623,00
4	664,00
5	897,00
6	1 058,00
7	1 451,00
8	1 508,00
9	1 657,00
10	1 685,00
11	1 726,00
12	1 683,00
13	1 562,00
14	1 437,00
15	1 352,00
16	1 188,00
17	1 245,00
18	1 697,00
19	1 840,00
20	1 727,00
21	1 438,00
22	1 428,00
23	1 077,00



Hodinová prodejní
cena elektřiny

Kč/t	
0	560,00
1	560,00
2	560,00
3	560,00
4	560,00
5	560,00
6	560,00
7	560,00
8	560,00
9	560,00
10	560,00
11	560,00
12	560,00
13	560,00
14	560,00
15	560,00
16	560,00
17	560,00
18	560,00
19	560,00
20	560,00
21	560,00
22	560,00
23	560,00

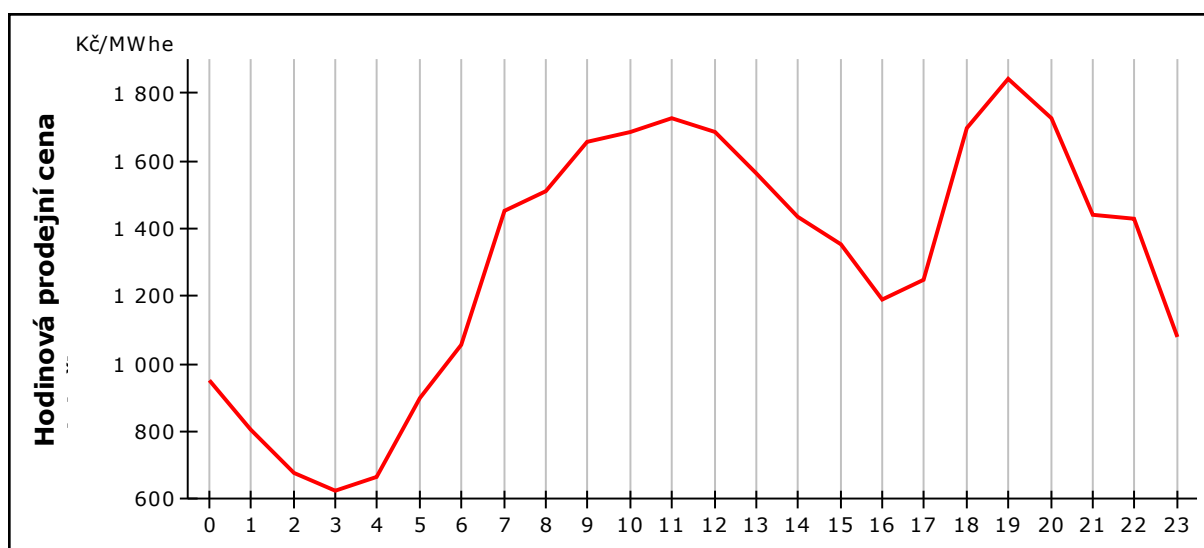


Hodinová cena
povolenky

Kč/MWhe	
0	2 095,00
1	2 095,00
2	2 095,00
3	2 095,00
4	2 095,00
5	2 095,00
6	2 095,00
7	2 095,00
8	2 095,00
9	2 095,00
10	2 095,00
11	2 095,00
12	2 095,00
13	2 095,00
14	2 095,00
15	2 095,00
16	2 095,00
17	2 095,00
18	2 095,00
19	2 095,00
20	2 095,00
21	2 095,00
22	2 095,00
23	2 095,00



Nákupní cena MWhe



Obrázek 33 Hodinová prodejní cena elektrické energie

Prodejní cena elektrické energie je upravena (navýšena) dle následujících pravidel

- navýšení za decentralizovanou výrobu
- navýšení za kogenerační výrobu

Pro jednotlivé zdroje pak prodejní ceny nabývají následujících hodnot:

Kč/MWhe	
EME1	65,00
EME2	0,00
TTR	0,00
TMA2	65,00
TMA3	0,00
TMI1	72,00
TMI2	0,00
VKR	0,00



Upravená prodejní
cena elektřiny dle
zdroje

5.3.4.4 Nasmlouvaný objem výroby elektrické energie v EMĚ

Pro výrobu elektrické energie v EMĚ je definován celoroční nasmlouvaný výkon za definovanou cenu za jednotku energie. V rámci modelu jsou to dva vstupující parametry.

250,00 MWhe



Nasmlouvaný objem
výroby MWhe v EME

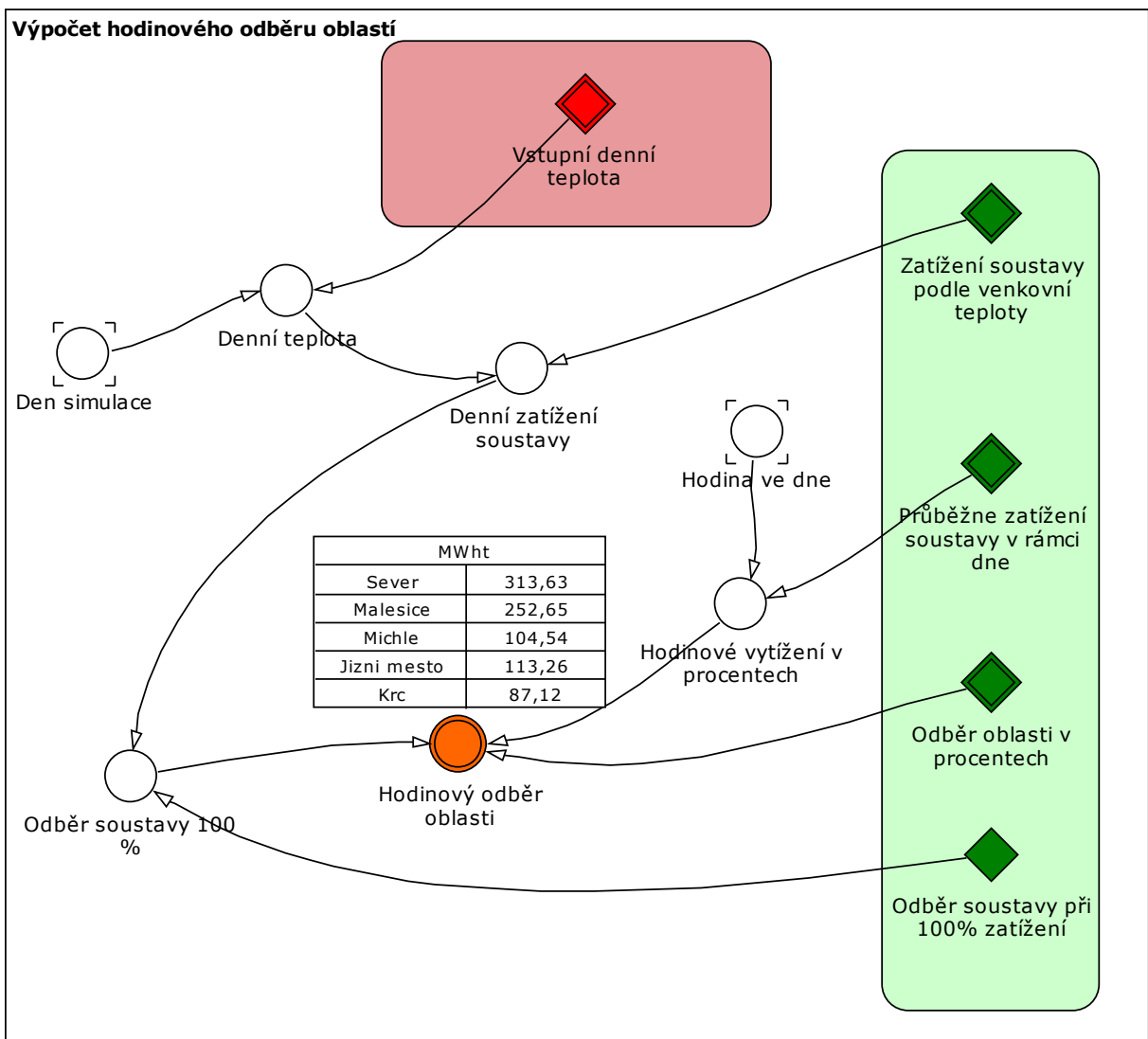
1 150,00 Kč



Nasmlouvana cena
za výrobu MWhe v
EME

5.3.5 Výpočet hodinového odběru oblastí

Následující diagram zobrazuje výpočet hodinového odběru jednotlivých oblastí, který následně vstupuje do samotné optimalizační úlohy.



