Bakalářská práce

České
vysoké
učení technické
v Praze

F3 Fakulta elektrotechnická

Energetický audit průmyslového podniku

Martin Beran

Vedoucí práce: Mgr. Ing. Vít Klein, Ph.D.
2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Beran** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **483834**

Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**

Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**

Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**

Specializace: **Aplikovaná elektrotechnika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Energetický audit průmyslového podniku

Název bakalářské práce anglicky:

Energy audit of an industrial enterprise

Pokyny pro vypracování:

1) Úvod do problematiky energetického auditu průmyslového podniku.
2) Popis a vyhodnocení stávajícího stavu vybrané části energetického hospodářství podniku.
3) Návrhy vybraných energeticky úsporných opatření.
4) Energetické a ekonomické vyhodnocení energeticky úsporných opatření a závěrečná doporučení.

Seznam doporučené literatury:

1) IBLER, Zdeněk. Technický průvodce energetika. Praha: BEN - technická literatura, 2002. ISBN 80-7300-026-1.
2) KOTRBATÝ, Miroslav, Ondřej HOJER a Zuzana KOVÁŘOVÁ. Hospodaření teplem: 'nejlevnější energie je energie ušetřená'. Praha: ČSTZ, 2009. ISBN 978-80-86028-41-5.
3) Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D., katedra elektroenergetiky FEL

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

Datum zadání bakalářské práce: **27.01.2021** Termín odevzdání bakalářské práce: _____

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2022**

Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D. podpis vedoucí(ho) práce	podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D. podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

. _____
Datum převzetí zadání

_____
Podpis studenta

© ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

Čestné prohlášení

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

V Praze dne 21.05.2021

Martin Beran

Poděkování

Děkuji panu Mgr. Ing. Vítu Kleinovi, Ph.D., za poskytnuté odborné rady, věcné připomínky k této práci a čas věnovaný při četných konzultacích. Dále chci poděkovat mé rodině a přátelům, kteří mě při dosavadních studiích podporovali.

Abstrakt

Bakalářská práce je věnována problematice zpracování energetického auditu a detailněji se zabývá dosahováním energetických úspor v osvětlovacích soustavách pro průmyslové objekty. Ve druhé části bakalářské práce je provedeno zhodnocení osvětlovací soustavy reálného průmyslového podniku a návrh úsporných opatření, včetně jejich ekonomicko-ekologického vyhodnocení.

Klíčová slova

Energetický audit, průmyslový podnik, osvětlovací soustava, energetická náročnost, energeticky úsporná opatření, ekonomické vyhodnocení, ekologické vyhodnocení.

Abstract

The bachelor's thesis is devoted to the issue of energy audit processing and deals in more detail with achieving energy savings in lighting systems for industrial buildings. The second part of the bachelor's thesis demonstrates the evaluation of the lighting system of a real industrial enterprise. Furthermore, there were proposed cost-saving measures, including their economic and ecological evaluation.

Keywords

Energy audit, industrial enterprise, lighting system, energy intensity, energy-saving measures, economic evaluation, ecological evaluation.

Obsah

1. ÚVOD 1

2. TEORETICKÁ ČÁST 2

2.1. Ukotvení energetického auditu v legislativě 2

2.1.1. Popis a vyhodnocení stávajícího stavu 4

2.1.2. Návrh opatření a variant 7

2.1.3. Ekonomické vyhodnocení 8

2.1.4. Ekologické vyhodnocení 11

2.1.5. Výběr optimální varianty a doporučení energetického specialisty 14

2.2. Postup zpracování energetického auditu 15

2.2.1. Úvodní kontakt 15

2.2.2. Zahajovací jednání 16

2.2.3. Sběr dat 16

2.2.4. Terénní práce 17

2.2.5. Analýza 17

2.2.6. Zpráva a závěrečné jednání 18

2.3. Osvětlovací soustavy 19

2.3.1. Členění osvětlovacích soustav umělého osvětlení 19

2.3.2. Požadavky na osvětlení 21

2.3.3. Údržba osvětlovacích soustav 24

2.3.4. Určení energetické náročnosti osvětlovacích soustav 27

2.3.5. Úsporná opatření v osvětlovacích soustavách 30

3. PRAKTICKÁ ČÁST 32

3.1. Popis stávajícího stavu 33

3.1.1. Místnost „Dílna PBS“ 34

3.1.2. Místnost „Balení“ 35

3.2. Vyhodnocení stávajícího stavu 35

3.2.1. Kvalita osvětlení 36

3.2.2. Celková roční spotřeba 37

3.3. Návrh opatření 39

3.3.1. Výměna svítidel 40

3.3.2. Implementace ŘS 42

3.4. Ekonomické vyhodnocení 44
3.4.1. Výměna svítidel 44
3.4.2. Implementace ŘS 48
3.5. Ekologické vyhodnocení 51
3.5.1. Výměna svítidel 51
3.5.2. Implementace ŘS 52
3.6. Závěrečné doporučení 52
4. ZÁVĚR 54
5. SEZNAM LITERATURY 55
6. SEZNAM PŘÍLOH 60

Obrázky

Obr. 2.1: Vývojový diagram procesu EA 15
Obr. 2.2: Vymezení prostorových oblastí v rámci zorného pole pozorovatele 22
Obr. 2.3: Pokles relativní osvětlenosti a průběh činitelů vratných a nevratných ztrát .. 25
Obr. 3.1: Situace řešených místností 33
Obr. 3.2: „Výměna svítidel“ – Vývoj investice v čase 46
Obr. 3.3: „Implementace ŘS“ – Vývoj investice v čase 49

Tabulky

Tab. 2.1: Soupis základních údajů o energetických vstupech 5
Tab. 2.2: Základní technické ukazatele vlastního zdroje energie 5
Tab. 2.3: Roční bilance výroby z vlastního zdroje energie 6
Tab. 2.4: Výchozí roční energetická bilance 6
Tab. 2.5: Upravená roční energetická bilance 8
Tab. 2.6: Všeobecné emisní faktory oxidu uhličitého 12
Tab. 2.7: Srovnání množství emisí stávajícího stavu a navrhovaných variant 13
Tab. 2.8: Množství znečišťujících látek na jednotku elektrické energie 14
Tab. 2.9: Osvětlenost bezprostředního okolí úkolu 22
Tab. 2.10: Počty provozních hodin podle aplikační oblasti 26
Tab. 2.11: Směrné hodnoty LENI pro průmyslové objekty 27
Tab. 3.1: Požadavky na osvětlení místnosti „Dílna PBS“ 34
Tab. 3.2: Požadavky na osvětlení místnosti „Balení“ 35
Tab. 3.3: Orientační měření osvětlenosti – Dílna PBS 36
Tab. 3.4: Orientační měření osvětlenosti – Balení 37
Tab. 3.5: Výpočet ukazatele LENI: Stávající stav 38
Tab.3.6: Návrh opatření: Výměna svítidel 41
Tab. 3.7: Výpočet udržovacího činitele MF 41
Tab. 3.8: Návrh opatření: Implementace ŘS 43
Tab. 3.9: „Výměna svítidel“ – Výpočet celkových investičních výdajů 45
Tab. 3.10: „Výměna svítidel“ – Ekonomické vyhodnocení 45
Tab. 3.11: „Výměna svítidel“ – Citlivostní analýza NPV 47
Tab. 3.12: „Výměna svítidel“ – Citlivostní analýza IRR 47
Tab. 3.13: „Výměna svítidel“ – Citlivostní analýza T_{sd} 47
Tab. 3.14: „Implementace ŘS“ – Výpočet celkových investičních výdajů 48
Tab. 3.15: „Implementace ŘS“ – Ekonomické vyhodnocení 49
Tab. 3.16: „Implementace ŘS“ – Citlivostní analýza NPV 50
Tab. 3.17: „Implementace ŘS“ – Citlivostní analýza IRR 50
Tab. 3.18: „Implementace ŘS“ – Citlivostní analýza T_{sd} 50
Tab. 3.19: Množství znečišťujících látek na jednotku elektrické energie 51
Tab. 3.20: „Výměna svítidel – Výpočet emisí 51
Tab. 3.21: „Implementace ŘS“ – Výpočet emisí 52

Seznam zkratek

EA	Energetický audit
ES	Energetický specialista
DPH	Daň z přidané hodnoty
IČ	Identifikační číslo
IN	Investiční náklady
INV	Investiční výdaje
IRR	Vnitřní výnosové procento („Internal Rate of Return“)
NPV	Čistá současná hodnota („Net Present Value“)
OS	Osvětlovací soustava
PM	Pevné částice
ŘS	Řídicí systém
SRN	Spolková republika Německo
TO	Topný olej
TOEL	Topný olej extra lehký
TZL	Tuhá znečišťující látka
VOC	Těkavá organická látka („Volatile Organic Compound“)

1. ÚVOD

Celková roční spotřeba energie má dlouhodobě rostoucí trend. Snahou velké řady států a organizací je zastavení nebo alespoň zpomalení tohoto trendu. To lze v principu dvěma způsoby. Buď se procesy spotřebovávající energii omezí, nebo se zefektivní přeměna energie v daném procesu. Je proto vydáváno a pravidelně aktualizováno množství dokumentů, jenž definují závazné cíle a postupy, jak jich dosahovat. V České republice je stěžejním dokumentem zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů. Mimo představení státní energetické koncepce je velká část věnována problematice podpory úspor energie a zavádění opatření pro zvyšování hospodárnosti užití energie. Pro tyto účely jsou v zákoně ustanoveny pojmy jako průkaz energetické náročnosti budov, energetický štítek, ekodesign, energetický posudek a konečně energetický audit, kterému je věnována tato práce.

První část této práce je teoretického charakteru a je věnována definici energetického auditu, jeho ukotvení v legislativě, jeho obsahu, struktuře a procesu zpracování. Dále je zde detailně popsána problematika návrhu osvětlovacích soustav a hodnocení jejich energetické náročnosti. Osvětlovací soustavy totiž patří do skupiny opatření, která mají obzvláště v průmyslu velmi krátkou dobu návratnosti, a mají tak potenciál být realizovány. V průmyslových objektech je obecně těžší prosazovat energeticky úsporná opatření právě z důvodu delší doby návratnosti a nižšího zisku oproti investování například do rozšíření výroby. To se potvrdilo i u společnosti, jež je předmětem praktické části této práce. Na základě informací získaných z předešlého auditu vyplynulo, že stavebně technická opatření jako jsou výměny oken či zateplení budov vychází ekonomicky nerentabilní. Po dohodě se zadavatelem energetického auditu byla jako vybraná část energetického hospodářství pro posouzení v rámci praktické části této práce určena právě osvětlovací soustava. Tomu byla i uzpůsobena teoretická část, která obsahuje podrobný popis osvětlovacích soustav, pro snazší orientaci čtenáře v praktické části práce.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1. Ukotvení energetického auditu v legislativě

Energetický audit (EA) je definován zákonem č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších přepisů, (dále jen „zákon“) jako: „*systematická kontrola a analýza spotřeby energie za účelem získání dostatečných znalostí o stávajícím nakládání s energií v energetickém hospodářství, která identifikuje a kvantifikuje možnosti nákladově efektivních úspor energie a podává zprávy o zjištěních*“.[1]

Povinnost nechat si zpracovat EA vzniká dle § 9 zákona podnikateli, jehož energetická hospodářství mají spotřebu energie vyšší než 200 MWh ročně a dva po sobě jdoucí kalendářní roky je splněna alespoň jedna z těchto podmínek:

1) Podnikatel zaměstnává 250 a více osob.
2) Podnikatel vykazuje roční obrat vyšší než 1,3 miliardy Kč.
3) Podnikatel vykazuje roční bilanční sumu rozvahy vyšší než 1,1 miliardy Kč.

V případě zpracování EA na základě této povinnosti je jeho platnost čtyři roky. Nesplňuje-li podnikatel ani jednu ze výše uvedených tří podmínek, ale zároveň je průměrná roční spotřeba energie jeho energetickými hospodářstvími vyšší než 5 000 MWh dva po sobě jdoucí kalendářní roky, je povinen si nechat EA zpracovat, ale jeho platnost je na deset let. Platnost deseti let se vztahuje také na EA vypracovaný pro energetické hospodářství vlastněné Českou republikou, krajem, obcí, příspěvkovou organizací státu, státní organizací, státní a veřejnou vysokou školou nebo Českou národní bankou. Těmto subjektům vzniká povinnost při spotřebě energie vyšší než 500 MWh.

Povinnost nevzniká v případě, že je pro energetické hospodářství zaveden a certifikován systém hospodaření s energií podle normy ČSN EN ISO 50001 – Systém managementu hospodaření s energií – Požadavky s návodem k použití.

EA může dle zákona provádět pouze oprávněná osoba, kterou je energetický specialista (ES) nebo osoba usazená v jiném členském státě Evropské unie oprávněna k výkonu této

[1] Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů. § 2 odst. 1 písm. n).

činnosti. ES může být dle § 10 písm. 2. buď fyzická osoba, která složí odbornou zkoušku pořádanou Státní energetickou inspekcí, je plně svéprávná, trestně bezúhonná a odborně způsobilá, nebo právnická osoba, jenž je trestně bezúhonná a určí jednu fyzickou osobu, která je držitelem oprávnění k výkonu činnosti energetického specialisty. Podoba odborné zkoušky je stanovena v § 10a zákona.

Povinností ES je sepsat o provedeném EA písemnou zprávu a tu předat zadavateli EA. Její závazná podoba je stanovena vyhláškou č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku, ve znění pozdějších předpisů (dále jen „vyhláška“).[2] Následujících několik stran je volným výkladem této vyhlášky.

Povinný obsah zprávy o energetickém auditu:

(1) titulní list
(2) identifikační údaje
(3) popis stávajícího stavu předmětu energetického auditu
(4) vyhodnocení stávajícího stavu předmětu energetického auditu
(5) návrhy opatření ke zvýšení účinnosti užití energie
(6) varianty z návrhu jednotlivých opatření
(7) doporučení energetického specialisty oprávněného zpracovat energetický audit
(8) evidenční list energetického auditu
(9) kopii dokladu o vydání oprávnění podle § 10b zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů nebo kopii oprávnění osoby pro vykonávání této činnosti podle právního předpisu jiného členského státu Evropské unie.

Titulní list musí obsahovat název předmětu EA, datum vypracování EA, jméno a příjmení ES, číslo oprávnění a evidenční číslo EA.

Identifikační údaje obsahují údaje o vlastníkovi předmětu EA a údaje o samotném předmětu EA. Pokud je vlastníkem fyzická osoba, jsou těmito údaji jméno a příjmení, IČ, pokud bylo přiděleno, a adresa trvalého bydliště. Pokud je vlastníkem právnická osoba,

[2] Vyhláška č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku, ve znění pozdějších předpisů byla ke dni 01.04.2021 nahrazena vyhláškou č. 140/2021 Sb., o energetickém auditu a vyhláškou č. 141/2021 Sb., o energetickém posudku a o údajích vedených v Systému monitoringu spotřeby energie. Vzhledem k rozsahu vyhlášky č. 140/2021 a faktu, že v době jejího uveřejnění byla teoretická část této práce dopsána, bylo po konzultaci s vedoucím práce rozhodnuto, že se takto ponechá.

pak jsou těmito údaji název a sídlo firmy, adresa pro doručování a IČ, pokud bylo přiděleno. Údaji o předmětu EA jsou název a adresa.

2.1.1. Popis a vyhodnocení stávajícího stavu

Při opomenutí předchozích dvou částí je popis stávajícího stavu úvodní částí zprávy o EA. Obsahuje důležité informace o předmětu EA, které musel ES na začátku své práce shromáždit pro další možný postup. Jedná se v prvé řadě o charakteristiku hlavních činností předmětu EA, popis technických zařízení, systémů a budov a jejich situační plán. Na základě těchto informací jsou identifikovány případné vlastní zdroje energie a jsou určeny významné spotřebiče energie jako například tavení, výroba vzduchu či laserové obrábění. Významným spotřebičem energie je také samotná budova, která bývá specifikována zvlášť a u které je třeba určit její tepelně technické vlastnosti. Následuje popis hlavních rozvodů energie, u nichž se zhodnotí stav a vybavenost měřením. Pro rozvod tepla a chladu se navíc uvede druh, délka, kapacita, průměr, provedení, stáří, technický stav, tloušťka a stav tepelné izolace. Dalším nezbytným podkladem pro popis stávajícího stavu jsou informace o energetických vstupech za předcházející tři roky, které se získají z účetních dokladů. Vzorové tabulky[3] pro vlastní zdroje energie a energetické vstupy jsou uvedeny na následující straně.

Na popis stávajícího stavu navazuje jeho vyhodnocení, jež hodnotí účinnost užití energie, tepelně technické vlastnosti budovy a systém managementu hospodaření s energií. Výstupem vyhodnocení je celková energetická bilance, jejíž vzor je uveden v tabulce 2.4.

