

Univerzita Jana Evangelisty Purkyně  
v Ústí nad Labem

Přírodovědecká fakulta

UNIVERZITA J. E. PURKYNĚ V ÚSTÍ NAD LABEM

Přírodovědecká fakulta



Optimalizace investičních prostředků  
z hlediska výnosu fotovoltaických elektráren

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Vypracoval:** Petr Kotlan

**Vedoucí práce:** Ing. Roman Vaibar, Ph.D., MBA

**Studijní program:** Matematika ve firmách a veřejné správě

Ústí nad Labem 2024



# Podklad pro zadání BAKALÁŘSKÉ práce studenta

Jméno a příjmení: Petr KOTLAN  
Osobní číslo: F21060

Téma práce: Optimalizace investičních prostředků z hlediska výnosu fotovoltaických elektráren  
Téma práce anglicky: Optimization of investment funds in terms of photovoltaic power plants  
Jazyk práce: Čeština

Vedoucí práce: Ing. Roman Vaibar, Ph.D., MBA  
Katedra informatiky

## Zásady pro vypracování:

Cílem bakalářské práce je vyvinout aplikaci, která pomocí lineárního programování optimalizuje rozdělení investičních prostředků pro instalaci fotovoltaických elektráren na daných objektech. Optimalizace bude provedena na základě následujících hledisek:

- typu střechy – rovná, sedlová, valbová atd.,
- spotřeby v daném místě,
- ceny energie definované odkupem dle spotových cen OTE, a.s.,
- optimalizace uložistě,
- výpočtu předpokládaného ročního výkonu dle osvitových hodin.

## Osnova:

1. Úvod
2. Současné modely výnosů fotovoltaických elektráren v ČR
3. Teoretická část
  - Přehled ekonomických pojmů
  - Základní modely matematické optimalizace
4. Praktická část
  - Popis aplikace
  - Případové studie
5. Zhodnocení výsledků
6. Závěr

## Seznam doporučené literatury:

- VALACH, Josef. *Investiční rozhodování a dlouhodobé financování*. 3., přeprac. a rozš. vyd. Praha: Ekopress, 2010. ISBN 978-80-86929-71-2.
- PLEVNÝ, Miroslav a Miroslav ŽIŽKA. *Modelování a optimalizace v manažerském rozhodování*. Vyd. 2. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2010. ISBN 978-80-7043-933-3.
- *Krátkodobé trhy*. Online. OTE. C2018. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/kratkodobe-trhy/elektrina/vnitrodenni-trh>. [cit. 2023-12-03].
- MITCHELL, Stuart; KEAN, Anita; MASON, Andrew; O'SULLIVAN, Michael a PHILLIPS, Antony et al. *Optimization with PuLP*. Online. COIN-OR Documentation Site. C2009. Dostupné z: <https://coin-or.github.io/pulp/>. [cit. 2023-12-03].

Podpis studenta:

Datum:

Podpis vedoucího práce:

Datum:

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v přiloženém seznamu literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., ve znění zákona č. 81/2005 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

V Ústí nad Labem dne 21. května 2024

Podpis: .....