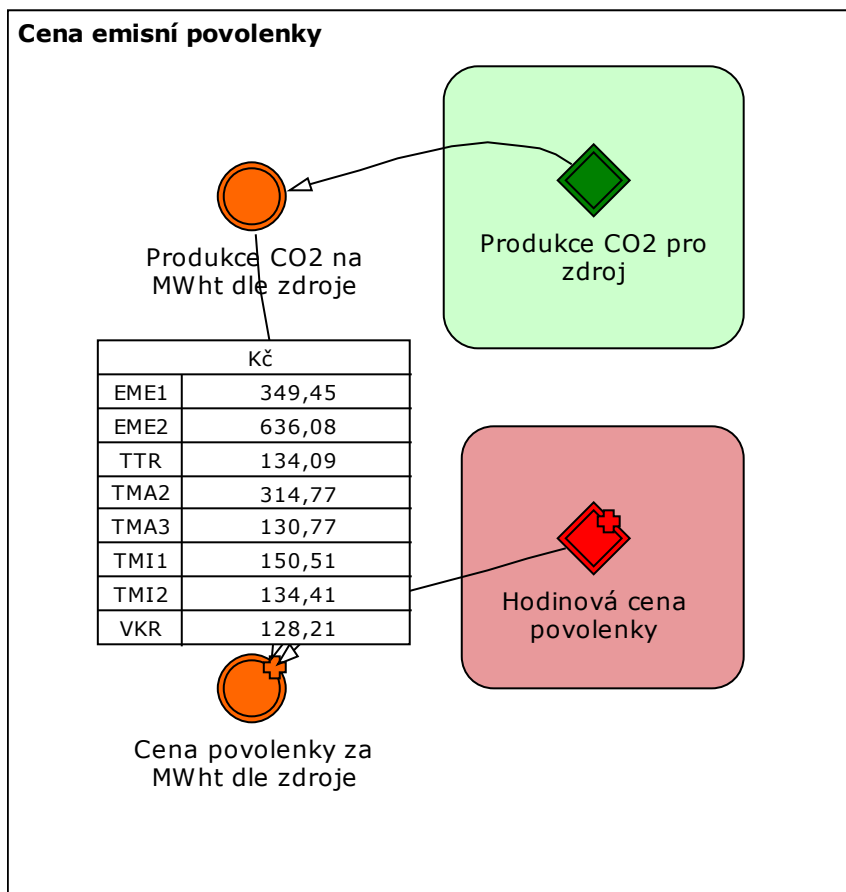
Obrázek 34 Výpočet hodinového odběru oblasti

5.3.6 Výpočet nákladů na zdroj

Do samotného výpočtu optimalizace vstupují ještě dopočítané parametry, které jsou uvedeny v této části.

5.3.6.1 Cena emisní povolenky CO₂ pro zdroj

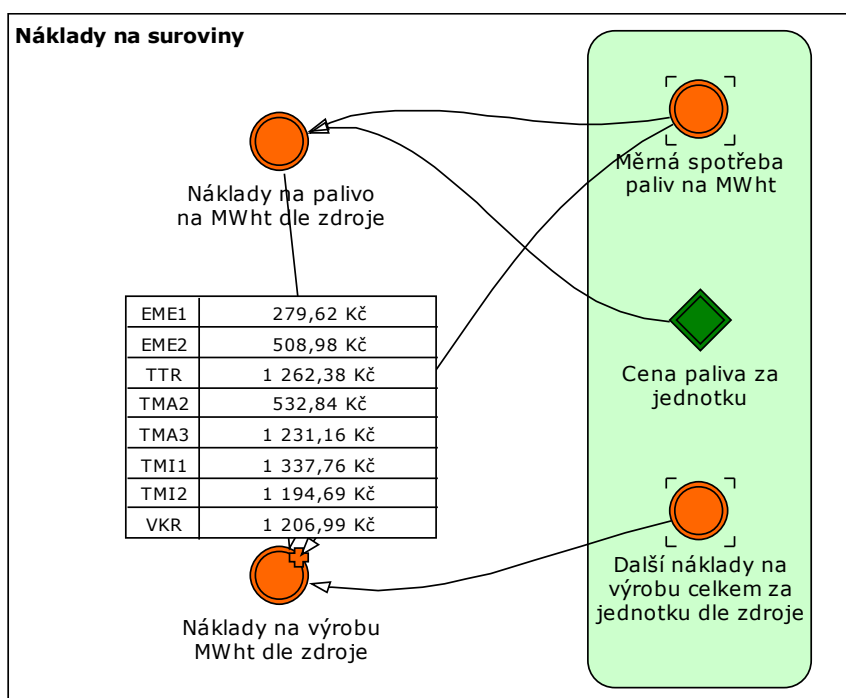
Cena emisní povolenky pro zdroj se vypočítá z množství vyrobeného CO₂ spalováním paliv daného zdroje a hodinové ceny emisní povolenky. Vstupující parametry a výsledné hodnoty jsou uvedeny v následujícím diagramu:



Obrázek 35 Výpočet ceny emisní povolenky na zdroj

5.3.6.2 Náklady na výrobu dle zdroje

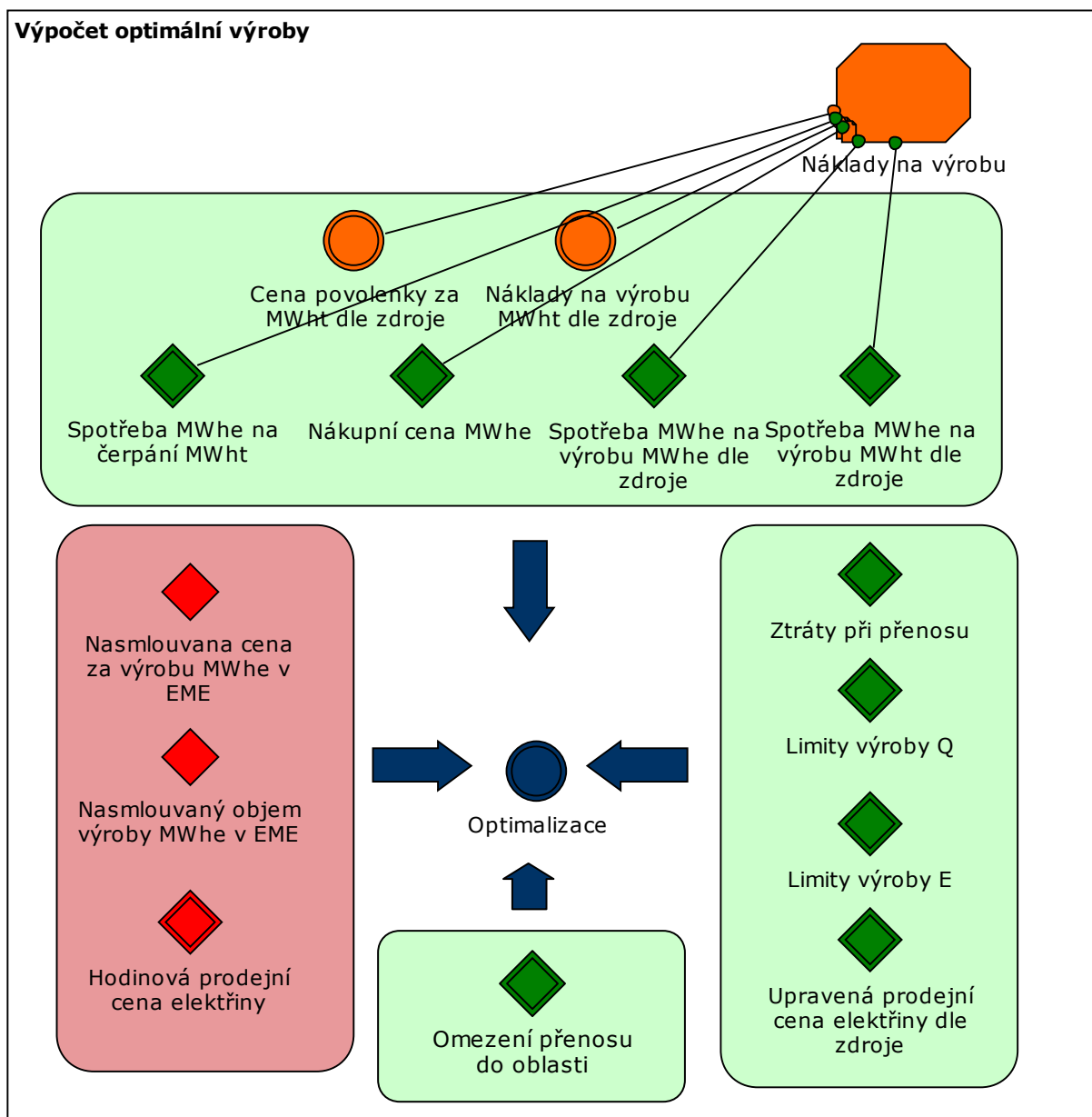
Vstupující parametry a výsledné hodnoty jsou uvedeny v následujícím diagramu:



Obrázek 36 Výpočet nákladů na suroviny

5.3.7 Parametry vstupující do optimalizace

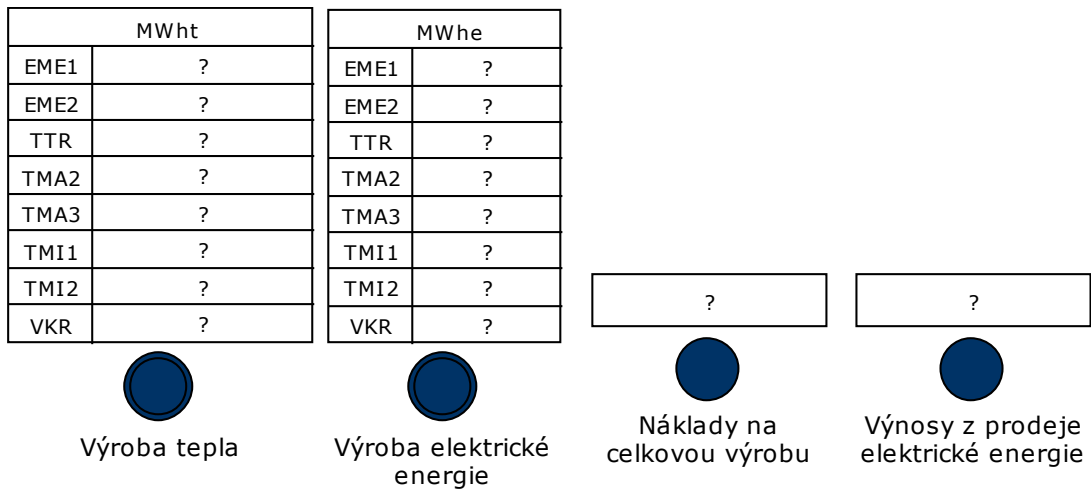
Následující diagram zobrazuje všechny výše popsané parametry/dopočítané hodnoty, které vstupují do samotného výpočtu optimalizační úlohy. Vzhledem ke značnému množství vstupů je zobrazení mírně abstrahované.



Obrázek 37 Výpočet optimální výroby

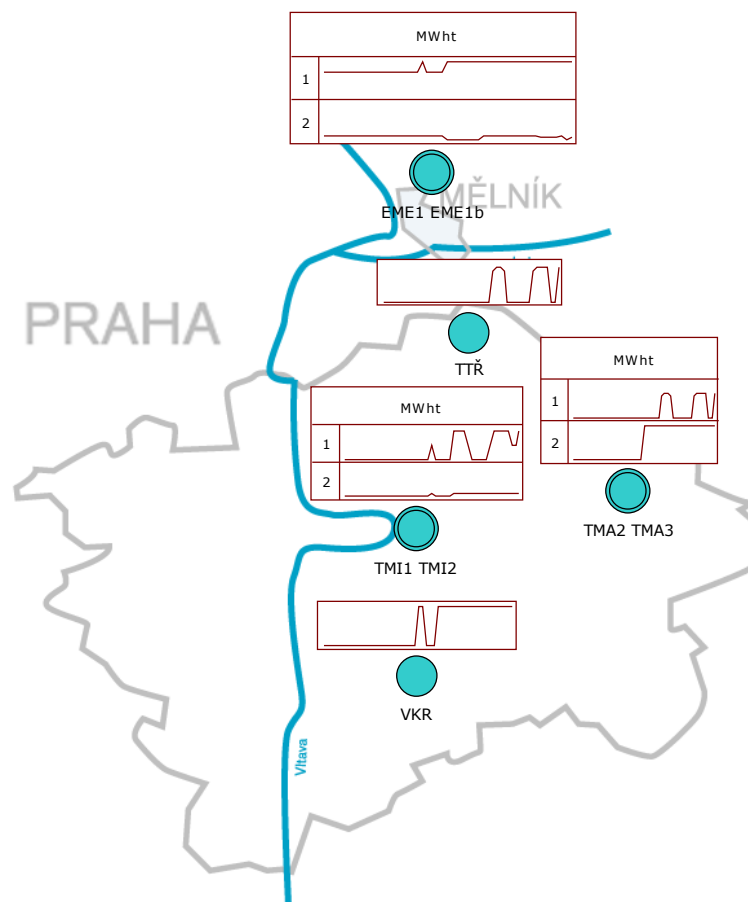
5.3.8 Parametry vystupující z optimalizace

Výstupy optimalizační úlohy odpovídají definovaným požadavkům. Jedná se o tyto čtyři základní, jejichž jména odpovídají významu.



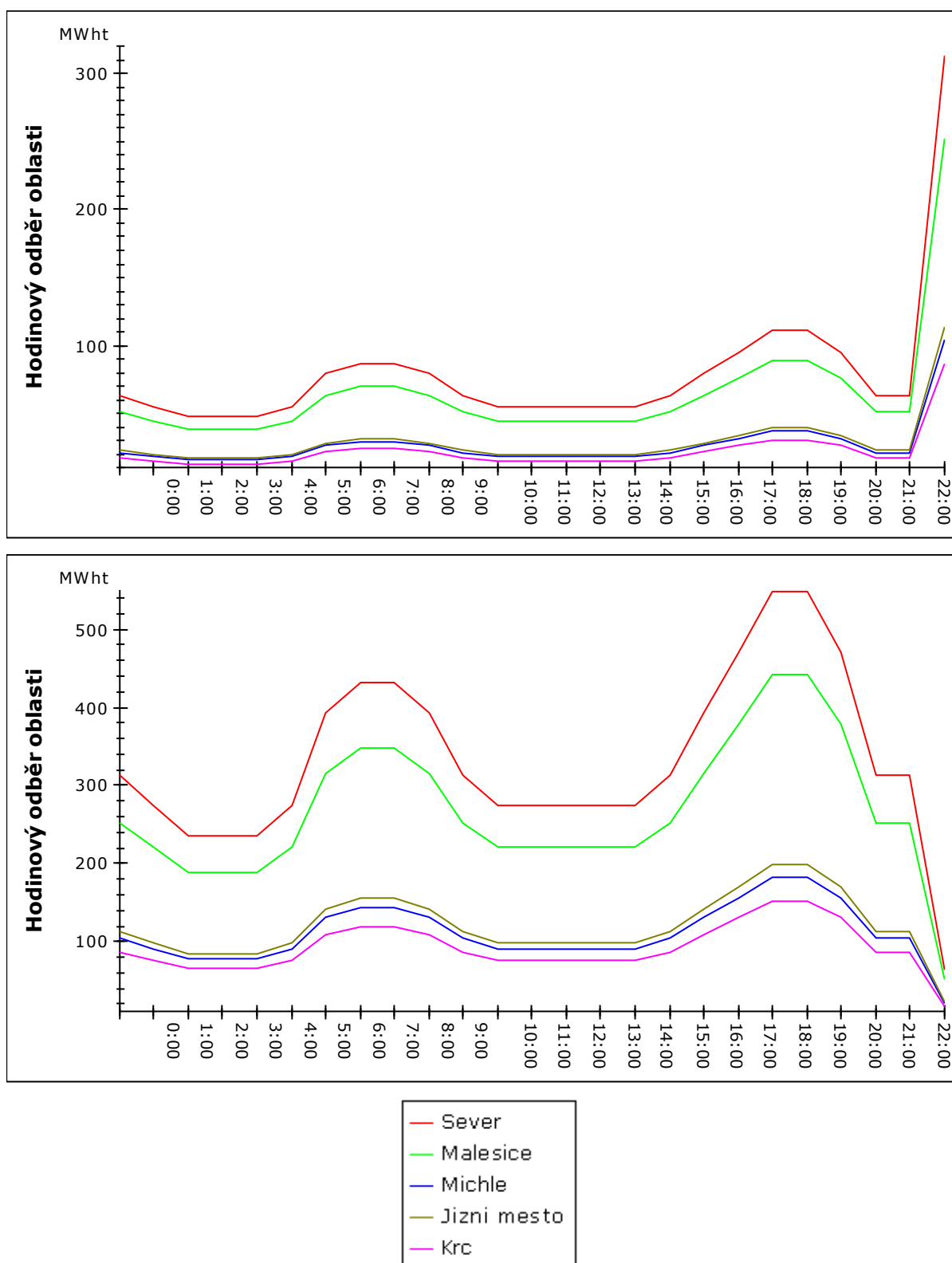
5.3.9 Referenční běh simulace

Na základě vstupních parametrů je výsledkem referenčního běhu tato posloupnost diagramů/hodnot.