[3] Podoba veškerých vzorových tabulek v této kapitole byla převzata jedna ku jedné z vyhlášky. Případný rozpor ve formátování se zbytkem této práce je z důvodu závazné podoby těchto tabulek.

Pro rok: před realizací projektu					
Vstupy paliv a energie	**Jednotka**	**Množství**	**Výhřevnost GJ/jednotku**	**Přepočet na MWh**	**Roční náklady v tis. Kč**
Elektřina	MWh				
Teplo	GJ				
Zemní plyn	MWh				
Jiné plyny	MWh				
Hnědé uhlí	t				
Černé uhlí	t				
Koks	t				
Jiná pevná paliva	t				
TO	t				
TOEL	t				
Druhotné zdroje	GJ				
Obnovitelné zdroje	GJ/MWh				
Jiná paliva	GJ				
Celkem vstupy paliv a energie					
Změna stavu zásob paliv (inventarizace)					
Celkem spotřeba paliv a energie					

Tab. 2.1: Soupis základních údajů o energetických vstupech[4]

ř.	**Název ukazatele**	**Jednotka**	**Hodnota**
1	Roční celková účinnost zdroje	(%)	
2	Roční účinnost výroby elektřiny	(%)	
3	Roční účinnost výroby tepla	(%)	
4	Spotřeba energie v palivu na výrobu elektřiny	(GJ/MWh)	
5	Spotřeba energie v palivu na výrobu tepla	(GJ)	
6	Roční využití instalovaného elektrického výkonu	(hod)	
7	Roční využití instalovaného tepelného výkonu	(hod)	

Tab. 2.2: Základní technické ukazatele vlastního zdroje energie[5]

[4] Vyhláška č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku, ve znění pozdějších předpisů, příloha č. 2.
[5] Vyhláška č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku, ve znění pozdějších předpisů, příloha č. 3a.

ř.	Název ukazatele	Jednotka	Hodnota
1	Instalovaný elektrický výkon celkem	(MW)	
2	Instalovaný tepelný výkon celkem	(MW)	
3	Výroba elektřiny	(MWh)	
4	Prodej elektřiny	(MWh)	
5	Vlastní technologická spotřeba elektřiny na výrobu elektřiny	(MWh)	
6	Spotřeba energie v palivu na výrobu elektřiny	(GJ/r)	
7	Výroba tepla	(GJ/r)	
8	Dodávka tepla	(GJ/r)	
9	Prodej tepla	(GJ/r)	
10	Vlastní technologická spotřeba tepla na výrobu tepla	(GJ/r)	
11	Spotřeba energie v palivu na výrobu tepla	(GJ/r)	
12	Spotřeba energie v palivu celkem	(GJ/r)	

Tab. 2.3: Roční bilance výroby z vlastního zdroje energie[6]

ř.	Ukazatel	Energie		Náklady
		(GJ)	(MWh)	(tis. Kč)
1	Vstupy paliv a energie			
2	Změna zásob paliv			
3	Spotřeba paliv a energie			
4	Prodej energie cizím			
5	Konečná spotřeba paliv a energie			
6	Ztráty ve vlastním zdroji a rozvodech energie			
7	Spotřeba energie na vytápění			
8	Spotřeba energie na chlazení			
9	Spotřeba energie na přípravu teplé vody			
10	Spotřeba energie na větrání			
11	Spotřeba energie na úpravu vlhkosti			
12	Spotřeba energie na osvětlení			
13	Spotřeba energie na technologické a ostatní procesy			

Tab. 2.4: Výchozí roční energetická bilance[7]

[6] Vyhláška č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku, ve znění pozdějších předpisů, příloha č. 3b.
[7] Vyhláška č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku, ve znění pozdějších předpisů, příloha č. 4.1.

2.1.2. Návrh opatření a variant

Na základě zhodnocení stávajícího stavu by mělo být zřejmé, kde lze hledat potenciál pro zvýšení účinnosti užití energie. ES proto navrhne řadu opatření, z nichž v dalším kroku sestaví alespoň dvě varianty. U každého opatření musí vždy být uveden název a stručný popis, roční úspory v $MWh \cdot rok^{-1}$, náklady na realizaci daného opatření a průměrné roční provozní náklady v tisících $Kč \cdot rok^{-1}$.

Následně se z navrhovaných opatření sestaví alespoň dvě varianty. Popis každé varianty musí obsahovat popis vybraných opatření, ze kterých je varianta složená, roční úspory v $MWh \cdot rok^{-1}$, investiční náklady na realizaci varianty, průměrné roční provozní náklady v tisících $Kč \cdot rok^{-1}$ a upravenou roční energetickou bilanci, jejíž vzor je na další straně. Dalším krokem je vyhodnocení variant na základě ekonomických a ekologických kritérií, přičemž vhodnější varianta je vybrána pro závěrečné doporučení energetického specialisty.

ř.	Ukazatel	Před realizací projektu			Po realizaci projektu		
		Energie		Náklady	Energie		Náklady
		(GJ)	(MWh)	(tis. Kč)	(GJ)	(MWh)	(tis. Kč)
1	Vstupy paliv a energie						
2	Změna zásob paliv						
3	Spotřeba paliv a energie						
4	Prodej energie cizím						
5	Konečná spotřeba paliv a energie						
6	Ztráty ve vlastním zdroji a rozvodech energie						
7	Spotřeba energie na vytápění						
8	Spotřeba energie na chlazení						
9	Spotřeba energie na přípravu teplé vody						
10	Spotřeba energie na větrání						
11	Spotřeba energie na úpravu vlhkosti						
12	Spotřeba energie na osvětlení						
13	Spotřeba energie na technologické a ostatní procesy						

Tab. 2.5: Upravená roční energetická bilance[8]

2.1.3. Ekonomické vyhodnocení

Cílem ekonomického vyhodnocení je posouzení vhodnosti realizace jednotlivých opatření, respektive variant z opatření z ekonomického hlediska. Jde o první věc, která bude investora na navržených opatřeních zajímat. Je velmi nepravděpodobné, že bude někdo vkládat své prostředky do opatření, byť ekologického a přínosného z hlediska snížení produkce CO_2, pokud nebude vědět, kolik ho to bude a jaký bude mít investice ekonomický přínos. V současnosti totiž sice vyhláška určitým subjektům ukládá povinnost nechat si vypracovat EA, řídit se však doporučeními ES již zadavatel EA nemusí.

Ekonomické vyhodnocení se obecně provádí podle několika hlavních kritérií. Vyhláška vyžaduje pro posuzování ekonomické efektivnosti tato kritéria: čistá současná hodnota

[8] Vyhláška č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku, ve znění pozdějších předpisů, příloha č. 4.2.

(NPV – „Net Present Value“), vnitřní výnosové procento (IRR – „Internal Rate of Return“) a reálná doba návratnosti (T_{sd}), přičemž rozhodujícím kritériem je NPV. Vstupními údaji pro hodnocení pomocí těchto kritérií jsou investiční náklady projektu (IN), doba porovnání ($T_ž$), diskontní sazba (r) a budoucí toky peněz (CF – „Cash Flow“). Společným znakem uvedených kritérií je převádění hodnot budoucích CF na hodnotu ve zvoleném okamžiku. Tento proces se nazývá diskontování.

Investiční náklady (IN) projektu se určí jako součet všech nákladů za opatření zahrnutá ve zvolené variantě. Zahrnují tak náklady na vypracování projektové dokumentace, na pořízení potřebných zařízení a materiálu, včetně jejich dopravy a instalace.[9]

Doba porovnání ($T_ž$) odpovídá buď životnosti zařízení nebo době odepisování majetku. V energetických auditech je častější použití doby životnosti zařízení, která se stanoví na základě expertního odhadu nebo z údajů poskytnutých výrobcem. V případě hodnocení dvou vzájemně se vylučujících opatření s rozdílnou dobou životnosti je třeba dobu sjednotit a počítat tak s obnovou opatření s kratší životností nebo vyjádřením zůstatkové hodnoty opatření s delší životností.

Toky peněz (CF) se určí z peněžních příjmů plynoucích z realizace úsporných opatření, nákladů na realizaci opatření a odpisů. Je důležité zohlednit, že opatření mohou navíc kromě úspor energie, což se projeví na faktuře nebo spotřebě zásob paliva, přinést také snížení emisí, díky čemuž se sníží poplatky za emisní povolenky, či úsporu plochy, kterou lze pak využít jiným způsobem.

Diskontní sazbu (r) lze chápat jako požadovanou výnosnost vloženého kapitálu. Pro energeticky úsporná opatření se volí zpravidla kolem 5 %. V případě průmyslových objektů to může být více s ohledem na vyšší výnosnost ostatních investic. Je-li opatření financováno cizím kapitálem odpovídá diskontní sazba úrokové míře.

[9] Vyhláška uvádí pojem investiční náklady, správnějším termínem je však investiční výdaj. Výdaj totiž reprezentuje reálné peněžní toky, zatímco náklad vyjadřuje spotřebu hmotných zdrojů vyjádřených v penězích.

Čistá současná hodnota (NPV)

NPV je součet současných hodnot budoucích hotovostních toků. Opatření se vyplatí realizovat v případě, že je hodnota NPV kladná. V případě, že se opatření vylučují, se volí opatření s vyšší hodnotou NPV.

$$NPV = \sum_{t=1}^{T_ž} CF_t \cdot (1+r)^{-t} - IN \qquad [Kč] \qquad (2.1)$$

kde:

CF_t cash flow v daném roce [Kč],

$T_ž$ doba hodnocení (životnost) projektu [roky],

r diskontní sazba [-],

IN investiční náklady [Kč].

Vnitřní výnosové procento (IRR)

IRR odpovídá takové diskontní sazbě, při které platí NPV = 0.

$$\sum_{t=1}^{T_ž} CF_t \cdot (1+IRR)^{-t} - IN = 0 \qquad [\%] \qquad (2.2)$$

Při posuzování výhodnosti investice, tak stačí porovnat IRR s nastavenou diskontní sazbou, je-li IRR vyšší, vyplatí se investici realizovat. IRR na rozdíl od NPV nedává informaci o absolutní velikosti zisku, jelikož jde o relativní veličinu. To je ovšem často pro vzájemné porovnání investic výhodnější.

Reálná doba návratnosti (T_{sd})

Někdy také označována jako diskontovaná doba návratnosti vyjadřuje dobu, za kterou dojde k rovnováze mezi příjmy a výdaji. Jinými slovy, součet diskontovaných peněžních toku plynoucí z opatření dané varianty je po této době roven vynaloženým investičním nákladům při zvolené diskontní míře.

$$\sum_{t=1}^{T_{sd}} CF_t \cdot (1+r)^{-t} - IN = 0 \qquad [roky] \qquad (2.3)$$

Je-li T_{sd} menší než $T_ž$, lze opatření doporučit k realizaci. Ne vždy je však tato podmínka pro investora postačující.

2.1.4. Ekologické vyhodnocení

Smyslem ekologického vyhodnocení je posouzení ekologického dopadu navrhovaných opatření. Každé opatření, které omezuje spotřebu energie, se určitým způsobem promítne do spotřeby fosilních paliv, právě jehož spalování vede k znečišťování životního prostředí. Vyhodnocení se provádí na základě rozdílu produkce emisních látek po přijmutí navrhovaných opatřeních varianty a stávajícím stavem. Výpočet emisí se rozděluje podle povahy uvažované látky na výpočet emisí oxidu uhličitého a výpočet emisí znečišťujících látek.

Výpočet emisí oxidu uhličitého

Emisní faktory uhlíku uvádí množství uhlíku, respektive oxidu uhličitého připadajícího na jednotku energie ve spalovaném palivu. Emisní faktory uhlíku mohou být definovány jako všeobecné nebo místně specifické.

1) Všeobecné emisní faktory oxidu uhličitého

Palivo nebo energie		kg/GJ
Pevná paliva	Černé uhlí tříděné	92,4
	Hnědé uhlí tříděné	99,1
	Jiné pevné palivo	94,1
	Koks	107,0
	Proplástek	94,1
Kapalná paliva	Těžký topný olej (s obsahem síry do 1 % hm. v. č.) - nízkosirný	77,4
	Jiná kapalná paliva	76,6
	TOEL	73,3
	Benzín	69,2
	Plynový olej (s obsahem síry do 0,1 % hm. v.č.)	73,3
Plynná paliva	Zemní plyn	55,4
	Koksárenský plyn	44,4
	Propan-butan	65,9
	Vysokopecní plyn	240,6
	Jiné plynné palivo	54,7
Elektřina	Elektřina	281
Biomasa		0

Tab. 2.6: Všeobecné emisní faktory oxidu uhličitého[10]

2) Místně specifické emisní faktory oxidu uhličitého

Výpočet emisí CO_2 ze spalování fosilních paliv se provede podle vzorce:

(hmotnost paliva) × (výhřevnost paliva) × (emisní faktor uhlíku) × (1 - nedopal),

přičemž emisní faktor uhlíku (kg CO_2/GJ výhřevnosti paliva) je stanovený na základě složení místního paliva, které je využíváno pro plnění energetických potřeb daného opatření. Doporučené hodnoty pro nedopal stanovené vyhláškou jsou 0,02 [-] pro paliva tuhá (kamna 0,05 [-], 0,01 [-] pro paliva kapalná a 0,005 [-] pro paliva plynná.

[10] Vyhláška č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku, ve znění pozdějších předpisů, příloha č. 6. část II.B.

Výpočet emisí znečišťujících látek

Množství emisí znečišťujících látek (TZL, SO_2, NO_X, NH_3, VOC) se vypočte jako součin měrné výrobní emise a příslušné veličiny za rok. Měrná výrobní emise se použije z protokolu o jednorázovém měření emisí provedeném autorizovanou osobou ne starším než 3 roky. Pokud nejsou dostupné údaje o měrných výrobních emisích, stanoví se množství emisí jako součin aktuálního emisního faktoru zveřejněného pro odpovídající skupinu stacionárních zdrojů Věstníku Ministerstva životního prostředí a počtu jednotek příslušné vztažné veličiny za rok. Není-li pro některou znečišťující látku dostupný ani emisní faktor, emise se pro danou znečišťující látku nepočítá. V případě spotřeby elektrické energie se určí množství emisí znečišťujících látek z její celkové spotřeby a hodnot uvedených v tabulce 2.8 na následující stránce.

Vyhodnocení se provede srovnáním vypočteného množství emisí jednotlivých znečišťujících látek výchozího stavu a navržených variant z vybraných opatření.

Parametr	Výchozí stav	Varianta I	Rozdíl	Varianta II	Rozdíl
	t/rok	t/rok	t/rok	t/rok	t/rok
TZL					
PM_{10}					
$PM_{2,5}$					
SO_2					
NO_X					
NH_3					
VOC					
CO_2					

Tab. 2.7: Srovnání množství emisí stávajícího stavu a navrhovaných variant[11]

Emise částic $PM_{2,5}$ se určí podle poměru částic PM_{10} a $PM_{2,5}$ v TZL. Aktuální poměry částic PM_{10} a $PM_{2,5}$ v TZL jsou zveřejňovány ve Věstníku Ministerstva životního prostředí.

[11] Vyhláška č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku, ve znění pozdějších předpisů, příloha č. 6. část II. A

Znečišťující látka	NH_3	VOC	CO	NO_x	SO_2	TZL	$PM_{2,5}$
Emisní faktor (kg/MWh)	0	0,00249	0,08621	0,56764	0,84124	0,03680	0,02208

Tab. 2.8: Množství znečišťujících látek na jednotku elektrické energie[12]

2.1.5. Výběr optimální varianty a doporučení energetického specialisty

Optimální varianta se vybere na základě výsledků ekonomického a ekologického vyhodnocení.

Doporučení energetického specialisty je závěrečná část energetického auditu a obsahuje tyto body:

- Popis optimální varianty.
- Roční úspory energie v $MWh \cdot rok^{-1}$ po realizaci optimální varianty.
- Náklady v tisících $Kč \cdot rok^{-1}$ na realizaci optimální varianty.
- Průměrné roční provozní náklady v tisících $Kč \cdot rok^{-1}$ v případě realizace optimální varianty.
- Upravenou energetickou bilanci pro optimální variantu.
- Ekonomické a ekologické vyjádření pro optimální variantu.
- Návrh vhodné koncepce systému managementu hospodaření s energií.

Přílohou energetického auditu je kromě provedených potřebných výpočtů také evidenční list energetického auditu a kopie dokladu o vydání oprávnění provádět energetický audit podle § 10b zákona.