# OPTIMALIZACE INVESTIČNÍCH PROSTŘEDKŮ Z HLEDISKA VÝNOSU FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN

## **Abstrakt**

### **Klíčová slova**

fotovoltaika, lineární programování, optimalizace, investice

# OPTIMIZATION OF INVESTMENT FUNDS IN TERMS OF PHOTOVOLTAIC POWER PLANTS

## **Abstract**

### **Keywords**

photovoltaics, linear programming, optimization, investment



# Obsah

<b>Úvod</b>	<b>10</b>
<b>1 Fotovoltaika</b>	<b>12</b>
1.1 Komponenty fotovoltaické elektrárny . . . . .	12
1.1.1 Fotovoltaický panel . . . . .	12
1.2 Druhy fotovoltaických systémů . . . . .	12
1.2.1 Ostrovní elektrárna . . . . .	12
1.2.2 Standardní elektrárna . . . . .	13
1.2.3 Hybridní elektrárna . . . . .	13
<b>2 Teoretická část</b>	<b>14</b>
2.1 Přehled ekonomických pojmů . . . . .	14
2.1.1 Ukazatele výnosnosti investice . . . . .	14
2.2 Matematická optimalizace . . . . .	14
2.2.1 Formulace úlohy lineárního programování . . . . .	15
2.2.2 Maticový zápis úlohy LP . . . . .	16
2.2.3 Typy úloh lineárního programování . . . . .	16
<b>3 Praktická část</b>	<b>17</b>
3.1 Popis aplikace . . . . .	17
3.1.1 Data . . . . .	17
3.2 Případové studie . . . . .	17
<b>4 Zhodnocení výsledků a závěr</b>	<b>18</b>
<b>Seznam zdrojů</b>	<b>18</b>

# Úvod

# Fotovoltaika

Úvodní část si klade za cíl seznámit čtenáře s problematikou fotovoltaiky a návratnosti investic do fotovoltaických elektráren.

## 1.1 Komponenty fotovoltaické elektrárny

Fotovoltaická elektrárna se skládá z několika základních komponent.

### 1.1.1 Fotovoltaický panel

Fotovoltaický panel je základním stavebním kamenem fotovoltaické elektrárny. Jeho úkolem je přeměna slunečního záření na elektrickou energii.

## 1.2 Druhy fotovoltaických systémů

Rozdílem mezi jednotlivými druhy fotovoltaických systémů je jejich napojení do veřejné elektrické sítě a integrace akumulátorů. Podle těchto kritérií je lze rozdělit do tří základních kategorií:

- ostrovní
- standardní
- hybridní

### 1.2.1 Ostrovní elektrárna

Ostrovní (tzv. off-grid) fotovoltaická elektrárna je samostatný systém, který není připojen k elektrické síti. Klíčovou částí toho systému je baterie (akumulátor), která slouží k ukládání přebytků energie. Jsou užitečné v oblastech, kde připojení k elektrické síti není možné.

**Výhody:**

- nezávislost na dodavateli elektřiny,
- pokud dojde k výpadku elektřiny, ostrovní elektrárna bude sloužit jako záložní zdroj,

**Nevýhody:**

- počáteční náklady mohou být vyšší, kvůli potřebě akumulátorů,
- nutnost udržování a výměny baterií.

**1.2.2 Standardní elektrárna**

Standardní (tzv. on-grid) fotovoltaická elektrárna je připojena k elektrické síti.

**Výhody:**

- možnost prodeje přebytků elektřiny,
- nižší počáteční náklady.

**Nevýhody:**

- závislost na dodavateli elektřiny,
- v případě výpadku elektřiny, fotovoltaická elektrárna nebude fungovat.

**1.2.3 Hybridní elektrárna****Výhody:**

- 

**Nevýhody:**

-

# Teoretická část

Tato část je rozdělena do dvou kapitol. První kapitola se zabývá hodnotícími metodami investic, které jsou využívány v ekonomice. Druhá kapitola se zabývá lineárním programováním.

## 2.1 Přehled ekonomických pojmů

### 2.1.1 Ukazatele výnosnosti investice

**Čistá současná hodnota** ( $NPV$  – Net Present Value)

$$NPV = \frac{P_1}{(1+i)} + \frac{P_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{P_n}{(1+i)^n} - K$$

**Vnitřní výnosové procento** ( $IRR$  – Internal Rate of Return)

$$\frac{P_1}{(1+IRR)} + \frac{P_2}{(1+IRR)^2} + \dots + \frac{P_n}{(1+IRR)^n} = K,$$

kde

$n$  – počet let,

$P_1, P_2, \dots, P_n$  – peněžní příjmy z investice v jednotlivých letech,

$K$  – kapitálový výdaj,

$i$  – požadovaná míra výnosnosti.

## 2.2 Matematická optimalizace

Tato kapitola vychází ze dvou učebních textů. Prvním je *Matematika pro ekonomy* od R. Stolína [2] a druhým je *Operační výzkum* od J. Demela [3].

V úvodu této kapitoly jsou popsány základní pojmy a formulace úlohy lineárního programování.

Lineární programování patří k metodám *operačního výzkumu*. Je zaměřeno na hledání optimálního řešení při kterém, jsou zároveň splněny omezující podmínky.