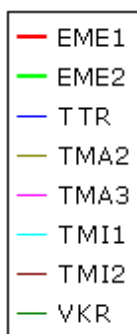
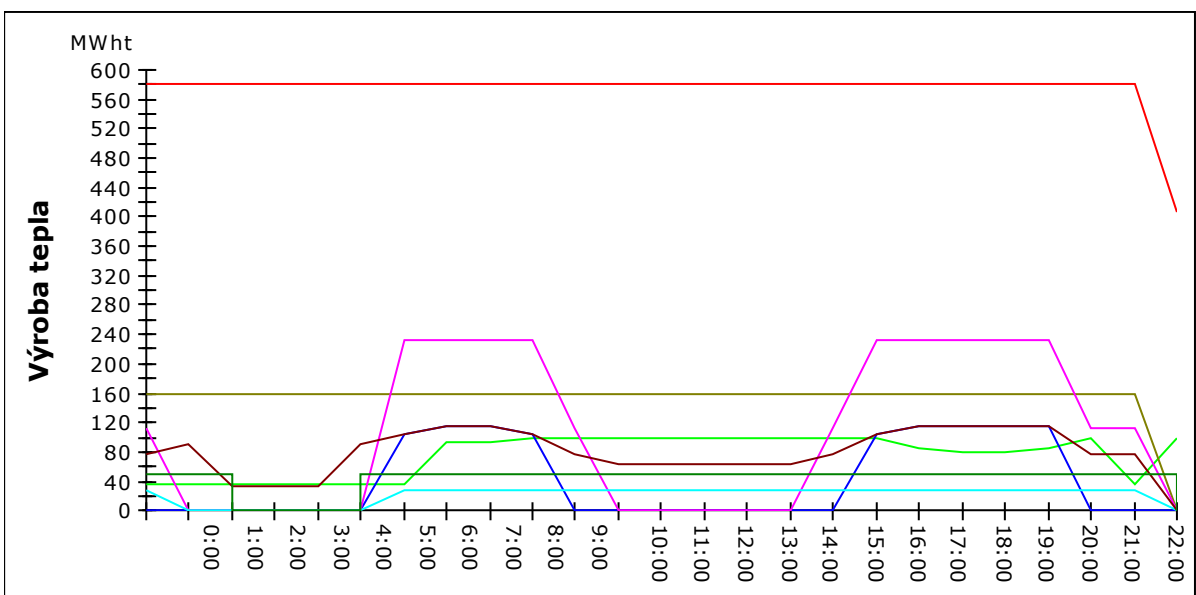
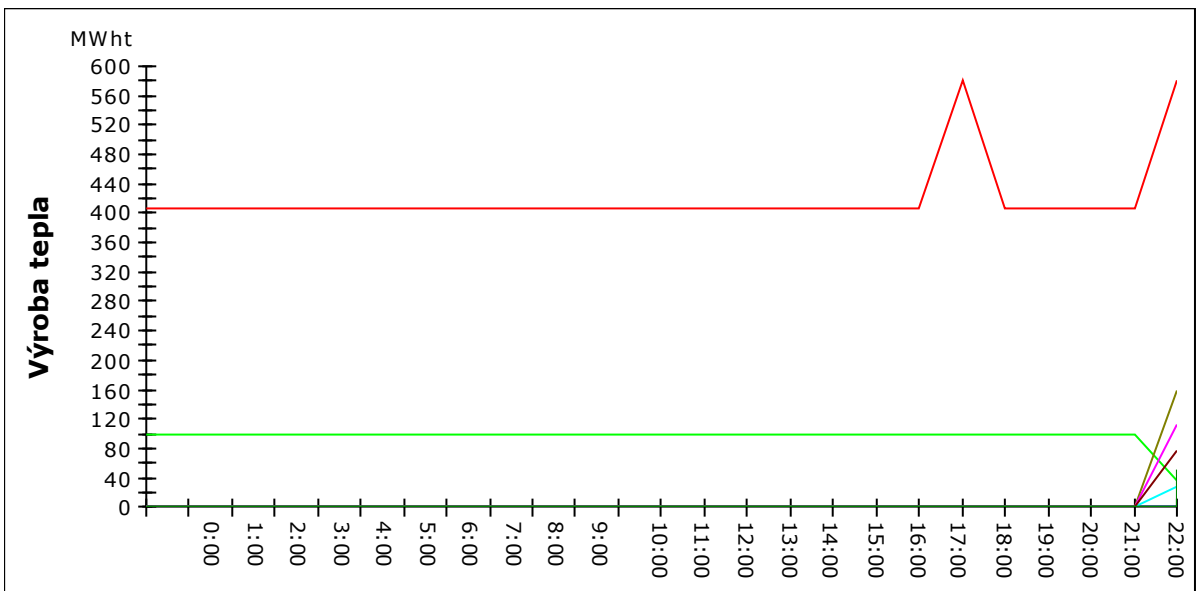


Obrázek 38 Geografické zobrazení rozložení výroby pro oba simulované dny

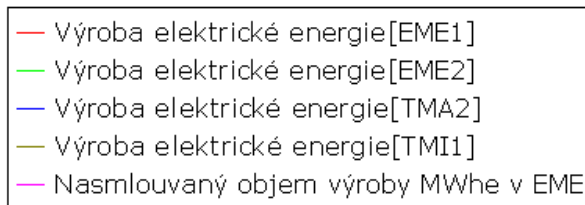
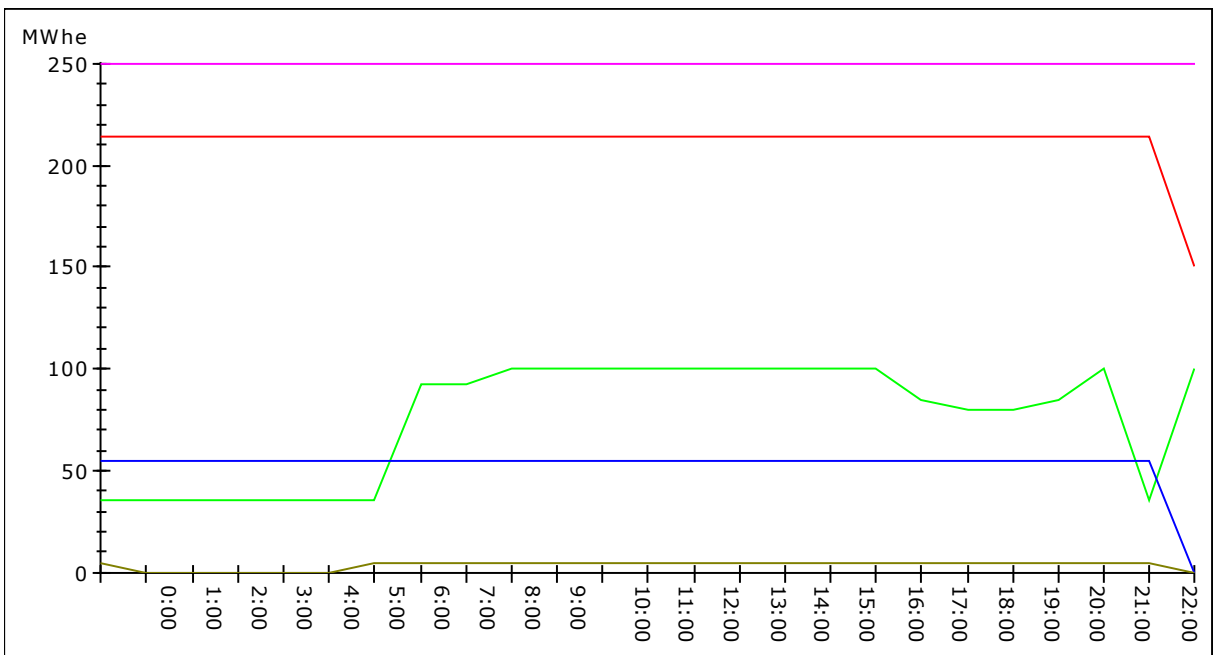
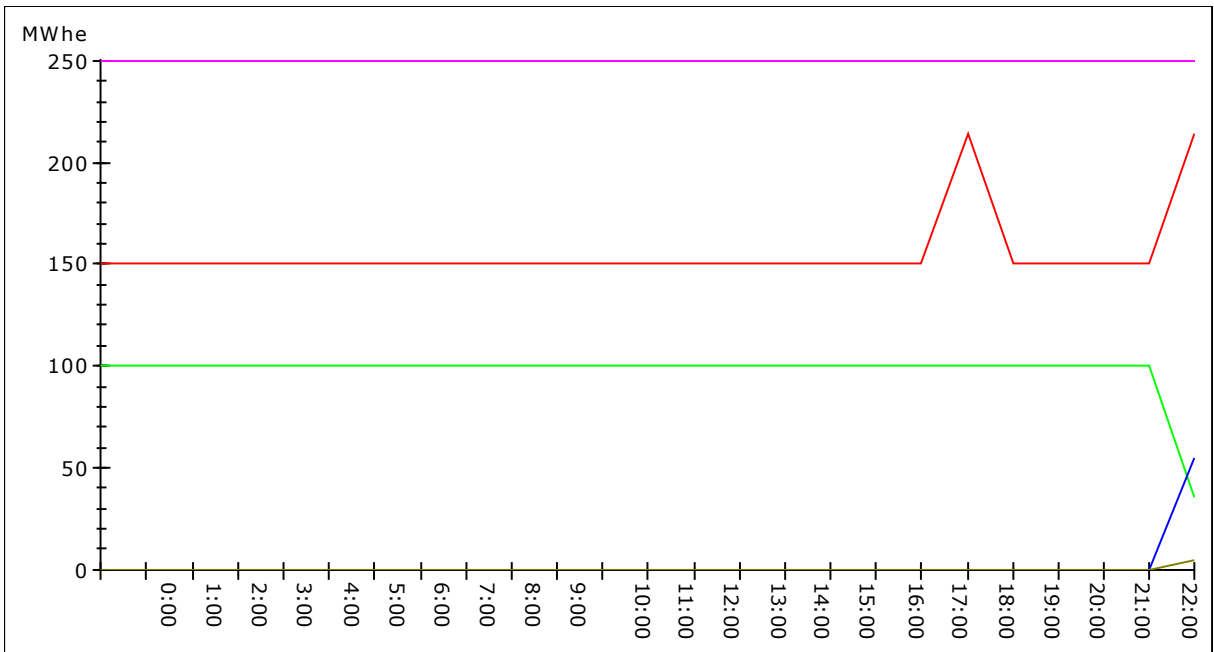
Následující grafy jsou pro lepší čitelnost pro oba dva dny oddělené:



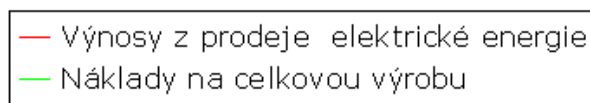
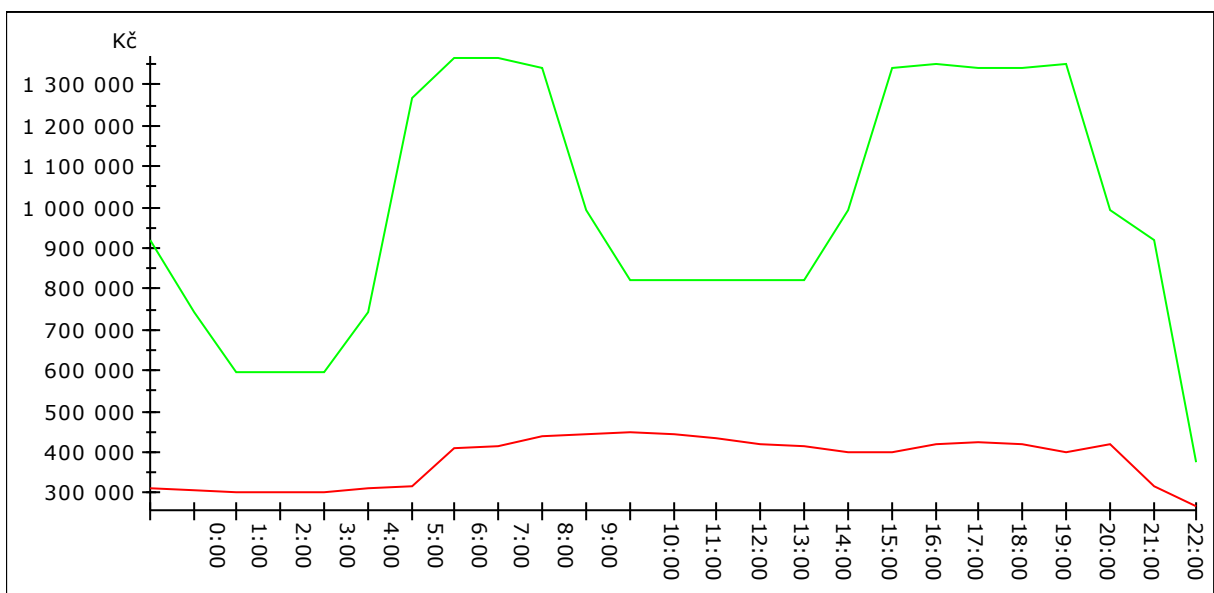
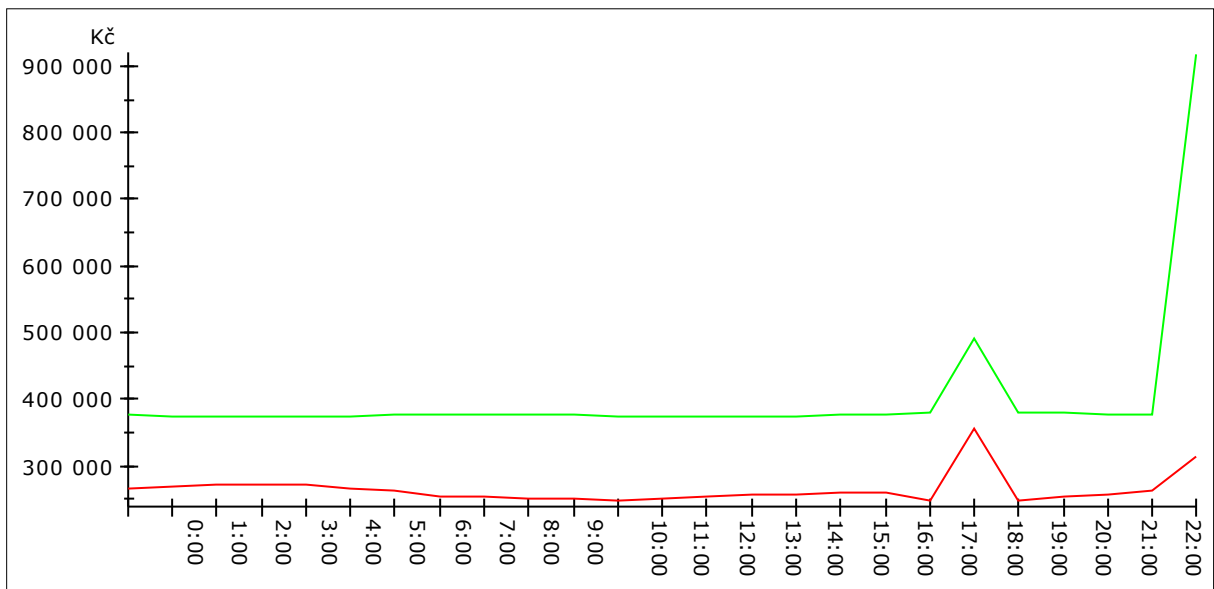
Obrázek 39 Rozložení zátěže na jednotlivé oblasti



Obrázek 40 Rozložení výroby tepla na jednotlivé zdroje



Obrázek 41 Rozložení výroby elektrické energie na jednotlivé zdroje



Obrázek 42 Náklady na výrobu a výnosy z prodeje elektrické energie

5.3.10 Uživatelské rozhraní a spouštění prezentace

V rámci spouštění simulace v prezentačním režimu je k dispozici uživateli karta pro změnu nejdůležitějších vstupů:

Nasatvení simulace

Vstupní denní teplota	
Den 1	12,00
Den 2	-12,10

Ladící výpisy během optimalizace

Odběr soustavy při 100% zatížení	1 100,00 MWht
Nasmlovaná cena za výrobu MWhe v EME	1 150,00 Kč
Nasmlovaný objem výroby MWhe v EME	250,00 MWhe

Přechod na kartu grafů

Přechod na kartu mapy

Hodinové parametry

Hodinová nákupní cena elektřiny	
00:00	2 095,00 Kč/MWhe
01:00	2 095,00 Kč/MWhe
02:00	2 095,00 Kč/MWhe
03:00	2 095,00 Kč/MWhe
04:00	2 095,00 Kč/MWhe
05:00	2 095,00 Kč/MWhe
06:00	2 095,00 Kč/MWhe
07:00	2 095,00 Kč/MWhe
08:00	2 095,00 Kč/MWhe
09:00	2 095,00 Kč/MWhe
10:00	2 095,00 Kč/MWhe
11:00	2 095,00 Kč/MWhe
12:00	2 095,00 Kč/MWhe
13:00	2 095,00 Kč/MWhe
14:00	2 095,00 Kč/MWhe
15:00	2 095,00 Kč/MWhe
16:00	2 095,00 Kč/MWhe
17:00	2 095,00 Kč/MWhe
18:00	2 095,00 Kč/MWhe
19:00	2 095,00 Kč/MWhe
20:00	2 095,00 Kč/MWhe
21:00	2 095,00 Kč/MWhe
22:00	2 095,00 Kč/MWhe
23:00	2 095,00 Kč/MWhe

Hodinová prodejní cena elektřiny	
00:00	949,00 Kč/MWhe
01:00	805,00 Kč/MWhe
02:00	677,00 Kč/MWhe
03:00	623,00 Kč/MWhe
04:00	664,00 Kč/MWhe
05:00	897,00 Kč/MWhe
06:00	1 058,00 Kč/MWhe
07:00	1 451,00 Kč/MWhe
08:00	1 508,00 Kč/MWhe
09:00	1 657,00 Kč/MWhe
10:00	1 685,00 Kč/MWhe
11:00	1 726,00 Kč/MWhe
12:00	1 683,00 Kč/MWhe
13:00	1 562,00 Kč/MWhe
14:00	1 437,00 Kč/MWhe
15:00	1 352,00 Kč/MWhe
16:00	1 188,00 Kč/MWhe
17:00	1 245,00 Kč/MWhe
18:00	1 697,00 Kč/MWhe
19:00	1 840,00 Kč/MWhe
20:00	1 727,00 Kč/MWhe
21:00	1 438,00 Kč/MWhe
22:00	1 428,00 Kč/MWhe
23:00	1 077,00 Kč/MWhe