[12] Vyhláška č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku, ve znění pozdějších předpisů, příloha č. 6. část II. A

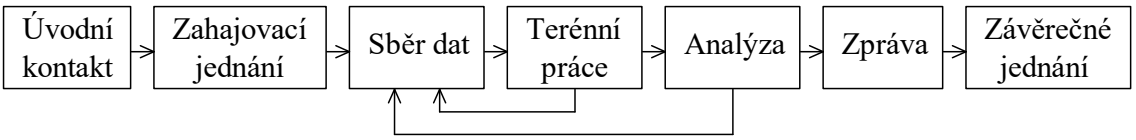
2.2. Postup zpracování energetického auditu

V předchozí kapitole byl EA popsán z pohledu zákona a byla zde specifikována podoba písemné zprávy o EA podle vyhlášky. Tato kapitola stručně popisuje proces vytváření EA, jak je specifikován v příslušných normách. Těmito normami jsou:

1. ČSN ISO 50002 – Energetické audity – Požadavky s návodem pro použití
2. ČSN EN 16247-1 – Energetické audity – Část 1: Obecné požadavky
3. ČSN EN 16247-2 – Energetické audity – Část 2: Budovy
4. ČSN EN 16247-3 – Energetické audity – Část 3: Procesy

Následující text, není-li uvedeno jinak, je zpracován podle informací čerpaných z těchto dokumentů.[13]

Proces zpracování EA sestává z několika hlavních kroků, jejichž sled je naznačen na obrázku 2.1



Obr. 2.1: Vývojový diagram procesu EA[14]

2.2.1. Úvodní kontakt

Při úvodním kontaktu je třeba specifikovat rozsah a náročnost EA, tedy přesně určit předmět EA, jeho hranice a požadované podrobnosti. Například zda se týká celého závodu nebo pouze jedné budovy (případně části budovy), zda se zabývat všemi energetickými službami a technickými systémy budovy, nebo zda je pro organizaci klíčové dosáhnout úspor pouze v některých oblastech. Podrobnost EA určuje čas ES strávený na místě, požadavky na měření, úroveň modelování a požadované schopnosti ES. Všechny tyto aspekty mají v důsledku vliv na náročnost EA, a tedy i na jeho cenu.

[13] V některých bodech nastává nesoulad mezi pokyny těchto norem s vyhláškou podrobně rozebranou v předešlé kapitole. V těchto případech je třeba upřednostnit vyhlášku, která je právně závazná.
[14] ČSN EN 16247-2 – *Energetické audity – Část 2: Budovy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, listopad 2014, str. 19

2.2.2. Zahajovací jednání

Během zahajovacího jednání je ES povinen organizaci požádat aby:

- Přidělila personál za účelem asistence. Tyto osoby musí být kompetentní, aby mohli provádět přímé operace v procesech, a tím pomáhali naplňovat cíle EA.
- Sdělila informace o širším strategickém programu jako jsou například plánované projekty pro rozšíření výroby nebo pro údržbu budov.
- Zajistila limity žádaných hodnot a provozní limity podmínek vnitřního prostředí (např. teploty, osvětlení, hluk, proudění vzduchu).
- Představila modely obývání budovy podle činností v rámci budovy
- Předala komentáře od uživatelů budov nebo jiných stran týkající se provozní náročnosti budovy a úrovně služeb spojených s jejím provozem.

2.2.3. Sběr dat

Sběr dat odpovídá předmětu EA specifikovanému při úvodním jednání. ES si od organizace vyžádá detailní charakteristiky auditovaného objektu, seznam systémů, procesů a zařízení, která užívají energii, a historická data o spotřebě energie. Dále požádá o provozní historii, aby se seznámil s minulými událostmi, které mohou mít vliv na spotřebu energie v období sběru dat, o předchozí energetické audity či jiné studie a stávající i plánovaný sazebník.

ES následně posoudí poskytnuté informace vzhledem k dohodnutému rozsahu a hranicím EA, zda jsou informace dostatečné, zda umožňují pokračování v procesu EA a zda byly hranice při úvodním kontaktu vhodně stanoveny. Pokud některé údaje chybí, domluví se ES s organizací na jejich doplnění nebo vynechání, kdy ES bude pracovat s předpoklady.

Na základě získaných dat si ES sestaví předběžnou energetickou bilanci, aby získal představu o rozložení spotřeby energie, a mohl se tak připravit na další sběr dat a měření dat v terénu.

2.2.4. Terénní práce

Cílem terénní práce je provedení prohlídky objektu, který má být předmětem EA a vyhodnocení užití energie na základě cíle, rozsahu a podrobnosti EA. ES by měl pochopit provoz společnosti, chování uživatelů a jejich dopad na spotřebu energie a účinnost, a sestavit seznam oblastí a procesů s dalšími měřitelnými údaji potřebnými pro pozdější analýzy.

ES dále musí zajistit, aby byla měření prováděna spolehlivým způsobem za podmínek odpovídajících normálnímu provozu. (Pokud nelze považovat měření za prospěšnější například během odstávky). Pokud je to třeba, zažádá si ES o určení doprovodu během návštěvy. Doprovod musí mít oprávnění pro zasahování do řízení procesů a zařízení a musí umožnit instalaci zařízení monitorující potřebné údaje pro určení spotřeby energie. Pokud by během terénních prací došlo k jakýmkoliv neočekávaným potížím, je povinností ES o situaci neprodleně informovat organizaci.

2.2.5. Analýza

Na základě informací získaných sběrem dat, obhlídkou prostor předmětu auditu a měřením zhodnotí ES současný stav předmětu. Veškeré potřebné výpočty musí být náležitě zdokumentovány, aby byly transparentní. Důležité je vzít při hodnocení v úvahu všechny regulační nebo jiné dohodnuté programy či omezení, které by ovlivnily příležitosti ke snížení energetické náročnosti, a proměnné, které ovlivňují nejistotu měření, a jejich podíl na konečných výsledcích.

Energetická náročnost současného stavu se používá jako referenční. Vůči ní se vztahují všechna navržená opatření, a proto musí popis současného stavu zahrnovat podrobné informace, jako jsou:

- Členění spotřeby energie podle účelu použití a zdrojů
- Energetické toky a energetické bilance auditovaného objektu
- Diagram energetické náročnosti

Na základě informací o energetické náročnosti současného stavu předmětu navrhne ES opatření pro její zlepšení. Mohou to být opatření týkající se pláště budovy, systému vytápění a ventilace, systému osvětlení a další. Za jmenované skupiny lze uvést několik typických opatření:

- Zlepšení hodnot měrného součinitele prostupu tepla
- Zlepšení vzduchotěsnosti
- Snížení počtu tepelných mostů

- Zónování podle užití
- Vyhnout se vytápění v letní sezóně nebo současnému vytápění a chlazení
- Použití čerpadel s plynulou regulací výkonu
- Izolace potrubí
- Proudění vzduchu a řízení teploty
- Rekuperace tepla

- Výměna svítidel za svítidla s vyšším měrným výkonem
- Správné nastavení úrovní osvětlenosti
- Ovládání osvětlení na základě provozních časových režimů
- Zlepšení využití denního světla

2.2.6. Zpráva a závěrečné jednání

ES ze získaných informací sestaví zprávu, jejíž podoba byla specifikována v předešlé kapitole. Tuto zprávu předá organizaci a odprezentuje výsledky energetického auditu.

2.3. Osvětlovací soustavy

Jak již bylo zmíněno v úvodu této práce, osvětlovací soustavy se řadí do skupiny spotřebičů s potenciálem na návrh opatření, která mají obvykle velmi krátkou reálnou dobu návratnosti T_{sd}. Přesto nejsou tato opatření doporučována v takové míře, jak by se dalo předpokládat. Pokud by to tak bylo, byly by dnes ve většině průmyslových podniků instalovány energeticky úsporné osvětlovací soustavy. Důvodem může být složitější návrh osvětlovací soustavy, kdy musí být brán ohled na hygienické limity osvětlení. Autor této práce se proto rozhodl zpracovat stručný základ pro návrh osvětlovací soustavy a její energetické hodnocení.

Osvětlovací soustava (OS) je skupina zařízení sloužících k vytvoření kvalitního světelného prostředí. Sestává ze světelného zdroje, svítidla a příslušenství pro zajištění napájení a ovládání. Na základě světelného zdroje se osvětlovací soustavy rozdělují na soustavy denního osvětlení, umělého osvětlení a sdruženého osvětlení, které je vlastně částečným doplněním denního osvětlení o nedostatečných parametrech osvětlením umělým.

2.3.1. Členění osvětlovacích soustav umělého osvětlení

Osvětlovací soustavy umělého osvětlení lze rozdělit na základě třech kritérií.

1) Podle zdroje proudu a provozního účelu

Dle tohoto kritéria se soustavy umělého osvětlení dělí na normální (hlavní nebo pomocné) a nouzové. Hlavní osvětlení vytváří vhodné světelné prostředí, pomocné je určeno pro činnosti související s údržbou a kontrolami a osvětlení nouzové zajišťuje osvětlení v případě výpadku zdroje napájení hlavního osvětlení. Z toho důvodu má nouzové osvětlení vlastní nezávislý zdroj.

2) Podle prostorového rozložení světelného toku

V případě, že je veškerý světelný tok vyzařován do dolního poloprostoru, jde o přímou osvětlovací soustavu. Jedná se o nejpoužívanější typ osvětlovací soustavy, zejména díky nejnižší energetické náročnosti v porovnání se zbývajícími osvětlovacími soustavami.

Jejím opakem je nepřímá osvětlovací soustava, ta vyzařuje veškerý světelný tok do horního poloprostoru. Z hlediska energetické náročnosti jde o nejméně efektivní způsob osvětlování. Využívá se jen zřídka ve speciálních aplikacích a často bývá pro dosažení

požadovaných parametrů doplňované přímou OS. Výhodou této OS je absence rizika oslnění, protože veškeré světlo dopadající do dolního poloprostoru je již odražené.

Je-li soustava složena ze světelných zdrojů vyzařujících do obou poloprostorů, pak se jedná o smíšenou osvětlovací soustavu. Tato soustava kombinuje výhody i nevýhody předešlých dvou soustav.

3) Podle rozložení světelně technických veličin

Světelná soustava zajišťující rovnoměrné rozložení požadované osvětlenosti v celém prostoru se nazývá celková. Nevýhodou celkového osvětlení je skutečnost, že požadovaná osvětlenost je dána činností, která vyžaduje největší zrakový výkon, a tedy potřebuje nejlepší parametry osvětlení. Celkové osvětlení je tedy investičně a energeticky nákladnější oproti dalším variantám. Výhodou je variabilita při požadavku na přeuspořádání pracovišť v prostoru.

Naproti tomu odstupňované osvětlení vyžaduje znalost charakteru provozu, rozmístění jednotlivých stanovišť a zda jsou předpokládány změny do budoucna. Prostor je totiž rozdělen do zón podle požadavku na osvětlenost, takže každá část osvětlovací soustavy je navržena přesně na daný úkol. Z toho tedy plyne, že takováto osvětlovací soustava je méně energeticky náročná, ale návrh je složitější a nelze dělat jednoduše změny v uspořádání výroby.

Je-li celkové nebo odstupňované osvětlení doplněno o místní osvětlení, pak se soustava nazývá kombinovaná. Tento typ osvětlení nalezne uplatnění v aplikacích, kde je vysoký požadavek na osvětlení v místě zrakového úkolu a bylo by finančně nákladné zajistit toto osvětlení v celém prostoru. Celkové nebo odstupňované osvětlení pak zajišťuje minimální osvětlenost a rovnoměrnost rozložení v prostoru viz podkapitola 2.3.2. Tento způsob osvětlení je energeticky nejméně náročný a zároveň umožňuje individuální nastavení směrových vlastností a světelně technických parametrů světelného zdroje v místě zrakového úkolu.

2.3.2. Požadavky na osvětlení

Světlo je ve své podstatě viditelné elektromagnetické záření zhodnocené okem pozorovatele a pro člověka má zásadní význam při zpracování informací o prostředí, v němž se právě nachází. Není-li kvalita osvětlení odpovídající vzhledem k zrakovému výkonu dochází k zrakové nepohodě, která se může projevit únavou, bolestmi hlavy a může dokonce vést až k ohrožení bezpečnosti osob.

Parametry pro hodnocení kvality osvětlení vnitřních prostor včetně jejich doporučených hodnot definuje norma ČSN EN 12464-1 – Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory (dále jen „norma ČSN EN 12464-1“). Těmito sledovanými parametry jsou mimo jiné udržovaná osvětlenost $\overline{E}_m$ [lx], jednotný systém hodnocení oslnění UGR [-], rovnoměrnost osvětlení místa zrakového úkolu U_o [-] a index podání barev R_a [-].

Osvětlenost

Osvětlenost E [lx] neboli intenzita osvětlení je plošná hustota světelného toku Φ [lm] vyzařovaného zdrojem světla. Osvětlenost a její rozložení v místě zrakového úkolu a jeho bezprostředním okolí rozhodují o tom, jak rychle a bezpečně osoba vykonává zrakový úkol. Její hodnocení se provádí podle normy ČSN EN 12464-1, kde je definována takzvaná udržovaná osvětlenost $\overline{E}_m$, což je vlastně hodnota průměrné osvětlenosti v okamžiku, kdy má být provedena údržba. Pod tuto hodnotu nesmí osvětlenost poklesnout. Více o údržbě osvětlovacích soustav je v podkapitole 2.3.3.

Předepsané udržované osvětlenosti jsou závislé na vykonávaném zrakovém úkolu a jsou značně odlišné. Jako příklad lze uvést, že pro výrobu šperků je $\overline{E}_m$= 1000 lx, ale třeba pro čekárny pouze 200 lx. (Což je zároveň minimální hodnota udržované osvětlenosti v prostorech, kde se lidé zdržují delší dobu.) Tyto hodnoty mohou být zvýšeny nebo sníženy o jeden stupeň na základě zvláštních okolností uvedených v normě. Hodnoty jednotlivých stupňů řady $\overline{E}_m$ v luxech jsou:

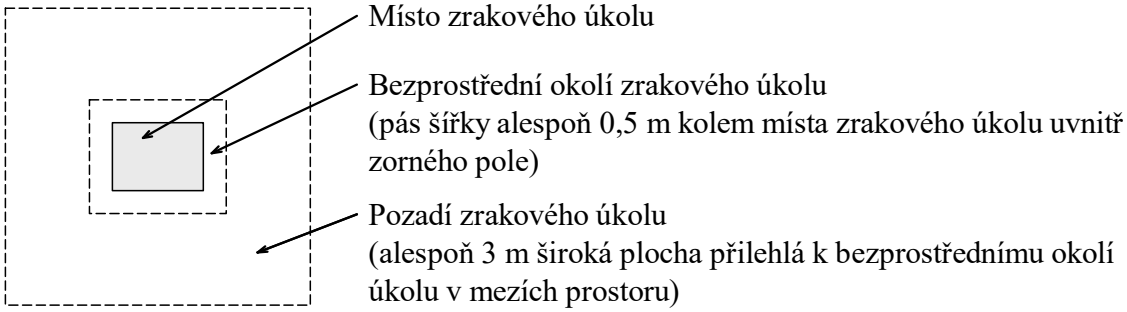
20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 750 – 1 000 – 1 500 – 2 000 – 3000 – 5000.

Hodnoty osvětlenosti se určují na vodorovné srovnávací rovině, která bývá nejčastěji 0,75 m. (Odpovídá výšce pracovní plochy.) V některých případech může být srovnávací rovina i kolmá, tomu je tak například ve skladu při osvětlování regálů. Pro posouzení, zda osvětlenost splňuje předepsanou hodnotu, je nutné vytvoření sítě kontrolních bodů.

Ta by měla být ideálně čtvercová, přičemž rozměry buňky závisí na velikosti plochy, ale rozhodně by neměly být větší než desetina delší strany hodnocené plochy. Rozteč kontrolních bodu se nesmí shodovat s roztečí svítidel.

Ve všech uzavřených prostorech je zároveň požadavek na udržovanou osvětlenost hlavních povrchů a to $\overline{E}_m > 50$ lx pro stěny a $\overline{E}_m > 30$ lx pro strop.

Na obrázku níže je ilustrován význam pojmů zrakový úkol, jeho bezprostřední okolí a pozadí. V tabulce 2.9 jsou předepsané hodnoty osvětlenosti okolí podle osvětlenosti místa zrakového úkolu.



Obr. 2.2: Vymezení prostorových oblastí v rámci zorného pole pozorovatele[15]

Osvětlenost místa zrakového úkolu $\overline{E}_{m,ú}$ [lx]	Osvětlenost bezprostředního okolí úkolu $\overline{E}_{m,bo}$ [lx]	Osvětlenost pozadí úkolu $\overline{E}_{m,p}$ [lx]
≥750	500	1/3 $\overline{E}_{m,bo}$
500	300	
300	200	
200	150	
150	$\overline{E}_{m,ú}$	
100	$\overline{E}_{m,ú}$	
≤50	$\overline{E}_{m,ú}$	

Tab. 2.9: Osvětlenost bezprostředního okolí úkolu[16]

[15] Vlastní zpracování, zdroj: ČSN EN 12464-1 – *Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, březen 2012, str. 12.
[16] HABEL, Jiří. Světlo a osvětlování. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3, str. 318.