### 2.2.1 Formulace úlohy lineárního programování

**Účelová funkce** je lineární funkcí  $n$  proměnných ve tvaru

$$z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n, \quad (2.1)$$

kde  $c_1, c_2, \dots, c_n$  jsou konstanty, které nazýváme *cenové koeficienty* nebo *koeficienty účelové funkce* a  $x_1, x_2, \dots, x_n$  jsou *strukturní neznámé*.

Účelová funkce se buď maximalizuje

$$\max z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n, \quad (2.2)$$

nebo minimalizuje

$$\min z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n. \quad (2.3)$$

**Omezující podmínky** jsou lineární rovnice nebo nerovnice ve tvaru

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &\lesseqgtr b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &\lesseqgtr b_2 \\ &\vdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n &\lesseqgtr b_m \end{aligned} \quad (2.4)$$

kde na místě  $\lesseqgtr$  může být  $\leq$ ,  $\geq$  nebo  $=$ .

Prvky  $a_{ij}$  jsou konstanty, které nazýváme *strukturní koeficienty* nebo *koeficienty omezení*,  $b_1, b_2, \dots, b_m$  jsou konstanty (tzv. *požadavková čísla*) jsou konstanty, které nazýváme *strukturní koeficienty* nebo *koeficienty omezení*,  $b_i$  jsou konstanty (tzv. *požadavková čísla*) a  $x_1, x_2, \dots, x_n$  jsou *strukturní neznámé*.

Zároveň omezující podmínky vymezují pro každou proměnnou  $x_1, x_2, \dots, x_n$  množinu hodnot, kterých může nabývat. Nejčastěji se jedná o podmínky tvaru  $x_i \geq 0$  (nezápornost). Jinými případy mohou být například podmínky tvaru  $x_i \leq 0$  (nekladnost) nebo  $x_i$  může nabývat libovolné hodnoty („neomezeno“).



### 2.2.2 Maticový zápis úlohy LP

Celý problém lineárního programování můžeme pro přehlednost zapsat maticově. Účelovou funkci vyjádříme jako

$$z = \mathbf{c}^T \mathbf{x} \rightarrow \max,$$

nebo

$$z = \mathbf{c}^T \mathbf{x} \rightarrow \min,$$

kde  $\mathbf{c}$  je vektor cenových koeficientů a  $\mathbf{x}$  je vektor strukturních neznámých.

Omezující podmínky můžeme vyjádřit jako maticový součin

$$\mathbf{A}\mathbf{x} \leq \mathbf{b},$$

kde  $\mathbf{A}$  je matice strukturních koeficientů a  $\mathbf{b}$  je vektor pravých stran omezujících podmínek.

### 2.2.3 Typy úloh lineárního programování

# Praktická část

## 3.1 Popis aplikace

### 3.1.1 Data

Český hydrometeorologický ústav ČHMÚ

Podmínky užití dat

OTE, a.s. OTE (Otevřený trh s elektřinou)

## 3.2 Případové studie

## Zhodnocení výsledků a závěr

# Seznam zdrojů

- [1] *Krátkodobé trhy*. Online. OTE. C2018. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/kratkodobe-trhy/elektrina/vnitrodenni-trh>.
- [2] STOLÍN, Radek. *Matematika pro ekonomy*. 2., upr. vyd. Jihlava: Vysoká škola polytechnická Jihlava, 2011. ISBN ISBN978-80-87035-35-1.
- [3] DEMEL, Jiří. *Operační výzkum*. Dostupné z: <https://kix.fsv.cvut.cz/~demel/ped/ov/ov.pdf>.
- [4] *Stroj na peníze: Fotovoltaika při vysokých cenách elektřiny ušetří desetitisíce korun ročně*. Online. TZB-info - Portál pro stavebnictví, technická zařízení budov. 2001. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/24229-stroj-na-penize-fotovoltaika-pri-vysokych-cenach-elektriny-usetri-desetiti>.
- [5] *Typy fotovoltaických elektráren*. Online. Fotovia. 2023. Dostupné také z: <https://www.fotovia.cz/blog/typy-fotovoltaickych-elektren>.