Hodinová cena povolenky	
00:00	560,00 Kč/t
01:00	560,00 Kč/t
02:00	560,00 Kč/t
03:00	560,00 Kč/t
04:00	560,00 Kč/t
05:00	560,00 Kč/t
06:00	560,00 Kč/t
07:00	560,00 Kč/t
08:00	560,00 Kč/t
09:00	560,00 Kč/t
10:00	560,00 Kč/t
11:00	560,00 Kč/t
12:00	560,00 Kč/t
13:00	560,00 Kč/t
14:00	560,00 Kč/t
15:00	560,00 Kč/t
16:00	560,00 Kč/t
17:00	560,00 Kč/t
18:00	560,00 Kč/t
19:00	560,00 Kč/t
20:00	560,00 Kč/t
21:00	560,00 Kč/t
22:00	560,00 Kč/t
23:00	560,00 Kč/t

Obrázek 43 Uživatelské rozhraní – karta vstupů

Pro přechod mezi kartou vstupů a kartami s výstupními grafy a mapou teplotné sítě slouží hypertextové odkazy Přechod na kartu grafů a Přechod na kartu mapy.

Pro běh prezentace je třeba mít nainstalovány aplikaci Powersim Studio, a to minimálně ve verzi Player. Model je připraven a optimalizován pro verzi Powersim Studio 2005.

Pro běh optimalizace je zapotřebí umístit soubor MODEL OPTIMIZATION TEMPLATE.XLS do kořenového adresáře svazku C. Případné jiné umístění je možné změnit v proměnné OPTIMALIZACE úpravou vstupního parametru `objXL.Workbooks.Open ("C:\\Model optimization template.xls\\")`.

Pokud je zapnuto ukládání mezivýsledků do souboru, jsou tyto ukládány také do kořenového adresáře svazku C, umístění je možné změnit opět v proměnné OPTIMALIZACE úpravou parametru `NewBook.SaveAs ("C:\\\\" & FileName)`.

Posledním konfiguračním krokem je úprava umístění souboru SOLVER.XLA v makru `solver_execute()` v šabloně optimalizačního souboru, a to změnou řádku `Workbooks.Open ("C:\\Program Files\\Microsoft Office\\OFFICE11\\Library\\SOLVER\\SOLVER.XLA")`

6 Závěr

6.1 Zhodnocení modelu

Problematika teplárenské výroby, řízení přenosové soustavy a jednotlivých zdrojů je velmi obsáhlá a z hlediska matematické formulace vztahů velmi obtížná. Pro každodenní provoz tak velké soustavy, jako je ta v Praze, je nezbytné mít k dispozici systémy, které umožní regulovat a do jisté míry předpovídat chování jednotlivých elementů sítě (dosud také s pomocí intuice jednotlivých operátorů). Avšak kromě technologického aspektu je možné a příhodné modelovat i obchodní a ekonomické parametry, které mohou ovlivnit chod jednotlivých zdrojů a celé soustavy.

Vytvořený model teplárenské soustavy řeší rozvržení výroby tepla a elektrické energie v rámci simulace změn cen vstupních a výstupních energií, surovin a poptávky po teple právě z hlediska strategie a tradingu, a to tak, aby se minimalizovaly náklady na výrobu a naopak zvýšily případné výnosy z prodeje volné elektrické energie, a tím splňuje definované požadavky.

S ohledem na zaměření je model, na základě předchozích konzultací se zástupci společnosti Pražská teplárenská, zjednodušen o některé aspekty rozvodné sítě, jako je zpoždění dodávky a akumulace tepla v oblastech. Technická definice teplárenských kotlů nepočítá se samotným technologickým omezením kotlů co do změny výkonu. Toto zjednodušení však nemá vliv na význam a přínosy samotného modelu.

Samotné využití simulace pro praxi je, kromě potvrzení validity a přínosů výsledků, otázkou změny interních procesů ve společnosti, které je nutno rozšířit o možnosti změn výroby na základě výstupů ze simulací, prvním krokem je však příprava modelu.

6.2 Další vývoj

Stávající model je možné rozšiřovat v několika směrech. Prvním směrem je implementace některých současných omezení jako je časové zpoždění dodávky. Druhým směrem je rozšíření sledovaných parametrů/vstupů, které mohou ovlivnit samotnou výrobu. Třetím směrem je zvýšení uživatelského rozhraní modelu a vylepšení integrace MS Excel šablony.

Seznam použité literatury

- [1] Kratochvíl J.: Teplárenství, ORTEP, Praha, 2001
- [2] Brož K.: Zásobování teplem, České vysoké učení technické, Praha, 1997
- [3] Vlach, J.: Zásobování teplem a teplárenství, Nakladatelství techn. lit., Praha, 1989
- [4] Odehnalová L.: Dynamické simulace strategických scénářů – manažerská hra, diplomová práce MFF UK, Praha, 2002
- [5] Böhm A.: Demonstrační dynamický model výrobce generických léčiv, diplomová práce MFF UK, Praha, 2003
- [6] Sterman, John D.: Business Dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world, McGraw Hill, 2000
- [7] Prezentace Pražské teplárenské a.s., www.ptas.cz, tištěné materiály
- [8] Bazaraa S., Sherali H.D., Shetty C.M.: Nonlinear Programming: Theory and Algorithms, Wiley, New York, 1993
- [9] Prezentace produktu Powersim, www.powersim.com, manuály k systému
- [10] Forrester, J. W.: Industrial Dynamics, MIT Press, 1961
- [11] Šusta M.: O Systémové dynamice a Systémovém myšlení, Proverbs, 2004
- [12] Prezentace společnosti Proverbs, www.proverbs.cz

Příloha A – Výpis elementů a vzorců modelu

```
mainmodel Náklady na výrobu {
const Celková účinnost zdroje {
autotype Real
unit %
dim Sources
init {79,8;32;82,8;80,2;84,9;85,2;82,6;86,6}
}
const Cena paliva za jednotku {
autotype Real
unit Kč
dim Sources
init {596;
596;
10017;
2396;
10017;
9457;
9457;
10017}
doc Cena za tunu uhlí
Cena za tisíc m3 zemního plynu
}
aux Cena povolenky za MWht dle zdroje {
autotype Real
autounit Kč
autodim Sources
def 'Hodinová cena povolenky'[INDEX(Parent~'Hodina ve dne')]*'Produkce CO2 na MWht
dle zdroje'
}
const Cena za energovápenec a vápenec dle zdroje na t {
autotype Real
unit Kč
dim Sources
init {34,8;
34,8;
0;
0;
0;
0;
0;
0;
0}
}
const Cena za uskladnění popelovin dle zdroje na t {
autotype Real unit Kč
dim Sources
init {25,2130;
25,2130;
0;
173,0000;
0;
0;
0;
0}
}
aux Další náklady na výrobu celkem za jednotku dle zdroje {
autotype Real
autounit Kč
autodim Sources
def ('Cena za energovápenec a vápenec dle zdroje na t'+ 'Cena za uskladnění
popelovin dle zdroje na t')
}
const Hodinová cena povolenky {
autotype Real
unit 'Kč/t'
dim 'Day range'
init 560
```

```

doc Cena povolenky
}
aux Měrná spotřeba paliv na MWht {
autotype Real
autodim Sources
def (1+'Teplárenský modul dle zdroje')/('Celková účinnost zdroje'*'Výhřevnost paliv
dle zdroje')*3,6
}
aux Náklady na palivo na MWht dle zdroje {
autotype Real
autounit Kč
dim Sources
def 'Cena paliva za jednotku'*'Měrná spotřeba paliv na MWht'
}
aux Náklady na výrobu MWht dle zdroje {
autotype Real
autounit Kč
dim Sources
def 'Další náklady na výrobu celkem za jednotku dle zdroje'*'Měrná spotřeba paliv
na MWht'+ 'Náklady na palivo na MWht dle zdroje'
}
const Nákupní cena MWhe { autotype Real
unit 'Kč/MWhe'
dim 'Day range'
init 2095
}
aux Produkce CO2 na MWht dle zdroje {
autotype Real
autounit t
autodim Sources
def 'Měrná spotřeba paliv na MWht'*'Produkce CO2 pro zdroj'
}
const Produkce CO2 pro zdroj {
autotype Real
unit t
dim Sources
init {1,4640;
1,4640;
1,9000;
2,7100;
1,9000;
1,9000;
1,9000;
1,9000;
1,9000}
}
const Spotřeba MWhe na výrobu MWhe dle zdroje {
autotype Real
dim Sources
init {0,000950;
0,000950;
0;
0,000955;
0;
0,000980;
0;
0}
}
const Spotřeba MWhe na výrobu MWht dle zdroje {
autotype Real
dim Sources
init {0,03938;
0,03938;
0,01980;
0;
0,00648;
0,00515;
0,00540;
0,00882
}
}
}