Oslnění

Oslnění je nežádoucí stav, který může zásadně ovlivnit zrakový výkon a zrakovou pohodu pracovníka. Příčinou oslnění je vystavení oka vyššímu jasu, než na který je v dané chvíli adaptováno. Zdroji oslnění tak mohou být buď zdroje světla, pak se jedná o přímé oslnění, nebo lesklé plochy a předměty od kterých se světlo odráží, pak jde o nepřímé oslnění, které se dále dělí na oslnění odrazem a závojový odraz.

Míra přímého oslnění je hodnocena jednotným systémem hodnocení oslnění UGR. Mezní hodnoty UGR se označují UGR_L a tvoří tuto řadu: 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28 [-].

Pro nepřímé oslnění je problematika popisu značně složitá. Z toho důvodu se pro zamezení jeho vzniku vymezuje tzv. zakázaná oblast, ve které není možné umisťovat svítidla s přímou složkou vyzařování světelného toku. Dalšími způsoby pro omezení nepřímého oslnění je používání předmětu a ploch s matnou povrchovou úpravou, použití svítidel s nižším povrchovým jasem, nebo použití nepřímých svítidel.[17]

Rovnoměrnost osvětlení

Rovnoměrnost osvětlení je definována jako minimální osvětlenost v kontrolním bodě ku průměrné osvětlenosti. Norma ČSN EN 12464-1 stanovuje minimální hodnoty U_o [-] pro bezprostřední okolí úkolu $U_o \geq 0{,}40$ [-] a pozadí úkolu $U_o \geq 0{,}10$ [-], čímž se zajistí, že nebudou části místnosti přesvětlené a části tmavé. Se zajištěním dostatečné rovnoměrnosti osvětlenosti souvisí nejen počet světelných zdrojů, jejich výkon a vyzařovací charakteristiky, ale i odraznost hlavních ploch prostoru. Ty se totiž stávají sekundárními světelnými zdroji se značně difúzním charakterem vyzařování.

Podání barev

Pro posouzení kvality podání barev slouží index podání barev R_a. Na základě jeho velikosti lze posoudit, jak věrné jsou barvy objektů v daném světelném prostředí. Maximální hodnota R_a je 100 [-] a obecně platí, že podání barev lze považovat za věrné pro hodnoty $R_a \geq 90$ [-]. Nejmenší přípustnou hodnotou je 20 [-] a odpovídá prostorám jako jsou podzemní tunely či sklepy. (Při této hodnotě je zajištěna rozlišitelnost bezpečnostních barev.)

[17] HABEL, Jiří. Světlo a osvětlování. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3, str. 320.

Podání barev úzce souvisí s barevným tónem světla, který je vyjadřován pomocí teploty chromatičnosti. Volba barevného tónu je záležitostí estetiky a psychologie a volí se v závislosti na úrovni osvětlení, barvě předmětů v místnosti a oblasti použití. Norma barevný tón nestanovuje, pouze doporučuje hodnoty na základě hladiny osvětlenosti.

2.3.3. Údržba osvětlovacích soustav

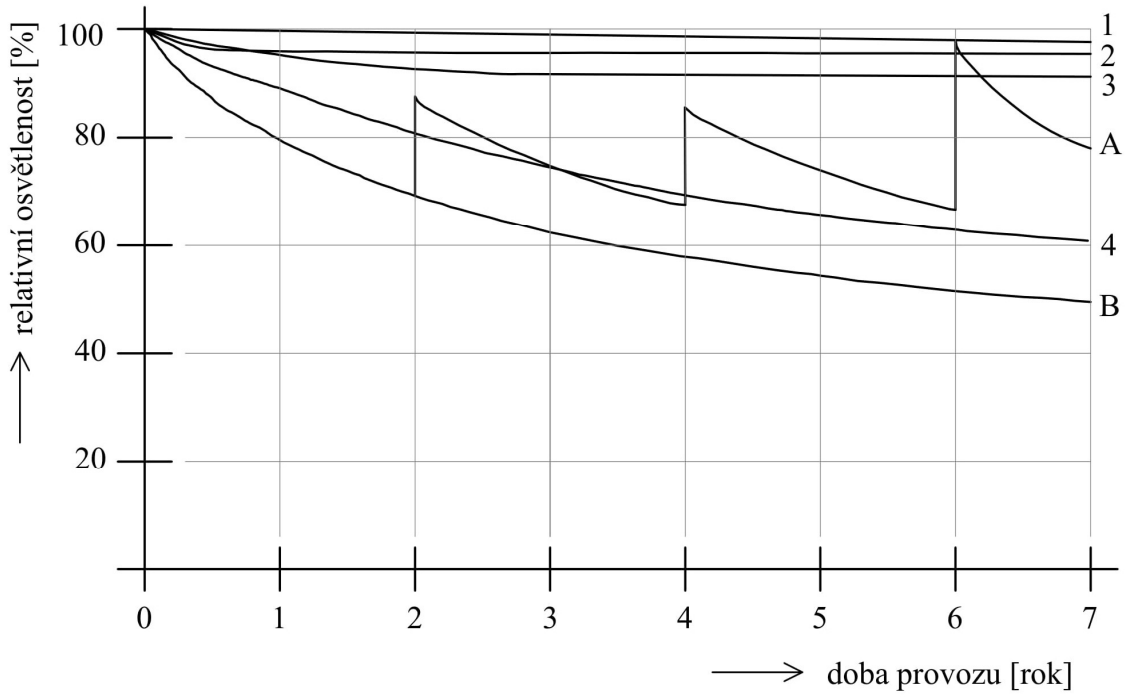
OS v průběhu svého života postupně ztrácejí své původní vlastnosti, což se projevuje zejména snižováním osvětlenosti v prostoru. S touto skutečností je třeba uvažovat hned při návrhu osvětlovací soustavy a náležitě ji předimenzovat, aby i po několika letech zajišťovala požadovanou hladinu osvětlenosti.

Na obrázku 2.3 je znázorněn průběh relativní osvětlenosti (poměr osvětlenosti ve sledovaném roce ku původní osvětlenosti) neudržované osvětlovací soustavy. Po šesti letech je osvětlenost zhruba poloviční, to znamená, že aby osvětlení v šestém roce splňovalo požadavky na osvětlenost stanovené normou ČSN EN 12464-1, musí být navrhovaná osvětlenost dvojnásobná. Z toho pak plynou i zhruba dvojnásobné investiční náklady a provozní náklady na elektřinu.

Pro snížení potřebného předimenzování se zavádí údržba OS, sestávající z čištění svítidel, výmalby povrchů a výměny světelných zdrojů. Pokles osvětlenosti je totiž z většiny způsoben znečištěním optických částí svítidel, znečištěním povrchů a stárnutím světelných zdrojů. Na obrázku 2.3 je znázorněn průběh relativní osvětlenosti v případě udržované OS (průběh A) a neudržované OS (průběh B). Průběhy 1 až 4 reprezentují pokles světelného toku, z těchto příčin:

- Vlivem nevratných ztrát (průběh č. 1).
- Vlivem znečištění povrchů (průběh č. 2) (RSMF).
- Vlivem stárnutí světelných zdrojů (průběh č. 3) (LLMF).
- Vlivem znečištění a stárnutí optických částí svítidel (průběh č. 4) (LMF).

Z obrázku je vidět, že udržovaná OS uspoří oproti neudržované významnou část investičních a provozních nákladů. (Plán údržby této OS počítá s čištěním svítidel v intervalu dvou let a vymalováním povrchů místnosti spolu s výměnou světelných zdrojů v šestém roce.)



Obr. 2.3: Pokles relativní osvětlenosti a průběh činitelů vratných a nevratných ztrát[18]

Na základě znalosti jednotlivých vlivů na osvětlovací soustavy je možné určit kolikrát menší bude osvětlenost na konci období údržby oproti počáteční osvětlenosti. Koeficient vyjadřující tuto skutečnost se nazývá udržovací činitel MF [-], jehož hodnota se určí na základě informací o prostředí, informací od výrobce svítidel a plánu údržby ze vztahu:

$$MF = LLMF \cdot LSF \cdot LMF \cdot RSMF \qquad [-] \qquad (2.4)$$

kde:

$LLMF$ činitel stárnutí světelných zdrojů [-],

LSF činitel funkční spolehlivosti světelných zdrojů [-],

LMF udržovací činitel svítidel [-],

$RSMF$ udržovací činitel povrchů [-].

[18] Vlastní zpracování. Zdroj: HABEL, Jiří. Světlo a osvětlování. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3, str. 320.

Postup pro stanovení udržovacího činitele dle technické normalizační informace TNI 36 0451 – Údržba osvětlovacích soustav je následující:

Krok 1. Pro daný interiér se zvolí vhodný světelný zdroj (z tabulky 2.2 v normě).

Krok 2. Stanoví se interval skupinové výměny (pokud je účelná).

Krok 3. Pro interval stanovený v kroku 2 se odečtou hodnoty LLMF a LSF (z tabulky 3.2 v normě). Pokud se zvolí skupinová výměna zdrojů, pak se LSF rovná jedné.

Krok 4. Určí se kategorie znečištění interiéru (z tabulky 2.1 v normě).

Krok 5. Stanoví se interval čištění svítidel a povrchů místnosti.

Krok 6. Pro interval stanovený v kroku 5 se odečte hodnota LMF (z tabulky 3.4 v normě).

Krok 7. Pro interval stanovený v kroku 5 se odečte hodnota RSMF (z tabulky 3.6 až 3.8 v normě).

Krok 8. Vypočítá se udržovací činitel MF podle vztahu (2.4).

Jelikož jsou údaje o poklesu světelného toku světelných zdrojů určeny v hodinách provozu a míra znečištění svítidel a povrchů v letech, je třeba všechny činitele převést na stejné časové jednotky. V normě je pro tento účel tabulka typického počtu provozních hodin za rok v závislosti na druhu provozu. Tabulka zároveň zohledňuje, že soustava může být řízena podle denního světla, což se projeví nižším počtem provozních hodin, a tedy delší životností a menší spotřebou.

Aplikační oblast	Charakteristika provozu	Počet provozních hodin	
		Bez řízení podle denního světla	S řízením podle denního světla
Průmysl	Nepřetržitý provoz	8 760	7 300
	Dvě směny, 6 dnů / týden	4 960	3 720
	Jedna směna, 6 dnů / týden	3 100	1 760
	Jedna směna, 5 dnů týden	2 580	1 550
Obchody	6 dnů / týden	3 100	–
Kanceláře	5 dnů / týden	2 580	1 550
Školy	5 dnů / týden	1 900	1 140
Nemocnice	7 dnů / týden	5 840	3 504

Tab. 2.10: Počty provozních hodin podle aplikační oblasti[19]

[19] HABEL, Jiří. Světlo a osvětlování. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3, str. 469.

2.3.4. Určení energetické náročnosti osvětlovacích soustav

Pro hodnocení energetické náročnosti OS se používá parametr LENI (Lighting Energy Numeric Indicator) [kWh·m^{-2}·rok^{-1}]. Způsob výpočtu LENI definuje norma ČSN EN 15193-1 – Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení – Část 1: Specifikace, modul M9 (dále jen „norma ČSN EN 15193-1“) a technická normalizační informace TNI 73 0327 – Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení (dále jen „TNI 73 0327“). Tato a následující kapitola, není-li uvedeno jinak, jsou stručným výtahem z těchto dokumentů.

Tabulka níže specifikuje směrné hodnoty LENI [kWh·m^{-2}·rok^{-1}] pro průmyslový objekt. První sloupec uvádí kvalitativní třídu osvětlení, ta vypovídá o kvalitě světelného prostředí v prostoru. Kvalitativní třídy jsou odlišné podle množství parametrů, které se hodnotí. Prvním krokem pro posuzování měrné spotřeby OS je tedy určení třídy osvětlení, jež má v daném prostoru být. Druhý sloupec uvádí hodnotu měrného výkonu OS P_N [W·m^{-2}].

Kvalitativní třída osvětlení	P_N [W·m^{-2}]	Typ ovládání	Ovládání na konst. osvětlenost	LENI [kWh·m^{-2}·rok^{-1}]
*	10	Ruční	Ne / Ano	43,7 / 39,7
		Automatické	Ne / Ano	41,2 / 37,5
**	20	Ruční	Ne / Ano	83,7 / 75,7
		Automatické	Ne / Ano	78,7 / 71,2
***	30	Ruční	Ne / Ano	123,7 / 111,7
		Automatické	Ne / Ano	116,2 / 105,0

Tab. 2.11: Směrné hodnoty LENI pro průmyslové objekty[20]

LENI je definován jako celková spotřeba elektrické energie vztažená k osvětlované ploše objektu. Pro samotné určení celkové spotřeby lze v zásadě použít dvě metody, metodu rychlou a metodu podrobnou. Pro první přiblížení v rámci energetického auditu je postačující použít rychlou metodu. V případě nevyhovění požadavkům by měla být použita metoda podrobná vyžadující detailnější vstupní informace. Ve spolupráci s projektantem osvětlení poté následuje návrh nové úspornější osvětlovací soustavy.

[20] TNI 73 0327 – *Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, prosinec 2011, str. 29.

Níže je uveden vztah pro výpočet celkové roční spotřeby OS pomocí rychlé metody. Výpočet podrobnou metodou je obdobný, pouze s tím rozdílem, že se spotřeba neurčí přímo za celý objekt, ale vypočítají se spotřeby jednotlivých místností a zón a výsledná spotřeba je pak dána jejich součtem.

$$W = W_L + W_P \qquad [\text{kWh·rok}^{-1}] \qquad (2.5)$$

$$W_L = \frac{(P_n \cdot F_c) \cdot [(t_D \cdot F_O \cdot F_D) + (t_N \cdot F_O)]}{1000} \qquad [\text{kWh·rok}^{-1}] \qquad (2.6)$$

$$W_P = \frac{P_{pc} \cdot [t_y - (t_D + t_N)] + P_{em} \cdot t_{em}}{1000} \qquad [\text{kWh·rok}^{-1}] \qquad (2.7)$$

kde:

W	celková roční spotřeba elektrické energie na osvětlení [kWh·rok^{-1}]
W_L	roční spotřeba elektrické energie na osvětlení [kWh·rok^{-1}]
W_P	roční ztrátová elektrické energie za rok [kWh·rok^{-1}]
t_D	doba provozu s denním světlem [h]
t_N	doba provozu bez denního světla [h]
t_y	standardní roční doba [činí 8760 h]
t_{em}	doba nabíjení nouzového osvětlení [h]
P_n	celkový instalovaný příkon svítidel [W]
P_{pc}	celkový instalovaný ztrátový příkon ovládacích zařízení [W]
P_{em}	celkový instalovaný nabíjecí příkon svítidel nouzového osvětlení [W]
F_D	činitel závislosti na denním světle [-]
F_O	činitel závislosti na obsazení [-]
F_c	činitel konstantní osvětlenosti [-]

Důvod, proč je podrobná metoda významně časově náročnější, spočívá hlavně ve způsobu určení hodnoty činitelů závislosti. Zatímco u rychlé metody lze hodnoty pro celý objekt vyčíst přímo z normy, pro metodu podrobnou je třeba hodnoty vypočítat pro každou místnost a zónu zvlášť.

Činitel závislosti na denním světle F_D

Činitel F_D vypovídá o podílu denního světla na celkové osvětlenosti, jenž lze v hodnoceném objektu zajistit. Jeho velikost se určí ze vztahu:

$$F_D = 1 - (F_{D,S} \cdot F_{D,C}) \quad [-] \quad (2.8)$$

kde:

$F_{D,S}$ činitel přístupu denního světla zohledňující přístup denního světla do místnosti [-]; je závislý na geometrickém uspořádání prostoru a okolí; jeho hodnota se odečte z tabulky v normě na základě průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti D [%],

$F_{D,C}$ činitel ovládání umělého osvětlení; vyjadřuje schopnost řídicího systému využít pronikající denní světlo [-].

Činitel závislosti na obsazení F_O

Činitel F_O udává využití osvětlovací soustavy vzhledem k obsazenosti řešené zóny nebo místnosti. Na základě velikosti činitele nepřítomnosti F_A se činitel F_O určí jedním z těchto vztahů:

$$0{,}0 \leq F_A \leq 0{,}2 \qquad F_O = 1 - \left[(1 - F_{OC}) \cdot \frac{F_A}{0{,}2}\right] \quad [-] \quad (2.9)$$

$$0{,}2 \leq F_A \leq 0{,}9 \qquad F_O = F_{OC} + 0{,}2 - F_A \quad [-] \quad (2.10)$$

$$0{,}9 \leq F_A \leq 1{,}0 \qquad F_O = [7 - (10 \cdot F_{OC})] \cdot (F_A - 1) \quad [-] \quad (2.11)$$

kde:

F_A činitel nepřítomnosti; je definován jako poměr doby, kdy je prostor nevyužíván, a celkové doby [-],

F_{OC} činitel zohledňující způsob ovládání; jeho hodnota se určí z normy [-].

Činitel konstantní osvětlenosti F_C

Osvětlovací soustavy je třeba na začátku života předimenzovat. Důvody jsou popsány v podkapitole 2.3.3. Je-li osvětlovací soustava stmívatelná, může řídicí systém snížit počáteční světelný tok tak, aby splňoval požadavek na udržovanou osvětlenost a s postupným stárnutím osvětlovací soustavy ji na této hodnotě udržovat zvyšováním příkonu svítidel.

Vztah pro určení činitele F_C:

$$F_C = \frac{1 + MF}{2} \quad [-] \qquad (2.12)$$

kde:

MF udržovací činitel [-].

2.3.5. Úsporná opatření v osvětlovacích soustavách

Úsporná opatření vycházejí z obecného vztahu, že spotřebovaná energie je součin příkonu a doby trvání odběru. Spotřebu osvětlovací soustavy lze tedy omezit snížením jejího příkonu (změna osvětlovací soustavy, změna technických prostředků, kontrola dimenzování soustavy) nebo zkrácením doby, kdy je v provozu (využití denního světla, kontrola přítomnosti osob).

Změna osvětlovací soustavy

Toto opatření zahrnuje výměnu stávající soustavy za soustavu jiného typu, například celkovou za odstupňovanou. Může totiž nastat situace, že osvětlovací soustava byla naprojektována na určitý provoz místnosti a ten se během let změnil. Například může nyní být v místnosti vykonávána činnost s menší zrakovou zátěží, nebo je využita pouze část místnosti. Světelně technické parametry jsou splněny, ale provoz takové soustavy je nadále energeticky nehospodárný.

Změna technických prostředků

V průmyslových objektech jsou dnes stále ve velké míře nainstalovány lineární zářivky, většinou s průměrem 26 mm (T8) a elektromagnetickým předřadníkem. Měrný výkon[21] η [$lm \cdot W^{-1}$] takovýchto svítidel se zpravidla pohybuje v rozmezí 50 až 95 $lm \cdot W^{-1}$.[22] Jako náhrady za lineární zářivky je v poslední době stále více využíváno LED světelných trubic, které je možné osadit přímo na místo lineární zářivky a které mají η v rozmezí 90 až 160 $lm \cdot W^{-1}$ v závislosti na příkonu zdroje.[23] Výhodou je nízká cena výměny a významné snížení příkonu OS. Druhou možností je instalace nových kompletních LED svítidel,

[21] Měrný výkon udává účinnost přeměny elektrického výkonu na světelný tok.
[22] SEVEn, The Energy Efficiency Center, z.ú. Náhrady lineárních zářivek LED trubicemi z pohledu energetických specialistů [online]. Program EFEKT 2, 2018 [cit. 2021-3-25]. Dostupné z: https://www.svn.cz/cs/aktualita/nahrady-linearnich-zarivek-led-trubicemi-z-pohledu-energetickych-specialistu, str 8.
[23] Tamtéž, str 8.

zde je ovšem třeba počítat s vyšší pořizovací cenou. U zastaralé OS je to ale často jediná realizovatelná možnost s ohledem na vytváření vhodného světelného prostředí.

Kontrola dimenzování osvětlovací soustavy

Toto opatření je realizovatelné pouze v případě stmívatelných svítidel. Opatření spočívá v postupném navyšování příkonu svítidla během jeho života podle toho, jak klesá jeho vyzařovací výkon. Tím se kompenzuje potřebné předimenzování soustavy z důvodu stárnutí soustavy, takže místnost není po instalaci nové soustavy zbytečně přesvětlená a tím se šetří energie.

Využití denního světla

Zajištění dostatečného pronikání denního světla do místnosti je stanoveno normou ČSN 73 0580-4 – Denní osvětlení budov – Část 4: Denní osvětlení průmyslových budov. Pro hodnocení úrovně denního osvětlení se používá činitel denní osvětlenosti D [%], jehož hodnota je závislá na prováděném zrakovém úkolu. Z hlediska snížení spotřeby elektrické energie je využívání denního světla klíčové, protože je ze své podstaty zdarma. Klíčové je pro maximální využití pravidelné čištění průsvitných ploch a spínání osvětlovací soustavy umělého osvětlené pouze při poklesu hodnoty osvětlenosti pod stanovenou mez. To lze zajistit zodpovědným přístupem pracovníků, nebo lépe pomocí řídicího systému, který aktuální hodnotu osvětlenosti hlídá. Ten může v závislosti na použitém typu svítidla buď soustavu zapínat a vypínat, nebo v případě stmívatelného zdroje plynule vyzařovaný světelný tok měnit.

Kontrola přítomnosti osob

Smyslem tohoto opatření je soustavu zhasínat v případě, že osvětlovaná místnost není po určitou dobu využívána. Pro kontrolu přítomnosti osob jsou využívána pohybová čidla. V průmyslu nachází toto opatření uplatnění zejména ve skladovacích prostorách. Nevýhodou je častější spínání svítidel, což může pro některé typy světelných zdrojů znamenat významné zkrácení jejich životnosti.

3.PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část této práce sestává z pěti kroků:

1. Popis stávajícího stavu vybrané části energetického hospodářství
2. Vyhodnocení stávajícího stavu vybrané části energetického hospodářství
3. Návrh energeticky úsporných opatření
4. Energetické a ekonomické vyhodnocení
5. Závěrečné doporučení

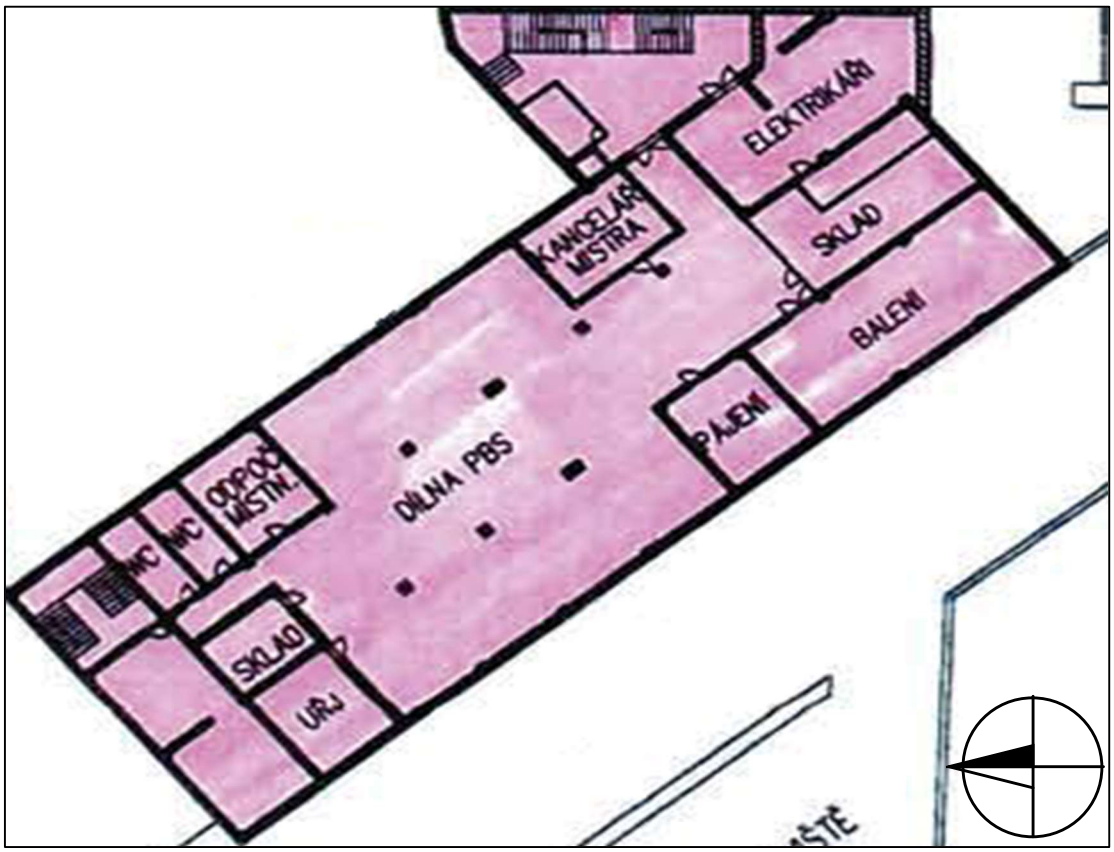
Společnost, pro níž je zpracováno hodnocení vybrané části energetického hospodářství, se převážně zabývá výrobou kovových nádob, sestává ze dvou divizí a zaměstnává průměrně 280 pracovníků.[24]

Jako energetické hospodářství, které autor v rámci praktické části zhodnotil, byla vybrána osvětlovací soustava (OS) z důvodu značného potenciálu pro snižování energetické náročnosti objektu viz kapitola 2.3. Dalším faktem, hrajícím ve prospěch OS je absence tohoto opatření v předešlém auditu z roku 2016, který dostal autor k dispozici.[25] Z něho totiž vyplývá, že standardní navrhovaná opatření nejsou za daných podmínek rentabilní a není tak třeba je znovu posuzovat, když se podmínky výrazněji nezměnily.

Vzhledem k rozloze osvětlovací soustavy v tomto výrobním podniku, bylo energetické hospodářství omezeno na jeho vybranou část, konkrétně místnosti „Dílna PBS“ a „Balení“ nacházející se ve třetím patře administrativní budovy divize B. Omezení bylo provedeno s ohledem na doporučený rozsah bakalářské práce a neexistenci projektové dokumentace pro OS, což vedlo k ručním měřením autorem a zjišťování charakteru pracovišť v místnostech.

Pro získání celkové představy o rozloze a orientaci podniku jsou v přílohách č. 1 a č. 2 uvedeny situační výkresy obou divizí. Detailnější pohled na část, ve které se nachází řešené místnosti, je zobrazen na následující stránce

[24] V bakalářské práci není záměrně uveden název společnosti, aby mohla být práce volně dostupná a zároveň neodkrývala jinak nedostupné informace.
[25] KLEIN, Vít. *Energetický audit společnosti XXXX a.s.* Ústí nad Labem, 2016. Není ze zákonných důvodů volně dostupné. (Po domluvě s autorem byl název publikace z části anonymizován.)



Obr. 3.1: Situace řešených místností[26]

3.1. Popis stávajícího stavu

Obě řešené místnosti (místnosti „Dílna PBS“ a „Balení“) se nachází ve třetím patře administrativní budovy divize B. Z hlediska přístupu denního světla jde o vhodné umístění, jelikož v blízkém okolí se nevyskytují objekty, jež by mohly stínit.

[26] KLEIN, Vít. *Energetický audit společnosti XXXX a.s.* Ústí nad Labem, 2016. Není ze zákonných důvodů volně dostupné. (Po domluvě s autorem byl název publikace z části anonymizován), str. 10.

3.1.1. Místnost „Dílna PBS“

Přístup denního světla zajišťuje 25 oken o celkové průsvitné ploše 44 m^2, která jsou z poloviny orientována jihozápadně a nedochází zde k venkovnímu stínění. Druhá polovina je orientována severovýchodně. Parapet okna se nachází ve výšce 1,2 m. V místnosti nejsou instalovány průsvitné stropní konstrukce ani světlovody. Osvětlovaná plocha místnosti činí 420 m^2.

OS umělého osvětlení sestává z 62 zářivkových svítidel zavěšených ve výšce 3,2 m nad zemí, přičemž výška stropu je 3,5 m. Svítidla jsou tvořena dvojicí lineárních zářivek o příkonu 2 × 36 W s elektromagnetický předřadníkem, jehož konkrétní typ není znám. Pro tyto případy předepisuje norma ČSN EN 15193-1 na straně 53 vynásobit příkon trubice koeficientem 1,2 [-]. Dále uvažovaný příkon svítidla je tedy 86,4 W, a příkon celé OS se tak blíží hodnotě 5,36 kW.

Z pohledu rozložení světelně technických veličin se jedná o celkovou soustavu doplněnou ve dvou místech s náročnějšími zrakovými úkoly o místní osvětlení. (To je tvořeno stolními lampami, které nebudou pro další výpočty uvažovány.) Skupina 14 svítidel ovládaných z jednoho místa a zbývající svítidla jsou jednotlivě ovládána přímo v místě zrakového úkolu.

OS není vybavena řídicím systémem (ŘS), čidla pro kontrolu přítomnosti osob a hladiny osvětlenosti nejsou instalována. V místnosti není instalováno nouzové osvětlení.

V místnosti je převážně vykonávána činnost „Hrubé a střední strojní opracování: tolerance ≥ 0,1 mm“. Na dvou pracovištích v místnosti je prováděna zrakově náročnější činnost spadající do skupiny „Jemné strojní opracování, broušení: tolerance < 0,1 mm”. Požadované hodnoty sledovaných parametrů dle normy ČSN EN 12464-1 jsou pro obě kategorie činností uvedeny v tabulce níže.

$\bar{E}_m$ [lx]	UGR_L [-]	U_o [-]	R_a [-]
300	22	0,6	80
500	19	0,7	80

Tab. 3.1: Požadavky na osvětlení místnosti „Dílna PBS“[27]

[27] ČSN EN 12464-1 – *Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, březen 2012, str 26.

3.1.2. Místnost „Balení“

Přístup denního světla zajišťuje deset oken o celkové průsvitné ploše 17 m^2, přičemž osm oken je orientovaných jihozápadně a dvě jsou orientována na jihovýchod. Výška parapetu těchto oken je 1,2 m. V místnosti nejsou instalovány průsvitné stropní konstrukce ani světlovody. Osvětlovaná plocha místnosti činí 90 m^2.

OS umělého osvětlení tvoří 13 zářivkových svítidel zavěšených ve výšce 3,2 m nad zemí, přičemž výška stropu je 3,5 m. Svítidla jsou tvořena dvojicí lineárních zářivek o příkonu 2 × 36 W s elektromagnetickým předřadníkem neznámého typu. Dále je uvažováno s příkonem svítidla *P* 86,4 W, a výsledný příkon celé OS tak odpovídá hodnotě 1,123 kW.

Z pohledu rozložení světelně technických veličin jde o celkovou osvětlovací soustavu, která je ovládána z jednoho místa.

OS není vybavena centrálním ŘS, čidla pro kontrolu přítomnosti osob a hladiny osvětlenosti nejsou instalována. V místnosti není instalováno nouzové osvětlení.

Způsob využívání místnosti ji řadí do kategorie „Expedice a balírny“. Dle normy ČSN EN 12464-1 musí osvětlení splňovat hodnoty sledovaných parametrů uvedených v tabulce 3.2.

$\bar{E}_m$ [lx]	UGR_L [-]	U_o [-]	R_a [-]
300	25	0,6	60

Tab. 3.2: Požadavky na osvětlení místnosti „Balení“[28]

3.2. Vyhodnocení stávajícího stavu

Stávající OS byla hodnocena ze dvou hledisek:

- OS vytváří vhodné světelné prostředí pro vykonávané zrakové úkoly.
- Roční spotřeba elektřiny OS odpovídá dnešním hodnotám.

[28] ČSN EN 12464-1 – *Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, březen 2012, str 21.

3.2.1. Kvalita osvětlení

Pro posouzení kvality osvětlení byla orientačně změřena osvětlenost $\overline{E}_m$ [lx] v místě pracovních úkolů. Použitým měřicím přístrojem je luxmetr Mavolux 5032 B od společnosti GOSSEN Foto- und Lichtmesstechnik GmbH, SRN. Platnost kalibrace přístroje je do 11.03.2022.

V tabulkách 3.3 a 3.4 jsou uvedeny naměřené hodnoty osvětlenosti. Červeně vyznačená jsou pracoviště, u nichž byla změřená hodnota osvětlenosti nižší, než je požadovaná dle normy ČSN EN 12464-1 pro daný zrakový úkol.

Dílna BPS		
Název pracoviště	Změřená $\overline{E}_m$ [lx]	Požadovaná $\overline{E}_m$ [lx]
Broušení	500	500
Pracovní stůl č. 1	616	500
Pracovní stůl č. 2	379	300
Pracovní stůl č. 3	379	300
Pracovní stůl č. 4	458	300
Pracovní stůl č. 5	458	300
Pracovní stůl č. 6	429	300
Pracovní stůl č. 7	429	300
Stojanová vrtačka č. 1	346	300
Stojanová vrtačka č. 2	274	300
Stojanová vrtačka č. 3	338	300
Stojanová vrtačka č. 4	314	300
Stojanová vrtačka č. 5	290	300
Stojanová vrtačka č. 6	213	300
Stojanová vrtačka č. 7	303	300
Stojanová vrtačka č. 8	391	300
Stojanová vrtačka č. 9	327	300
Stojanová vrtačka č. 10	330	300
Stojanová vrtačka č. 11	337	300
Stojanová vrtačka č. 12	307	300
Stojanová vrtačka č. 13	275	300
Stojanová vrtačka č. 14	290	300
Stojanová vrtačka č. 15	330	300

Tab. 3.3: Orientační měření osvětlenosti – Dílna PBS[29]

[29] Vytvořeno autorem na základě provedených měření.