```

```

const Spotřeba MWhe na čerpání MWht {
autotype Real
dim Sources
init {0,00743;
0,00743;
0,00824;
0,02534;
0,02534;
0;
0;
0,00245
}
}
const Teplárenský modul dle zdroje {
autotype Real
dim Sources
init {0,37;0;0;0,340;0;0,155;0;0}
}
const Výhřevnost paliv dle zdroje {
autotype Real
dim Sources
init {14,50;
14,50;
34,50;
29,00;
34,50;
34,50;
34,50;
34,50}
}
}
mainmodel Business Model {
aux Aktuální cena prodejní E {
autotype Real
autounit Kč/MWhe
def 'Hodinová prodejní cena elektřiny'[INDEX('Hodina ve dne')]
}
aux Den simulace {
type Integer
def MIN(INTEGER(((TIME-STARTTIME)/Timestep)/24)+1;4)
doc Vrací číslo dne simulace (1...x)
}
aux Denní teplota {
autotype Real
def 'Vstupní denní teplota'[INDEX('Den simulace')]
}
aux Denní zatížení soustavy {
autotype Real
unit %
def ARRMAX(
FOR(i=1..325 |
IF('Denní teplota' = 'Zatížení soustavy podle venkovní teploty'[i][1]; 'Zatížení
soustavy podle venkovní teploty'[i][2];0 )
))/100
}
aux EME1 EME2 {
autotype Real
autounit MWht
autodim 1..2
def {'Výroba tepla'[INDEX(NUMERICAL(1))];'Výroba tepla'[INDEX(NUMERICAL(2))]}
}
aux Hodina ve dne {
type Integer
def INTEGER(NUMBER(((TIME-STARTTIME) MOD (Timestep*24))*24))
}
const Hodinová prodejní cena elektřiny {
autotype Real
unit 'Kč/MWhe'
dim 'Day range'
}

```

```

init
{949;805;677;623;664;897;1058;1451;1508;1657;1685;1726;1683;1562;1437;1352;1188;124
5;1697;1840;1727;1438;1428;1077}
doc Nyní konstanta, bude pole pro cele období po hodinách
}
aux Hodinové vytížení v procentech {
autotype Real
autounit %
def GRAPH('Hodina ve dne';0;1;'Průběžně zatížení soustavy v rámci dne')
}
aux Hodinový odběr oblasti {
autotype Real
autounit MWht
dim Oblasti
def FOR(i = Oblasti | 'Odběr oblasti v procentech'[INDEX(NUMERICAL(i))]*'Odběr
soustavy 100%'*'Hodinové vytížení v procentech')
}
const Ladicí výpisy během optimalizace {
type Integer
init 0
}
const Limity výroby E {
autotype Real
dim Sources
init {
226,00;
100,00;
0,00;
55,00;
0,00;
6,00;
0,00;
0,00
}
doc Limity výroby v MWh (pole zdrojů) (min, max)
}
const Limity výroby Q {
autotype Real
autounit MWht
dim Sources; Boundary
init {
{20;580}<<MWht>>;
{0;40}<<MWht>>;
{25;116}<<MWht>>;
{40;160}<<MWht>>;
{25;232}<<MWht>>;
{20;27}<<MWht>>;
{25;116}<<MWht>>;
{7;51}<<MWht>>
}
doc Limity výroby v MWh (pole zdrojů) (min, max)
}
const Nasmlouvaná cena za výrobu MWhe v EME {
autotype Real
autounit Kč
init 1150 <<Kč>>
}
const Nasmlouvaný objem výroby MWhe v EME {
autotype Real
autounit MWhe
init 250<<MWhe>>
}
aux Náklady na celkovou výrobu {
autotype Real
autounit Kč
def Optimalizace[INDEX(NUMERICAL(0));2]*1<<Kč>>
}
model Náklady na výrobu {
}
const Odběr oblasti v procentech {

```



```

autotype Real
unit %
dim Oblasti
init {36;29;12;13;10}
}
aux Odběr soustavy 100% {
autotype Real
autounit MWht
def 'Odběr soustavy při 100% zatížení'*'Denní zatížení soustavy'
}
const Odběr soustavy při 100% zatížení {
autotype Real
unit MWht
init 1100
}
const Omezení přenosu do oblasti {
autotype Real
unit MWt
dim Oblasti
init {620;330;80;320;80}
}
aux Optimalizace {
autotype Real
dim 0..13;0..2
def VBFUNCTION(0..13;0..2 | "writeToFile" = 'Ladící výpisy během optimalizace';
"prodejE" = 'Hodinová prodejní cena elektřiny';
"upravaE" = 'Upravená prodejní cena elektřiny dle zdroje';
"odberOblasti" = 'Hodinový odběr oblasti';
"nakladyVyroba" = 'Náklady na výrobu'. 'Náklady na výrobu MWht dle zdroje';
"cenaPovolenky" = 'Náklady na výrobu'. 'Cena povolenky za MWht dle zdroje';
"nakupE" = 'Náklady na výrobu'. 'Nákupní cena MWhe';
"nasmlouvanyObjemEvEME" = 'Nasmlouvaný objem výroby MWhe v EME';
"cenaZaMWheNasmlouvanehoObjemuVEmE" = 'Nasmlouvaná cena za výrobu MWhe v EME';
"hodina" = 'Hodina ve dne';
"den" = 'Den simulace'
|
"set objXL = CreateObject("Excel.Application")"
"Set NewBook = objXL.Workbooks.Open ("C:\Model optimization template.xls")"
"'Prodejní cena E"
"objXL.Cells(2, 10).Value = prodejE(hodina) + upravaE(0)"
"objXL.Cells(3, 10).Value = prodejE(hodina) + upravaE(1)"
"objXL.Cells(5, 10).Value = prodejE(hodina) + upravaE(3)"
"objXL.Cells(7, 10).Value = prodejE(hodina) + upravaE(5)"
"'Odber Oblasti"
"objXL.Cells(21, 2).Value = odberOblasti(0)"
"objXL.Cells(22, 2).Value = odberOblasti(1)"
"objXL.Cells(23, 2).Value = odberOblasti(2)"
"objXL.Cells(24, 2).Value = odberOblasti(3)"
"objXL.Cells(25, 2).Value = odberOblasti(4)"
"'nakladyVyroba"
"objXL.Cells(2, 5).Value = nakladyVyroba(0)"
"objXL.Cells(3, 5).Value = nakladyVyroba(1)"
"objXL.Cells(4, 5).Value = nakladyVyroba(2)"
"objXL.Cells(5, 5).Value = nakladyVyroba(3)"
"objXL.Cells(6, 5).Value = nakladyVyroba(4)"
"objXL.Cells(7, 5).Value = nakladyVyroba(5)"
"objXL.Cells(8, 5).Value = nakladyVyroba(6)"
"objXL.Cells(9, 5).Value = nakladyVyroba(7)"
"'cenaPovolenky"
"objXL.Cells(2, 7).Value = cenaPovolenky(0)"
"objXL.Cells(3, 7).Value = cenaPovolenky(1)"
"objXL.Cells(4, 7).Value = cenaPovolenky(2)"
"objXL.Cells(5, 7).Value = cenaPovolenky(3)"
"objXL.Cells(6, 7).Value = cenaPovolenky(4)"
"objXL.Cells(7, 7).Value = cenaPovolenky(5)"
"objXL.Cells(8, 7).Value = cenaPovolenky(6)"
"objXL.Cells(9, 7).Value = cenaPovolenky(7)"
"'nakupE"
"objXL.Cells(2, 11).Value = nakupE(0)"
"objXL.Cells(3, 11).Value = nakupE(1)"

```

```

"objXL.Cells(4, 11).Value = nakupE(2) "
"objXL.Cells(5, 11).Value = nakupE(3) "
"objXL.Cells(6, 11).Value = nakupE(4) "
"objXL.Cells(7, 11).Value = nakupE(5) "
"objXL.Cells(8, 11).Value = nakupE(6) "
"objXL.Cells(9, 11).Value = nakupE(7) "
'"nasmlouvany objem vyroby E v EME"
"objXL.Cells(17, 2).Value = nasmlouvanyObjemEvEME"
"objXL.Cells(21, 6).Value = cenaZaMWHENasmlouvanehoObjemuvEmE"
"objXL.Run \"solver_execute\""
"If writeToFile = 1 Then"
"FileName = \"Sim \" &Den & \"_\" &Hodina & \".xls\""
"NewBook.SaveAs (\"C:\\\" & FileName)"
"End If"
"Result(0,0) = objXL.Cells(2, 21).Value"
"Result(1,0) = objXL.Cells(3, 21).Value"
"Result(2,0) = objXL.Cells(4, 21).Value"
"Result(3,0) = objXL.Cells(5, 21).Value"
"Result(4,0) = objXL.Cells(6, 21).Value"
"Result(5,0) = objXL.Cells(7, 21).Value"
"Result(6,0) = objXL.Cells(8, 21).Value"
"Result(7,0) = objXL.Cells(9, 21).Value"
'"vyroba E'"
"Result(0,1) = objXL.Cells(2, 22).Value"
"Result(1,1) = objXL.Cells(3, 22).Value"
"Result(2,1) = objXL.Cells(4, 22).Value"
"Result(3,1) = objXL.Cells(5, 22).Value"
"Result(4,1) = objXL.Cells(6, 22).Value"
"Result(5,1) = objXL.Cells(7, 22).Value"
"Result(6,1) = objXL.Cells(8, 22).Value"
"Result(7,1) = objXL.Cells(9, 22).Value"
"Result(0,2) = objXL.Cells(17, 6).Value"
"Result(1,2) = objXL.Cells(17, 9).Value"
"objXL.DisplayAlerts = FALSE"
"objXL.Quit"
"set objXL = Nothing"
)
}
const Popis 24 hodin {
autotype Real
unit hr
dim 'Day range'
init FOR(i='Day range'|i*1<<hr>>)
}
aux Progress {
autotype Real
def 100-((STOPTIME-TIME)/Timestep)/((STOPTIME-STARTTIME)/Timestep)*100
doc Vrací číslo dne simulace (1...x)
}
const Průběžně zatížení soustavy v rámci dne {
autotype Real
unit %
dim 'Day range'
init {
80;
70;
60;
60;
60;
70;
100;
110;
110;
100;
80;
70;
70;
70;
70;
70;
}

```

```

80;
100;
120;
140;
140;
120;
80;
80
}
}
aux TMA2 TMA3 {
autotype Real
autounit MWht
autodim 1..2
def {'Výroba tepla'[INDEX(NUMERICAL(3))];'Výroba tepla'[INDEX(NUMERICAL(4))]}
}
aux TMI1 TMI2 {
autotype Real
autounit MWht
autodim 1..2
def {'Výroba tepla'[INDEX(NUMERICAL(5))];'Výroba tepla'[INDEX(NUMERICAL(6))]}
}
aux TTŘ {
autotype Real
autounit MWht
def 'Výroba tepla'[INDEX(NUMERICAL(3))]
}
const Upravená prodejní cena elektřiny dle zdroje {
autotype Real
unit 'Kč/MWhe'
dim Sources
init {65;
0;
0;
65;
0;
72;
0;
0}
}
aux VKR {
autotype Real
autounit MWht
def 'Výroba tepla'[INDEX(NUMERICAL(8))]
}
const Vstupní denní teplota {
autotype Real
autodim 1..2
init {12; -12,10}
doc Vstup - očekávaná teplota pro dny simulace
}
aux Výnosy z prodeje elektrické energie {
autotype Real
autounit Kč
def Optimalizace[INDEX(NUMERICAL(1));2]*1<<Kč>>
}
aux Výroba elektrické energie {
autotype Real
autounit MWhe
dim Sources
def FOR(i=Sources| Optimalizace[INDEX(NUMERICAL(i)-1);1])*1<<MWhe>>
}
aux Výroba tepla {
autotype Real
unit MWht
dim Sources
def FOR(i=Sources| Optimalizace[INDEX(NUMERICAL(i)-1);0])*1<<MWht>>
}
const Zatížení soustavy podle venkovní teploty {
type Real

```

```

autodim 1..365; 1..2
init {}
}
const Ztráty při přenosu {
type Real
autounit %
dim Sources
init {17;17;14;14;14;14;14;14} <<%>>
doc Ztrty přenosu z jednotlivých zdrojů (pole zdrojů)
range Boundary {
def MIN;MAX
}
range Day range {
def 0..23
doc Pole hodin ve dne (0..23)
}
range Oblasti {
def Sever;Malesice;Michle;'Jizni mesto';Krc
}
range Sources {
def EME1;EME2;TTR;TMA2;TMA3;TMI1;TMI2;VKR
doc Počet zdrojů v simulaci
}
unit C {
def °(__KELVIN; 273,15°__KELVIN)
}
unit GJ {
def ATOMIC
}
unit Kč {
def __CURRENCY("CZK")
}
unit Kč/MWe {
def Kč/MWhe
}
unit Kč/MWhe {
def ATOMIC
}
unit Kč/MWht {
def Kč/MWht
}
unit Kč/t {
def Kč/t
}
unit MWhe {
def ATOMIC
}
unit MWht {
def ATOMIC
doc Megawatthodina
}
unit MWt {
def ATOMIC
}
unit t {
def ATOMIC
}

```

Příloha B – Popis XLS šablony

Pole v rámci šablony lze rozdělit do tří základních skupin:

- fixní data uložená přímo v šabloně
- data vyplněná před spuštěním optimalizace z nástroje Powersim Studio
- data dopočítaná samotnou optimalizací

Vzhledem k složitosti XLS souboru uvádím pouze popis základních polí:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	MIN	MAX	VALUE	PROMĚNNE NAKLADY	ZTRATY	EDVOLENKALF	VÝROBA E	PRODEJEL	NAKUP EL	MAX MWEL	SP E PRO D E	SP E PRO C	PRO CERP	CELKEM (MMW)	NAKLADY N A E	PRLIMY T E	WDOSET		
2	EME1	20,00	580,00	436,96	279,59	0,17	349,42	0,37	161,67	1014,00	2095,00	226,00	0,03938	0,00095	0,00743	20,05621	0,000	162860,463	111999,09
3	EME2	0,00	100,00	92,10	509,00	0,17	636,11	1,00	92,10	949,00	2095,00	160,00	0,03938	0,00095		3,71463	0,000	101639,507	3821,87
4	TR	25,00	118,00	0,00	125,14	0,14	134,05	0,00	0,00	0,00	2095,00	0,00	0,01980		0,00824	0,92389	1949,016	0,000	1949,02
5	TMA2	40,00	160,00	6,19	652,81	0,14	314,75	0,34	2,11	1014,00	2095,00	55,00		0,00096	0,02534	2,10556	0,002	0,000	5248,80
6	TMA3	25,00	232,00	0,00	1231,09	0,14	130,77	0,00	0,00	0,00	2095,00	0,00	0,00648		0,02534	1,14048	2389,306	0,000	2389,31
7	TMI1	20,00	27,00	0,00	1339,17	0,14	150,66	0,16	0,00	1021,00	2095,00	6,00	0,00515	0,00098		0,00000	0,000	0,000	0,00
8	TMI2	25,00	119,00	0,00	1194,42	0,14	134,38	0,00	0,00	0,00	2095,00	0,00	0,00540			0,00000	0,000	0,000	0,00
9	VPR	7,00	51,00	0,00	1207,05	0,14	128,21	0,00	0,00	0,00	2095,00	0,00	0,00862		0,00245	0,00000	0,000	0,000	0,00
10	ESEV	0,00	520,00	362,67															
11	EMA	0,00	330,00	112,67															
12	EMI	0,00	80,00	26,00															
13	EJM	0,00	320,00	45,00															
14	OKR	0,00	0,00	12,00															
15																			
16		NASMLOUVAN VÝVROD				CENA VÝROBY CELKEM			VÝNOSY E										
17	ELMEL	230,00		5		369895,08			264500,00										
18	PODM	230,00																	
19																			
20		SPOTŘEBA				PAUSAL 1MMW													
21	OSEV	250,00		6		1150		3											
22	OMA	35,00																	
23	OMI	26,00																	
24	OJM	45,00																	
25	OKR	12,00																	
26																			
27																			
28	PODMINKY	PRO OBLAST	V OBLASTI	VÝSTUP	ROZDIL														
29	EME	0,00	436,96	362,67	74,28														
30	OSEV	0,00	362,67	112,67	250,00														
31	OMA	0,00	119,97	63,00	35,87														
32	OMI	0,00	26,00	0,00	26,00														
33	OJM	0,00	45,00	0,00	45,00														
34	OKR	0,00	12,00	0,00	12,00														
35																			
36																			
37																			
38	UCELOVA FCE		125395,08	9															

1. vypočítaná výroba pro jednotlivý zdroj
2. vypočítaný průtok mezi oblastmi
3. vstupní parametry – náklady na výrobu, spotřeba elektrické energie a další
4. vypočítaná výroba elektrické energie
5. nasmlouvaná dodávka elektrické energie v EMĚ
6. poptávka pro jednotlivé oblasti
7. podmínky a výpočet toku tepla v síti, uspokojení poptávky
8. část účelové funkce pro jednotlivé zdroje
9. účelová funkce