Balení		
Název pracoviště	Změřená $\overline{E}_m$ [lx]	Požadovaná $\overline{E}_m$ [lx]
Nůžky č. 1	404	300
Nůžky č. 2	363	300
Odkládací stůl č. 1	389	300
Odkládací stůl č. 2	352	300
Odkládací stůl č. 3	304	300
Tvarování blistrových fólií č.1	136	300
Tvarování blistrových fólií č.2	227	300

Tab. 3.4: Orientační měření osvětlenosti – Balení[30]

Porovnáním změřených hodnot udržované osvětlenosti $\overline{E}_m$ [lx] s požadovanými hodnotami vychází, že OS je vzhledem ke svému stáří v dobrém stavu a až na výjimky zajišťuje požadovanou osvětlenost. Před vyslovením závěru, že OS je třeba obnovit z důvodu nezajištění dostatečné osvětlenosti, je třeba vzít v potaz, že změřené hodnoty nejsou průměrnou hodnotou osvětlenosti v místě zrakového úkolu, ale že se jedná o hodnoty získané jedním změřením. Pro první přiblížení je tento postup dostatečný. Pro návrh výměny OS na základě nevyhovění hygienickým požadavkům je třeba provést provozní měření dle normy ČSN 36 0011-1 – Měření osvětlení prostorů – Část 1: Základní ustanovení a normy ČSN 36 0011-1 – Měření osvětlení prostorů – Část 3: Měření umělého osvětlení vnitřních prostorů, kde je již nutné zvolit síť kontrolních bodů a měřit i napájecí napětí OS.

3.2.2. Celková roční spotřeba

Celková roční spotřeba byla vypočtena dle vztahů 2.5 až 2.7 uvedených v podkapitole 2.3.4. Potřebné vstupní údaje pro výpočet byly určeny z TNI 73 0327 na základě informací uvedených v podkapitole 3.1. Pro určení činitele závislosti na denním světle bylo třeba určit činitel denní osvětlenosti D [%]. Ten nebyl měřen, ale určen výpočtem na základě zjištěných informací o rozměrech, orientaci, umístění a okolí objektu pomocí výpočetního programu DIALux evo 9.2 od společnosti DIAL GmbH, SRN (dále jen „DIALux“).[31]

[30] Vytvořeno autorem na základě provedených měření.
[31] DIAL GmbH, SRN. *DIALux evo 9.2* [software]. 26. března 2021 [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: https://www.dialux.com/en-GB/.

V tabulce níže jsou uvedeny veškeré hodnoty potřebné pro výpočet spolu s vypočtenými hodnotami celkové roční spotřeby W [kWh] a ukazatele LENI [kWh·m^{-2}·rok^{-1}] pro obě místnosti. Na konci tabulky jsou výsledné hodnoty W [kWh] a LENI [kWh·m^{-2}·rok^{-1}], jenž byly určeny váženým průměrem z hodnot pro jednotlivé místnosti.

Stávající stav							
Název místnosti			Užitná plocha [m^2]		Výška stropu [m]		D [%]
Dílna PBS			420		3,5		1,36
Typ svítidla			Výška zavěšení [m]		Počet svítidel [ks]		P [W]
2 × lin. zářivka T8; elmag. předřadník			3,2		62		86,4
$F_{D,S}$ [-]	$F_{D,C}$ [-]	F_D [-]	F_A [-]	F_{OC} [-]	F_O [-]	MF [-]	F_C [-]
0,66	0,2	0,87	0	1	1	-	1
t_d [h]	t_n [h]	P_n [W]	$W_{p,a}$ [kWh·m^{-2}·rok^{-1}]			W_L [kWh]	W [kWh]
2 500	1 500	5 357	0			19 659	19 659

$LENI_{sub}$ [kWh·m^{-2}·rok^{-1}]	46,81

Název místnosti			Užitná plocha [m^2]		Výška stropu [m]		D [%]
Balení			90		3,5		1,78
Typ svítidla			Výška zavěšení [m]		Počet svítidel [ks]		P [W]
2 × lin. zářivka T8; elmag. předřadník			3,2		13		86,4
$F_{D,S}$ [-]	$F_{D,C}$ [-]	F_D [-]	F_A [-]	F_{OC} [-]	F_O [-]	MF [-]	F_C [-]
0,66	0,2	0,87	0	1	1	-	1
t_d [h]	t_n [h]	P_n [W]	$W_{p,a}$ [kWh·m^{-2}·rok^{-1}]			W_L [kWh]	W [kWh]
2 500	1 500	1 123	0			4 122	4 122

$LENI_{sub2}$ [kWh·m^{-2}·rok^{-1}]	45,80

LENI [kWh·m^{-2}·rok^{-1}]	46,63
W [kWh]	23 782

Tab. 3.5: Výpočet ukazatele LENI: Stávající stav[32]

Význam jednotlivých veličin a parametrů mimo $W_{p,a}$ [kWh·m^{-2}·rok^{-1}] je popsán na straně 28 této práce. $W_{p,a}$ [kWh·m^{-2}·rok^{-1}] je měrná roční ztrátová spotřeba, která se

[32] Vytvořeno autorem, parametry byly určeny na základě charakteru provozu místnosti z: TNI 73 0327 – *Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, prosinec 2011.

používá v případě neznámého ztrátového výkonu. Její velikost se volí na základě přítomnosti nouzového osvětlení [1 kWh·m^{-2}·rok^{-1}] a řídicího systému [1,5 kWh·m^{-2}·rok^{-1}]. Jelikož zde není implementován ani řídicí systém ani nouzové osvětlení, je v tabulce uvedena hodnota 0 kWh·m^{-2}·rok^{-1}.

Z dnešního pohledu je v místnostech použit nevhodný typ svítidla kvůli jeho nízkému měrnému výkonu η [lm·W^{-1}]. V místnosti tak musí být instalováno více svítidel o větších jednotlivých příkonech, než by tomu bylo v případě použití LED svítidla či svítidla s moderní lineární zářivkou a úsporným elektronickým předřadníkem.

V tabulce není z důvodu neexistence projektové dokumentace pro OS vyplněn udržovací činitel MF [-]. Vzhledem k absenci řídicího systému však nemá tento fakt vliv na vypočtené hodnoty.

Výsledná hodnota ukazatele LENI odpovídá 46,63 kWh·m^{-2}·rok^{-1}. Tato hodnota je jen nepatrně vyšší než směrná hodnota pro průmyslový objekt ve třídě osvětlení * [43,7 kWh·m^{-2}·rok^{-1}], kam spadají i posuzované místnosti. Tuto hodnotu specifikuje dokument TNI 73 0327 na straně 29. Je třeba ale připomenout, že nová svítidla dosahují stále vyšších hodnot η [lm·W^{-1}], a není tak problém snížit ukazatel LENI v této kategorii k hodnotě 20 kWh·m^{-2}·rok^{-1}.

Lze tedy konstatovat, že stávající OS má potenciál pro dosažení úspory spotřeby elektrické energie, a proto jsou na dalších stránkách navržena opatření pro naplnění tohoto potenciálu.

3.3. Návrh opatření

Vzhledem k povaze OS posuzovaných místností se nabízí několik opatření, a sice záměna technických prostředků (změna světelného zdroje), kontrola dimenzování osvětlovací soustavy a využití denního světla. V případě změny světelného zdroje je vzhledem ke stáří svítidel vhodnější výměna celého svítidla. Další dvě opatření jsou založena na principu sledování hladiny osvětlenosti, a proto jsou zahrnuta ve společném opatření „Implementace ŘS.“

3.3.1. Výměna svítidel

Výměna svítidel spočívá v náhradě zastaralých svítidel vybavených dvojicí lineárních zářivek s elektromagnetickým předřadníkem za moderní LED svítidlo řady HEFRON s označením „15 7k0 840“ od společnosti ELEKTRO–LUMEN, s.r.o. Toto svítidlo je svými rozměry a tvarem velmi podobné stávajícím svítidlům. Lze tak využít stávající nosné konstrukce pro instalaci nových svítidel a tím zjednodušit výměnu. Možnost využití stávajícího elektrorozvodu není uvažována z důvodu jeho potřebných úprav kvůli snížení počtu svítidel a z důvodu jeho neznámého stáří a stavu. Nové rozvody budou provedeny kabelem CYKY-J 5 × 1,5 a uloženy v elektroinstalační tuhé trubce o vnějším průměru 16 mm. Typ osvětlovací soustavy z hlediska rozložení světelně technických veličin zůstane zachován.

Veškeré světelně technické výpočty potřebné pro návrh nové OS byly provedeny ve výpočetním programu DIALux na základě zadaných informací o použitém svítidle a prostředí, v němž bude OS nainstalována. Pro přiblížení se skutečnému charakteru prostředí byly objekty v modelu rozmístěny na základě jejich polohy zaměřené při jedné z prohlídek. Výstupy z programu jsou uvedeny v příloze „Příloha 3: Výstupy z programu DIALux evo 9.2“.

Na další straně v tabulce 3.6 je uvedena celková roční spotřeba elektřiny W [kWh] s ukazatelem LENI [$kWh \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$] pro jednotlivé místnosti a parametry potřebné pro jejich výpočet. Tyto parametry jsou z většiny shodné s parametry stávajícího stavu, jelikož opatření neobsahuje řídicí systém, změnu využívání prostoru ani úpravu stavební konstrukce. Nově je zde doplněn udržovací činitel MF [-], vypočtený dle vztahu 2.4 na základě hodnot z tabulky 3.7. Z důvodu absence řídicího systému ovšem nemá na W [kWh] ani LENI [$kWh \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$] vliv a je zde spíše pro úplnost tabulky. Významnou změnou ve vstupních údajích je ovšem snížení příkonu jednotlivých svítidel na 51 W, oproti původním 86,4 W, a snížení počtu instalovaných svítidel v obou místnostech ze 75 kusů na 53. Tyto dvě skutečnosti vedly ke snížení celkového instalovaného příkonu osvětlovací soustavy z hodnoty 6 430 W na hodnotu 2 703 W, tedy o 58 %.

Ve spodní části tabulky jsou celkové hodnoty W [kWh] a LENI [$kWh \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$] a změna jejich absolutních hodnot v porovnáním se stávajícím stavem. Hodnota LENI 19,45 $kWh \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$ odpovídá velikostí dnešním moderním OS.

Výměna svítidel							
Název místnosti			Užitná plocha [m^2]		Výška stropu [m]		D [%]
Dílna PBS			420		3,5		1,36
Typ svítidla			Výška zavěšení [m]		Počet svítidel [ks]		P [W]
LED svítidlo HEFRON			3,2		43		51
$F_{D,S}$ [-]	$F_{D,C}$ [-]	F_D [-]	F_A [-]	F_{OC} [-]	F_O [-]	MF [-]	F_C [-]
0,66	0,2	0,87	0	1	1	0,45	1
t_d [h]	t_n [h]	P_n [W]	$W_{p,a}$ [kWh·m^{-2}·rok^{-1}]			W_L [kWh]	W [kWh]
2500	1500	2193	0			8 048	8 048

$LENI_{sub1}$ [kWh·m^{-2}·rok^{-1}]	19,16

Název místnosti			Užitná plocha [m^2]		Výška stropu [m]		D [%]
Balení			90		3,5		1,78
Typ svítidla			Výška zavěšení [m]		Počet svítidel [ks]		P [W]
LED svítidlo HEFRON			3,2		10		51
$F_{D,S}$ [-]	$F_{D,C}$ [-]	F_D [-]	F_A [-]	F_{OC} [-]	F_O [-]	MF [-]	F_C [-]
0,66	0,2	0,87	0	1	1	0,45	1
t_d [h]	t_n [h]	P_n [W]	$W_{p,a}$ [kWh·m^{-2}·rok^{-1}]			W_L [kWh]	W [kWh]
2500	1500	510	0			1 872	1 872

$LENI_{sub2}$ [kWh·m^{-2}·rok^{-1}]	20,80

		Změna
LENI [kWh·m^{-2}·rok^{-1}]	19,45	-27,18
W [kWh]	9 920	-13 862

Tab.3.6: Návrh opatření: Výměna svítidel[33]

Výpočet MF [-]									
Typ svítidla	t [r]	t_s [r]	t_p [r]	Prostředí	LLMF [-]	LSF [-]	LMF [-]	RSMF [-]	MF [-]
E. LED	18	3	6	Normální	0,7	1	0,84	0,77	0,45

Tab. 3.7: Výpočet udržovacího činitele MF[34]

[33] Vytvořeno autorem, parametry byly určeny na základě charakteru provozu místnosti z: TNI 73 0327 – *Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, prosinec 2011.

[34] Vytvořeno autorem na základě informací o svítidle a charakteru provozu místnosti z: TNI 36 0451 – *Údržba vnitřních osvětlovacích soustav*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, červenec 2006.

Označení typu svítidla písmenem značí, že se jedná o svítidlo s krytím alespoň IP 5X. Veličina t je deklarovaná životnost svítidla výrobcem, t_s a t_p jsou navržené intervaly čištění svítidel a povrchů. Význam ostatních parametrů je vysvětlen na straně 25.

3.3.2. Implementace ŘS

Cílem tohoto opatření je větší využití denního světla a eliminace předimenzování osvětlovací soustavy. Obojího lze dosáhnout pomocí snímání hladiny osvětlenosti v prostoru a jejím udržování na požadované hodnotě. To vyžaduje instalaci senzorů osvětlenosti, vybavení rozvaděče o řídicí systém (ŘS), použití svítidel umožňující inteligentní řízení a vytvoření komunikace mezi senzory, ŘS a svítidly. Svítidla navržená v rámci předchozího opatření toto v základní variantě neumí, ale z komunikace s výrobcem svítidel vyplynulo, že ve svítidlech je pro toto rozšíření prostor a za poplatek je tak realizovatelné. Toto opatření je ve své podstatě rozšířením předchozího opatření o ŘS.

Na další straně v tabulce 3.8 jsou vypočtené hodnoty celkové roční spotřeby W [kWh] a ukazatele LENI [$kWh \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$]. Vstupní parametry jsou zde již odlišné oproti stávajícímu stavu ve více bodech vlivem řízení OS. Těmito body jsou oproti předchozímu opatření snížení činitele závislosti na denním světle F_D [-] a zahrnutí udržovacího činitele MF [-] do výpočtu činitele konstantní osvětlenosti F_C [-].

Výsledkem je tak další výrazné snížení W [kWh] a LENI [$kWh \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$]. Hodnota LENI tohoto opatření odpovídá 12,14 $kWh \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$.

Implementace ŘS							
Název místnosti			Užitná plocha [m^2]		Výška stropu [m]		D [%]
Dílna PBS			420		3,5		1,36
Typ svítidla			Výška zavěšení [m]		Počet svítidel [ks]		P [W]
LED svítidlo HEFRON			3,2		43		51
$F_{D,S}$ [-]	$F_{D,C}$ [-]	F_D [-]	F_A [-]	F_{OC} [-]	F_O [-]	MF [-]	F_C [-]
0,66	0,75	0,51	0	1	1	0,45	0,73
t_d [h]	t_n [h]	P_n [W]	$W_{p,a}$ [kWh·m^{-2}·rok^{-1}]			W_L [kWh]	W [kWh]
2500	1500	2193	1,5			4 401	5 031

$LENI_{sub1}$ [kWh·m^{-2}·rok^{-1}]	11,98

Název místnosti			Užitná plocha [m^2]		Výška stropu [m]		D [%]
Balení			90		3,5		1,78
Typ svítidla			Výška zavěšení [m]		Počet svítidel [ks]		P [W]
LED svítidlo HEFRON			3,2		10		51
$F_{D,S}$ [-]	$F_{D,C}$ [-]	F_D [-]	F_A [-]	F_{OC} [-]	F_O [-]	MF [-]	F_C [-]
0,66	0,75	0,51	0	1	1	0,45	0,73
t_d [h]	t_n [h]	P_n [W]	$W_{p,a}$ [kWh·m^{-2}·rok^{-1}]			W_L [kWh]	W [kWh]
2500	1500	510	1,5			1 023	1 158

$LENI_{sub2}$ [kWh·m^{-2}·rok^{-1}]	12,87

		Změna
LENI [kWh·m^{-2}·rok^{-1}]	12,14	-34,50
W [kWh]	6 189	-17 593

Tab. 3.8: Návrh opatření: Implementace ŘS[35]

[35] Vytvořeno autorem, parametry byly určeny na základě charakteru provozu místnosti z: TNI 73 0327 – *Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, prosinec 2011.

3.4. Ekonomické vyhodnocení

V ekonomickém vyhodnocení je posouzena ekonomická efektivita navrhovaných opatření. Pro posouzení jsou použita hodnotící kritéria předepsána vyhláškou č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku, ve znění pozdějších předpisů, tedy čistá současná hodnota (NPV), vnitřní výnosové procento (IRR) a reálná doba návratnosti (T_{sd}). Pro všechna hodnocení je počítáno s diskontem 5 % a nulovým meziročním růstem cen energií. Všechny ceny jsou uváděny bez daně z přidané hodnoty (DPH).

Nad rámec pokynů vyhlášky byla provedena citlivostní analýza pro všechna hodnotící kritéria v závislosti na velikosti investičních výdajích (INV) a meziročním růstu ceny elektřiny pro vytvoření představy, jak se ekonomická výhodnost opatření změní při odlišných okrajových podmínkách.

3.4.1. Výměna svítidel

Navrhovaná osvětlovací soustava pro obě místnosti sestává z 53 LED svítidel řady HEFRON s označením „15 7k0 840“ od společnosti ELEKTRO–LUMEN, s.r.o. Ceník svítidel není veřejný, jeho poskytnutí je na vyžádání. Na základě písemné komunikace s panem Bruštíkem, zaměstnancem této společnosti, byla sdělena projektová cena za tento typ svítidla 1 183 Kč. Cena za materiál pro nový elektrorozvod je uvažována 30 Kč·m^{-1}. Doba potřebná na demontáž stávajících svítidel a vytvoření nových rozvodů byla odhadnuta na 60 hodin, doba na instalaci jednoho svítidla je zhruba jedna hodina. Časová rezerva v případě komplikací byla uvažována 10 %. Účtovaná hodinová sazba montéra byla stanovena na 350 Kč. Pro OS bude třeba nechat zpracovat projekt autorizovanou osobou a realizovaná soustava bude muset projít revizí. Tyto položky byly naceněny částkami 20 000 Kč a 12 000 Kč. Celkové investiční výdaje činí 142 100 Kč. Cenu jednotlivých položek a výsledné investiční výdaje shrnuje tabulka 3.9 na další straně.

Roční peněžní toky (CF), které opatření přinese byly určeny na základě vypočtené úspory roční spotřeby energie a ceně elektřiny z roku 2020. V rámci základního vyhodnocení opatření nebylo uvažováno s růstem cen elektřiny. Vliv růstu ceny elektřiny je ilustrován citlivostní analýzou v tabulkách 3.10 až 3.12.

Výsledky ekonomického hodnocení spolu se vstupními údaji jsou uvedeny v tabulce 3.10. Doba hodnocení byla zvolena 18 let, což odpovídá deklarované životnosti svítidla výrobcem při podmínkách současného provozu OS. Při ceně elektřiny 2,5 Kč vychází čistá současná hodnota (NPV) 142,1 tis. Kč, vnitřní výnosové procento (IRR) 23,9 % a reálná doba návratnosti (T_{sd}) 4,7 let. Dle těchto výsledků lze opatření doporučit.

Cena svítidla [Kč]	1 183,0
Počet [ks]	53,0
Jednotková cena nového elektrorozvodu [Kč·m^{-1}]	30,0
Délka nového elektrorozvodu [m]	130,0
Čas potřebný pro demontáž stávajících svítidel [h]	60,0
Čas potřebný instalaci nového svítidla [h·ks^{-1}]	1,0
Časová rezerva [%]	10,0
Hodinová sazba pracovníka [Kč]	350,0
Cena za projekt [Kč]	20 000,0
Cena za revizi [Kč]	12 000,0
Celkové investiční výdaje [tis. Kč]	142,1

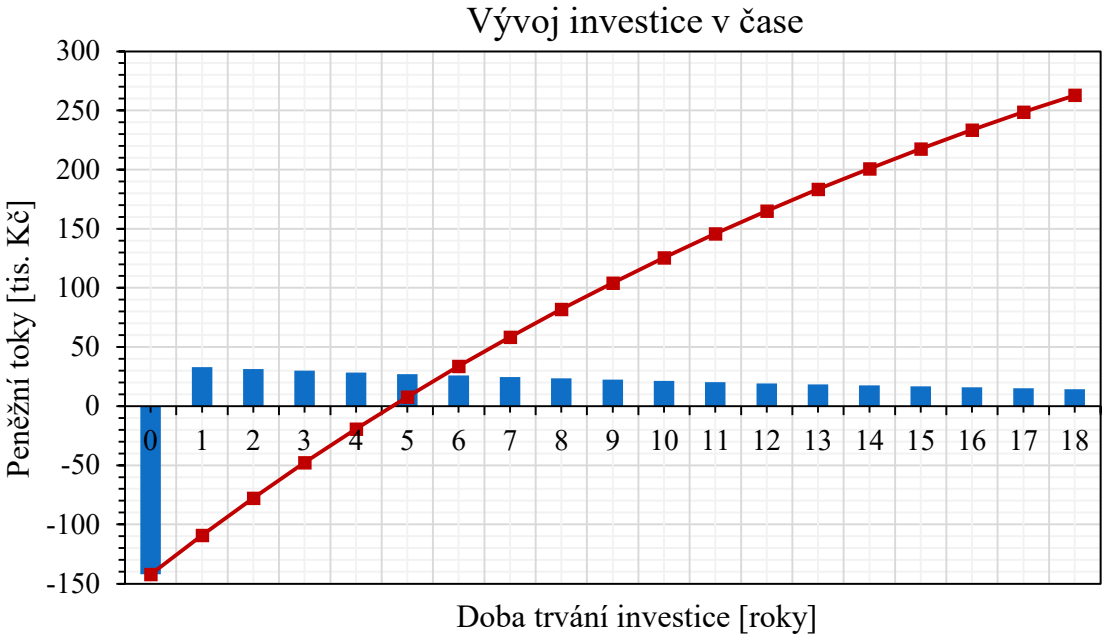
Tab. 3.9: „Výměna svítidel“ – Výpočet celkových investičních výdajů[36]

Cena elektřiny v roce 2020 [Kč/kWh]	2,5
Meziroční růst ceny elektřiny [%]	0,0
Úspora celkové roční spotřeby elektřiny [kWh]	13 861,6
Diskontní míra [%]	5,0
Doba hodnocení [rok]	18,0
Nediskontovaný CF v 1. roce [tis. Kč]	34,7
Diskontovaný CF v 1. roce [tis. Kč]	33,0
Diskontovaný CF v 18. roce [tis. Kč]	14,4
NPV [tis. Kč]	263,0
IRR [%]	23,9
T_{sd} [rok]	4,7

Tab. 3.10: „Výměna svítidel“ – Ekonomické vyhodnocení[37]

[36] Vytvořeno autorem.
[37] Vytvořeno autorem.

Na obrázku níže je zachycen vývoj investice v čase. Modrý sloupcový graf vyjadřuje diskontované CF v jednotlivých letech. Výdaje na údržbu OS nejsou uvažovány, jelikož údržba musela být prováděna i u stávající OS. Zohlednění údržby by hrálo ve prospěch navrženého opatření z důvodu snazší údržby LED svítidel.[38] Červený spojnicový graf ukazuje vývoj kumulovaného diskontovaného CF v průběhu let. Z tohoto průběhu jsou vidět dva významné parametry, a sice T_{sd} (průnik křivky s osou „Doba trvání investice“) a NPV (poslední bod křivky).



Obr. 3.2: „Výměna svítidel“ – Vývoj investice v čase[39]

Na další straně je provedena citlivostní analýza pro všechny tři sledované ukazatele (NPV, IRR, T_{sd}) v závislosti na proměnných investičních výdajích (INV) a meziročním růstu ceny elektřiny. Citlivostní analýza podává informaci o vlivu okrajových podmínek na výsledky ekonomického hodnocení. Tyto dva vstupní ukazatele byly zvoleny z důvodu možné odchylky skutečné situace od situace uvažované. Hodnoty v tabulce jsou pro snazší orientaci barevně odlišeny. (Zeleně jsou vyznačeny nejvyšší hodnoty, červená odpovídá krajnímu případu, kdy lze opatření ještě doporučit, žlutě je vyznačeno 50 % tohoto intervalu.) Z uvedených tabulek vyplývá, že i při nejnepříznivějším uvažovaném scénáři (zvýšení INV o 75 % a meziroční pokles ceny elektřiny o 1 %) lze opatření stále doporučit k realizaci.

[38] SEVEn, The Energy Efficiency Center, z.ú. *Náhrady lineárních zářivek LED trubicemi z pohledu energetických specialistů* [online]. Program EFEKT 2, 2018 [cit. 2021-3-25]. Dostupné z: https://www.svn.cz/cs/aktualita/nahrady-linearnich-zarivek-led-trubicemi-z-pohledu-energetickych-specialistu, str. 17

[39] Vytvořeno autorem.

Citlivostní analýza NPV [tis. Kč]

		Meziroční růst ceny elektřiny [%]								
		-1,0	-0,5	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
INV [tis. Kč]	125	252	266	280	295	311	327	345	363	382
	150	227	241	255	270	286	302	320	338	357
	175	202	216	230	245	261	277	295	313	332
	200	177	191	205	220	236	252	270	288	307
	225	152	166	180	195	211	227	245	263	282
	250	127	141	155	170	186	202	220	238	257

Tab. 3.11: „Výměna svítidel“ – Citlivostní analýza NPV[40]

Citlivostní analýza IRR [%]

		Meziroční růst ceny elektřiny [%]								
		-1,0	-0,5	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
INV [tis. Kč]	125	26,4	26,9	27,4	27,9	28,4	28,8	29,3	29,8	30,3
	150	21,5	22,0	22,5	23,0	23,5	24,0	24,5	24,9	25,4
	175	18,0	18,4	18,9	19,4	19,9	20,4	20,9	21,4	21,8
	200	15,2	15,7	16,2	16,6	17,1	17,6	18,1	18,6	19,0
	225	13,0	13,4	13,9	14,4	14,9	15,4	15,8	16,3	16,8
	250	11,1	11,6	12,1	12,6	13,0	13,5	14,0	14,5	14,9

Tab. 3.12: „Výměna svítidel“ – Citlivostní analýza IRR[41]

Citlivostní analýza T_{sd} [roky]

		Meziroční růst ceny elektřiny [%]								
		-1,0	-0,5	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
INV [tis. Kč]	125	4,15	4,11	4,08	4,04	4,01	3,98	3,95	3,92	3,89
	150	5,11	5,05	5,00	4,95	4,90	4,85	4,80	4,75	4,71
	175	6,14	6,05	5,97	5,89	5,81	5,74	5,67	5,60	5,54
	200	7,23	7,10	6,98	6,87	6,76	6,66	6,56	6,47	6,38
	225	8,40	8,22	8,05	7,89	7,75	7,61	7,48	7,35	7,23
	250	9,65	9,40	9,17	8,96	8,77	8,59	8,42	8,26	8,10

Tab. 3.13: „Výměna svítidel“ – Citlivostní analýza T_{sd}[42]

[40] Vytvořeno autorem.
[41] Vytvořeno autorem.

3.4.2. Implementace ŘS

V rámci tohoto opatření dojde k navýšení INV oproti předchozí variantě o cenu řídicího systému (ŘS), senzorů, rozšíření elektrorozvodu o dva vodiče pro komunikaci ŘS. Dalším výdajem je úprava LED svítidla pro možnost řízení pomocí DALI. Projektová cena takového svítidla je 1 833,0 Kč. Rozpis pro určení INV je uveden v tabulce 3.14. Položka „Vybavení rozvaděče o ŘS“ zahrnuje i cenu potřebných senzorů. Cena byla stanovena na základě telefonické komunikace s panem Švanhalem ze společnosti COMLUX Břeclav s.r.o., který má mimo jiné na starost nabídky pro řízení osvětlovacích soustav.

Výsledky ekonomického hodnocení spolu se vstupními údaji jsou uvedeny v tabulce 3.15 na další straně. Doba hodnocení byla zvolena 18 let, aby byla shodná z dobou hodnocení z předchozího bodu (NPV nelze používat pro hodnocení investic s rozdílnou dobou posuzování.). Z hodnot v tabulce i z obrázku 3.3, na kterém je znázorněn vývoj investice v čase, jsou patrné výrazně vyšší INV a delší doba T_{sd} oproti předchozímu opatření. V případě hodnocení podle NPV ovšem vychází lépe toto opatření. S přihlédnutím k faktu, že vlivem ŘS se sníží počet nasvícených hodin za rok, a tím se prodlouží životnost OS v letech, se výhodnost tohoto opatření ještě zvýrazní.

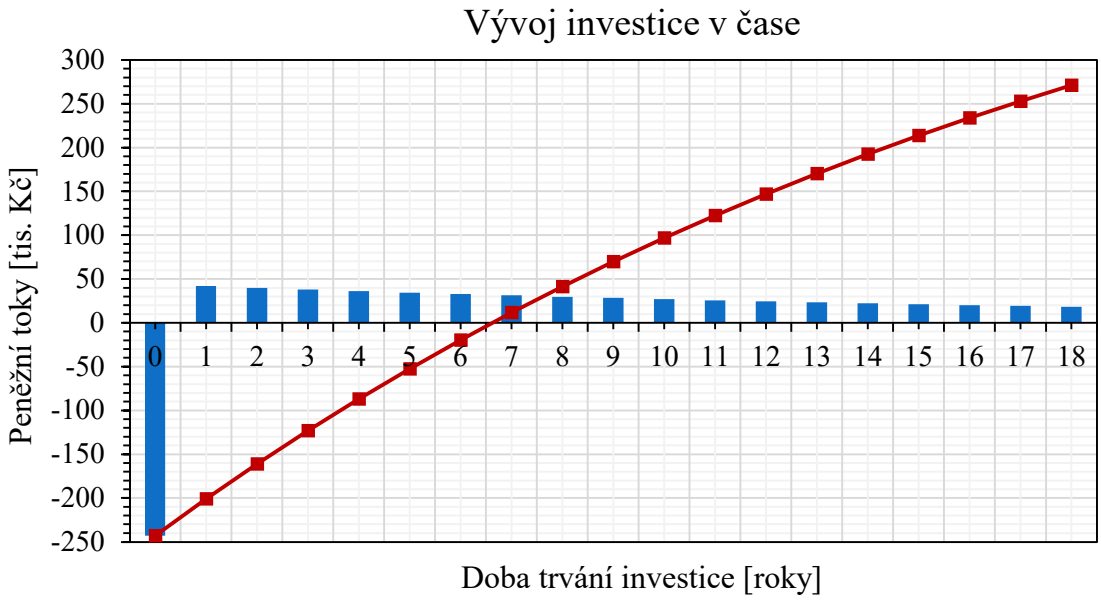
Cena svítidla [Kč]	1 833,0
Počet [ks]	53,0
Cena nového elektrorozvodu [Kč·m^{-1}]	40,0
Délka nového elektrorozvodu [m]	130,0
Čas potřebný pro demontáž stávajících svítidel [h]	60,0
Čas potřebný instalaci nového svítidla [h·ks^{-1}]	1,1
Časová rezerva [%]	10,0
Hodinová sazba pracovníka [Kč]	350,0
Vybavení rozvaděče o ŘS [Kč]	50 000,0
Cena za projekt [Kč]	30 000,0
Cena za revizi [Kč]	15 000,0
Celkové investiční výdaje [tis. Kč]	242,9

Tab. 3.14: „Implementace ŘS“ – Výpočet celkových investičních výdajů[43]

[42] Vytvořeno autorem.
[43] Vytvořeno autorem.

Cena elektřiny v roce 2020 [Kč/kWh]	2,5
Meziroční růst ceny elektřiny [%]	0,0
Úspora celkové roční spotřeby elektřiny [kWh]	17 592,7
Diskontní míra [%]	5,0
Doba hodnocení [rok]	18,0
Nediskontovaný CF v 1. roce [tis. Kč]	44,0
Diskontovaný CF v 1. roce [tis. Kč]	41,9
Diskontovaný CF v 18. roce [tis. Kč]	18,3
NPV [tis. Kč]	271,2
IRR [%]	17,0
T_{sd} [rok]	6,6

Tab. 3.15: „Implementace ŘS“ – Ekonomické vyhodnocení[44]



Obr. 3.3: „Implementace ŘS“ – Vývoj investice v čase[45]

Na další straně je provedena citlivostní analýza pro všechny tři sledované ukazatele (NPV, IRR, T_{sd}) v závislosti na proměnných investičních výdajích (INV) a meziročním růstu ceny elektřiny. Hodnoty v tabulce jsou pro snazší orientaci barevně odlišeny. (Zeleně jsou vyznačeny nejvyšší hodnoty, červená odpovídá krajnímu případu, kdy lze opatření ještě doporučit, žlutě je vyznačeno 50 % tohoto intervalu.) Z uvedených tabulek vyplývá, že při nejnepříznivějším uvažovaném scénáři (zvýšení INV o 75 % a meziroční pokles ceny elektřiny o 1 %) lze opatření ještě doporučit

[44] Vytvořeno autorem.
[45] Vytvořeno autorem.

Citlivostní analýza NPV [tis. Kč]

		Meziroční růst ceny elektřiny [%]								
		-1,0	-0,5	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
INV [tis. Kč]	175	304	321	339	358	378	399	421	444	468
	225	254	271	289	308	328	349	371	394	418
	275	204	221	239	258	278	299	321	344	368
	325	154	171	189	208	228	249	271	294	318
	375	104	121	139	158	178	199	221	244	268
	425	54	71	89	108	128	149	171	194	218

Tab. 3.16: „Implementace ŘS“ – Citlivostní analýza NPV[46]

Citlivostní analýza IRR [tis. Kč]

		Meziroční růst ceny elektřiny [%]								
		-1,0	-0,5	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
INV [tis. Kč]	175	23,7	24,2	24,7	25,1	25,6	26,1	26,6	27,1	27,6
	225	17,7	18,2	18,6	19,1	19,6	20,1	20,6	21,1	21,6
	275	13,7	14,1	14,6	15,1	15,6	16,1	16,5	17,0	17,5
	325	10,7	11,2	11,7	12,2	12,6	13,1	13,6	14,1	14,5
	375	8,5	8,9	9,4	9,9	10,3	10,8	11,3	11,8	12,2
	425	6,6	7,1	7,6	8,0	8,5	9,0	9,4	9,9	10,4

Tab. 3.17: „Implementace ŘS“ – Citlivostní analýza IRR[47]

Citlivostní analýza T_{sd} [tis. Kč]

		Meziroční růst ceny elektřiny [%]								
		-1,0	-0,5	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
INV [tis. Kč]	175	4,64	4,60	4,55	4,51	4,47	4,43	4,39	4,35	4,31
	225	6,24	6,14	6,06	5,97	5,90	5,82	5,75	5,68	5,61
	275	7,99	7,84	7,69	7,55	7,42	7,29	7,17	7,05	6,95
	325	9,96	9,70	9,46	9,23	9,02	8,83	8,65	8,48	8,32
	375	12,18	11,77	11,39	11,05	10,74	10,46	10,19	9,95	9,72
	425	14,74	14,09	13,53	13,03	12,58	12,18	11,81	11,48	11,17

Tab. 3.18: „Implementace ŘS“ – Citlivostní analýza T_{sd}[48]

[46] Vytvořeno autorem.
[47] Vytvořeno autorem.
[48] Vytvořeno autorem.

3.5. Ekologické vyhodnocení

V ekologickém vyhodnocení je posuzováno snížení emisí znečišťujících látek vlivem úspory energie díky navrženým opatřením. Výpočet emisí se rozděluje dle povahy uvažované látky na výpočet emisí oxidu uhličitého a výpočet emisí znečišťujících látek.

Pro elektřinu v případě výpočtu emisí oxidu uhličitého platí konstanta 281 $kg \cdot GJ^{-1}$.[49]

Pro výpočet znečišťující látek se použije tabulka 3.19.

Znečišťující látka	NH_3	VOC	CO	NO_x	SO_2	TZL	$PM_{2,5}$
Emisní faktor [$kg \cdot MWh^{-1}$]	0	0,00249	0,08621	0,56764	0,84124	0,03680	0,02208

Tab. 3.19: Množství znečišťujících látek na jednotku elektrické energie[50]

3.5.1. Výměna svítidel

V tabulce níže je srovnání emisí znečišťujících látek pro stávající stav a stav navrhovaný po realizaci opatření „Výměna svítidel“. Je zřejmé, že snížení emisí realizací tohoto opatření je významné. Úspora emisí plynoucí z realizace opatření je uvedena v posledním sloupci.

	Stávající stav	Navrhovaný stav	Úspora
W [$MWh \cdot rok^{-1}$]	23,782	9,920	13,862
CO_2 [$t \cdot rok^{-1}$]	24,057	10,035	14,022
NH_3 [$kg \cdot rok^{-1}$]	0,000	0,000	0,000
VOC [$kg \cdot rok^{-1}$]	0,059	0,025	0,035
CO [$kg \cdot rok^{-1}$]	2,050	0,855	1,195
NO_x [$kg \cdot rok^{-1}$]	13,499	5,631	7,868
SO_2 [$kg \cdot rok^{-1}$]	20,006	8,345	11,661
TZL [$kg \cdot rok^{-1}$]	0,875	0,365	0,510
$PM_{2,5}$ [$kg \cdot rok^{-1}$]	0,525	0,219	0,306

Tab. 3.20: „Výměna svítidel – Výpočet emisí[51]

[49] Vyhláška č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku, ve znění pozdějších předpisů, příloha č. 6. část II. A.
[50] Tamtéž.
[51] Vytvořeno autorem

3.5.2. Implementace ŘS

V tabulce níže je srovnání emisí znečišťujících látek pro stávající stav a stav navrhovaný po realizaci opatření „Implementace ŘS“. Z podstaty opatření musí být úspora emisí znečišťujících látek větší než v případě realizace předchozího opatření. Roční úspora emisí plynoucí z realizace opatření je uvedena v posledním sloupci.

	Stávající stav	Navrhovaný stav	Úspora
W [MWh·rok^{-1}]	23,782	6,189	17,593
CO_2 [t·rok^{-1}]	24,057	6,261	17,797
NH_3 [kg·rok^{-1}]	0,000	0,000	0,000
VOC [kg·rok^{-1}]	0,059	0,015	0,044
CO [kg·rok^{-1}]	2,050	0,534	1,517
NO_x [kg·rok^{-1}]	13,499	3,513	9,986
SO_2 [kg·rok^{-1}]	20,006	5,206	14,800
TZL [kg·rok^{-1}]	0,875	0,228	0,647
$PM_{2,5}$ [kg·rok^{-1}]	0,525	0,137	0,388

Tab. 3.21: „Implementace ŘS“ – Výpočet emisí[52]

3.6. Závěrečné doporučení

Osvětlovací soustava v řešených místnostech má významně vyšší roční spotřebu elektřiny, než mají dnešní moderní osvětlovací soustavy. Byla proto navržena dvě technicky proveditelná opatření, u nichž bylo provedeno ekonomicko-ekologické posouzení. Obě opatření přinesou významnou energetickou i finanční úsporu, přičemž větších úspor se dosáhne při realizaci opatření „Implementace ŘS“.

Doporučením autora této práce je proto realizace opatření „Implementace ŘS“.

Toto opatření spočívá ve výměně stávající osvětlovací soustavy sestávající ze svítidel vybavených dvojicí lineárních zářivek s elektromagnetickým předřadníkem za moderní LED svítidla o vyšším měrném výkonu η [lm·W^{-1}], která je možné ovládat řídicím systémem. Uvažovaný řídící systém sleduje hodnotu osvětlenosti a udržuje ji na požadované hodnotě. Tím se dosáhne vyššího využití denního světla a zároveň se omezí předimenzování osvětlovací soustavy na počátku její životnosti. Obě skutečnosti vedou v důsledku k dalšímu významnému snížení roční spotřeby elektrické energie.

[52] Vytvořeno autorem

Roční úspory elektřiny, které toto opatření přinese, odpovídají hodnotě 17,6 MWh, což při uvažované ceně elektřiny 2,50 Kč·kWh^{-1} činí roční finanční úsporu 44 000 Kč. Investiční výdaje na jeho realizaci činí 243 000 Kč a reálná doba návratnosti při diskontní sazbě 5 % je 6,6 let. Hlavním ekonomickým kritériem je podle vyhlášky č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku, ve znění pozdějších předpisů, čistá současná hodnota (NPV), která je pro toto opatření 271 200 Kč. Roční úspora elektřiny 17,6 MWh odpovídá snížení roční spotřeby elektřiny na osvětlovaní místností „Dílna PBS“ a „Balení“ o 74 % výchozího stavu. Tomu odpovídá i snížení emisí znečišťujících látek, jejichž podrobný rozpis v absolutních hodnotách je na předchozí straně.

4.ZÁVĚR

Bakalářská práce v první části pojednává o legislativě týkající se energetických auditů a doporučených postupech jejich zpracování dle příslušných harmonizovaných norem. Dále je zde vysvětlena problematika návrhu osvětlovacích soustav spolu s hodnocením jejich energetické náročnosti. V druhé části se autor věnuje návrhu a zhodnocení osvětlovací soustavy na příkladě skutečného průmyslového podniku.

Autor během své rešeršní činnosti narazil na velmi málo prací podobného charakteru a rozsahu, proto se touto problematikou rozhodl zabývat hlouběji. Práce by měla čtenáři poskytnout ucelenou představu o procesu vytváření a náležitostech energetického auditu. Hlavní přínos této práce autor spatřuje v poměrně detailně zpracované teoretické části o osvětlovacích soustavách, která společně s praktickou částí může sloužit jako návod pro návrh energeticky úspornějších osvětlovacích soustav. Praktická část obsahuje veškeré potřebné výpočty pro celkové posouzení stávajícího stavu a navrhovaných opatření. Tyto výpočty byly provedeny v prostředí Microsoft Excel. Zdrojový soubor je součástí přílohy a lze ho tak použít pro hodnocení dalších osvětlovacích soustav. Takto by mohl být použit jako pomůcka pro energetického specialistu pro rychlé posouzení energetické náročnosti osvětlovací soustavy, zda má potenciál pro úsporu energie a případně jaký. Nad rámec požadovaných náležitostí pro ekonomické hodnocení opatření v energetickém auditu byla zpracována citlivostní analýza pro ekonomická hodnotící kritéria (NPV, IRR, T_{sd}) formou tabulky, která poskytuje informaci o výsledku ekonomického hodnocení pro různé výše investičních výdajů a meziroční růst cen elektřiny. Citlivostní analýza byla provedena ještě jednou v prostředí Mathematica, která umožňuje lepší vizualizaci výsledků. Interaktivní model je součástí příloh na přiloženém datovém nosiči a je opět možné ho využívat i při dalších návrzích.

Výstupem praktické části je návrh ekonomicky rentabilního opatření, které společnosti může za dobu své životnosti 18 let přinést finanční úsporu v hodnotě 271 200 Kč.

Na práci je možné do budoucna navázat podrobnějším popisem problematiky návrhu řídicího systému pro osvětlovací soustavy a praktickým prozkoumáním, zda jeho implementace skutečně přináší uvažované energetické úspory ve výši určené na základě hodnot převzatých z harmonizovaných norem.

5. SEZNAM LITERATURY

[1] BOŠOVÁ, Daniela. *Denní osvětlení budov*: TP 1.8.8. Praha: pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydává Informační centrum ČKAIT, 2016. Metodické a technické pomůcky k činnosti autorizovaných osob. ISBN 978-80-87438-70-1.

[2] ČAJČÍKOVÁ Jolana. *Energetický audit polyfunkčního objektu* [online]. Brno, 2016 [cit. 2021-03-26]. Dostupné z: https://core.ac.uk/download/pdf/44396257.pdf. Diplomová práce, VUT FAST, Ústav technických zařízení budov.

[3] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška č. 4/2020 Sb., o energetických specialistech. In: *Sbírka zákonů*. Praha: Ministerstvo vnitra ČR, 2020, částka 2.

[4] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška č. 480/2012 Sb., o energetickém auditu a energetickém posudku, ve znění pozdějších předpisů. In: *Sbírka zákonů*. Praha: Ministerstvo vnitra ČR, 2012, částka 182.

[5] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů. In: *Sbírka zákonů*. Praha: Ministerstvo vnitra ČR, 2000, částka 115

[6] ČSN EN 12464-1 – *Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, březen 2012.

[7] ČSN EN 15193-1 – *Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení – Část 1: Specifikace, modul M9*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, září 2017.

[8] ČSN EN 15316-2 – *Energetická náročnost budov – Metoda výpočtu potřeb energie a účinností soustav – Část 2: Části pro sdílení (vytápění a chlazení), Modul M3-5, M4-5*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, říjen 2018.

[9] ČSN EN 16247-1 – *Energetické audity – Část 1: Obecné požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, leden 2013.

[10] ČSN EN 16247-2 – *Energetické audity – Část 2: Budovy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, listopad 2014.

[11] ČSN EN 16247-3 – *Energetické audity – Část 3: Procesy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, listopad 2014.

[12] ČSN ISO 50002 – *Energetické audity – Požadavky s návodem pro použití*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, květen 2016.

[13] ČSN 33 2000-1 *Elektrické instalace nízkého napětí – Část 1: Základní hlediska, stanovení základních charakteristik, definice*. Ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, květen 2009.

[14] ČSN 33 2000-5-559 – *Elektrické instalace napětí – část 5-559: Výběr a stavba elektrických zařízení – Svítidla a světelná instalace*. Ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, březen 2013.

[15] ČSN 33 2130 – *Elektrické instalace nízkého napětí – Vnitřní elektrické rozvody*. Ed. 3. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, prosinec 2014.

[16] ČSN 36 0011-1 – *Měření osvětlení prostorů – Část 1: Základní ustanovení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, únor 2014.

[17] ČSN 36 0011-3 – *Měření osvětlení prostorů – Část 3: Měření umělého osvětlení vnitřních prostorů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, únor 2014.

[18] ČSN 73 0580-4 – *Denní osvětlení budov – Část 4: Denní osvětlení průmyslových budov*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Září 1994.

[19] ČSN 73 0580-4 Změna Z3 – *Denní osvětlení budov – Část 4: Denní osvětlení průmyslových budov*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, srpen 2019.

[20] DIAL GmbH, SRN. *DIALux evo 9.2* [software]. 26. března 2021 [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: https://www.dialux.com/en-GB/. Požadavky na systém: CPU s SSE2 s podporou 4 GB RAM (min. 2 GB), OpenGL 3.2 grafická karta (1 GB RAM), Windows 8.1/10 (32/64 bit), rozlišení min. 1024×768 px.

[21] ELEKTRO-LUMEN, s.r.o. *HEFRON Produktový list svítidla* [online]. [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: https://www.el-lumen.cz/hefron

[22] FIALOVÁ, Helena a Jan FIALA. *Ekonomický slovník: s odborným výkladem česky a anglicky*. 3., aktualiz. a rozš. vyd. Praha: A plus, 2014. ISBN 978-80-87681-02-2.

[23] HABEL, Jiří. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3.

[24] IBLER, Zdeněk. *Technický průvodce energetika*. Praha: BEN – technická literatura, 2003. ISBN 80-7300-026-1.

[25] KLEIN, Vít. *Energetický audit společnosti XXXX a.s.* Ústí nad Labem, 2016. Není ze zákonných důvodů volně dostupné. (Po domluvě s autorem byl název publikace z části anonymizován.)

[26] KOREL Jan. *Projektování a měření přídavného uzemnění vedení VVN a ZVN* [online]. Praha, 2020 [cit. 2021-03-26]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/86031/F3-DP-2020-Korel-Jan-DIPLOMOVA%20PRACE%20-%20JAN%20KOREL.pdf. Diplomová práce, ČVUT FEL, Katedra elektroenergetiky.

[27] KOTRBATÝ, Miroslav, Ondřej HOJER a Zuzana KOVÁŘOVÁ. *Hospodaření teplem: "nejlevnější energie je energie ušetřená"*. Praha: ČSTZ, 2009. ISBN 978-80-86028-41-5.

[28] MALÝ Vladimír. *Energetický audit v průmyslu* [online]. Praha, 2014 [cit. 2021-03-26]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/25055/F3-DP-2014-Maly-Vladimir-prace.pdf. Diplomová práce, ČVUT FEL, Katedra elektroenergetiky.

[29] MAY, Ernst. *Drill 3D Model: Drill N070807 – 3D model for interior 3D visualization.* [online]. [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: https://archive3d.net/?a=download&id=c9dc072a.

[30] MICROSOFT CORPORATION. *Microsoft Excel 2019* (součást balíčku Microsoft 365) [software]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: https://www.microsoft.com/cs-cz/microsoft-365/get-office-and-microsoft-365-oem-download-page

[31] SEVEn, The Energy Efficiency Center, z.ú. *Náhrady lineárních zářivek LED trubicemi z pohledu energetických specialistů* [online]. Program EFEKT 2, 2018 [cit. 2021-3-25]. Dostupné z: https://www.svn.cz/cs/aktualita/nahrady-linearnich-zarivek-led-trubicemi-z-pohledu-energetickych-specialistu

[32] ŠUBRT Jan a kolektiv. *Učebnice energetického specialisty*. 2015, [cit. 2021-04-28], Dostupné z: https://www.mpo-efekt.cz/cz/programy-podpory/efekt/publikace/71258

[33] *TNI 36 0451 – Údržba vnitřních osvětlovacích soustav*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, červenec 2006.

[34] *TNI 73 0327 – Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, prosinec 2011.

[35] WOLFRAM RESEARCH, Inc. *Mathematica 11*.3 [software]. březen 2018 [cit.2021-05-17]. Dostupné z: https://www.wolfram.com/mathematica/trial/

[36] ŽÁK, Petr. *Přednášky z předmětu Elektroenergetika 3 (A1B15EN3)*. ČVUT FEL v Praze, 2020.

6. SEZNAM PŘÍLOH

[1] Příloha 1: Situační výkresy divize A

[2] Příloha 2: Situační výkresy divize B

[3] Příloha 3: Výstupy z programu DIALux evo 9.2

[4] Příloha 4: Produktový list svítidla HEFRON

[5] Příloha 5: Výstupy z programu Microsoft Excel 2019

[6] Příloha 6: Citlivostní analýza v programu Mathematica 11.3