

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Energetické hospodářství podniku
BRUSH SEM s.r.o.

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Stanislav VOČADLO**
Osobní číslo: **E13N0065P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Energetické hospodářství podniku BRUSH SEM s.r.o.**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

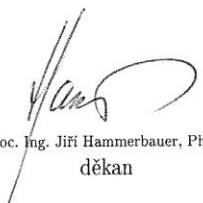
1. Popište provoz podniku
2. Analyzujte současné energetické toky
3. Navrhněte opatření, která by vedla k úsporám elektrické energie
4. Zhodnoťte navržená opatření z hlediska energetického, ekonomického a ekologického

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:


Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Prof. Ing. Jan Škorpil, CSc.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2014**
Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2015**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce se zabývá energetickým hospodářstvím závodu BRUSH SEM s.r.o v Plzni. Cílem práce bylo popsat výrobu podniku, analyzovat energetické toky, sestavit rozdělení spotřeby elektrické energie, navrhnout opatření, která by vedla k úsporám především elektrické energie, a zhodnotit navržená opatření z hlediska energetického, ekonomického a ekologického.

Oblasti navržených úspor se týkají modernizace osvětlení, využití odpadního tepla a porovnání technologií vyrábějících stejnosměrný proud pro technologický ohřev rotorů.

Klíčová slova

energetické hospodářství, BRUSH SEM s.r.o, analýza, energetické toky, energie, rekuperace, úspory, osvětlení, LED highbay

Abstract

The thesis deals with the energy management of company BRUSH SEM Ltd. in Plzeň. Its aim is to describe the enterprise's manufacture, analyze the energy flows, compile the distribution of electric energy consumption, suggest measures which would lead to savings particularly electricity and evaluate the measures proposed in terms of energy, economic and environment.

Fields of proposed savings are related to the modernization of lighting, utilization of heat recovery and comparison of technologies producing direct current technological heating rotors

Key words

energy management, BRUSH SEM Ltd. company, analysis of energy flows, energy recovery, savings, lighting, LED Highbay

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu, panu Prof. Ing. Janu Škorpilovi, CSc., za metodické vedení v průběhu psaní mé diplomové práce, za připomínky k formální, jazykové i obsahové stránce, za vstřícnost, se kterou probíhaly konzultace, a v neposlední řadě pak za inspiraci během celého studia.

Dále bych rád poděkoval společnosti BRUSH SEM s.r.o. za umožnění vypracování práce na toto téma a jmenovitě panu Ing. Petru Kůstkovi za plnou informační podporu a profesionální poznámky k tématu.

Obsah

Seznam zkratk	11
Úvod	12
1 Popis podniku	13
1.1 Charakteristika výroby a služeb	14
1.2 Hlavní výrobní proces	15
2 Analýza a popis energetického hospodářství	16
2.1 Teplo, zemní plyn a tlakový vzduch	16
2.2 Elektrická energie.....	17
2.2.1 Popis rozvodů elektrické energie	17
2.2.2 Kompenzace jalové energie	19
2.2.3 Měření spotřeby elektrické energie	21
2.2.4 Kvalita elektrické energie	21
2.3 Kvantitativní údaje o energetických vstupech a rozdělení spotřeby elektrické energie	21
2.3.1 Spotřeba elektřiny	21
2.3.2 Spotřeba tepla.....	23
2.3.3 Rozdělení spotřeby elektrické energie.....	24
3 Návrhy opatření pro úsporu elektrické energie	26
3.1.1 Energetický audit	26
3.1.2 Popis výběru oblastí úspor elektrické energie řešených v práci	27
4 Osvětlení	28
4.1 Stav osvětlení v závodě	28
4.2 Vlastnosti světelných zdrojů a svítidel	29
4.3 Stručný úvod do typů zdrojů osvětlení	31
4.3.1 Vysokotlaké výbojové zdroje	33
4.3.2 Light-Emitting Diode	34
4.3.3 Typy led čipů	36
4.3.4 Porovnání světelných zdrojů.....	37
4.3.5 Konstrukce průmyslových LED svítidel (Highbay).....	38

4.4	Návrh osvětlovací soustavy za použití LED	39
4.4.1	Minimální udržovaná osvětlenost	39
4.4.2	Udržovací činitel a životnost	39
4.4.3	Simulace a energetická náročnost světelné soustavy	40
4.4.4	Návrh LED osvětlovací soustavy - Lisovna	41
4.4.5	Návrh LED osvětlovací soustavy – Obrobna (pole 1. a 2.)	43
4.4.6	Návrh LED osvětlovací soustavy – Svařovna	44
4.4.7	Návrh LED osvětlovací soustavy – Cívkárna	46
4.4.8	Návrh LED osvětlení v malé svařovně, skladu a severním přístavku a regulace	47
5	Impregnační pece	48
5.1	Popis zařízení	48
5.2	Potenciál energetických úspor	49
5.3	Tepelná ztráta ochlazením vzdušiny teplým vzduchem z haly	50
5.4	Potenciál využití odpadního tepla při použití rekuperace	51
5.4.1	Stručný úvod do typů výměníků tepla	51
5.4.2	Zjednodušený výpočet teoreticky využitelné energie	52
5.4.3	Reálný návrh výměníku tepla	52
6	Technologický ohřev rotorů	55
6.1	Popis procedury	55
6.2	Porovnání technologií buzení stejnosměrného proudu	55
6.2.1	Ohřev pomocí rotačního budiče	56
6.2.2	Ohřev pomocí statického budiče	57
6.2.3	Zhodnocení výsledků	58
6.2.4	Ztráty transformátoru naprázdno	59
7	Ekonomické a ekologické vyhodnocení navržených úspor	59
7.1	Osvětlení	60
7.2	Impregnační pec	62
7.3	Technologický ohřev rotorů	63
	Závěr	64
	Literatura	66
	Zdroje obrázků	68

Seznam obrázku.....	69
Seznam tabulek.....	70
Seznam grafů	72

Seznam zkratek

AU	Aktivní uhlí
el.	Elektrická
IESNA	Illuminating Engineering Society of North America
nn	Nízké napětí
R _a	Index barevného podání
R.č.	Referenční číslo
TS	Transformátorová
TUV	Teplá užitková voda
VN	Vysoké napětí
VOC	Těkavé organické látky
VS	Výměňiková Stanice

Úvod

Předkládaná práce se zabývá snížením spotřeby především elektrické energie v podniku BRUSH SEM s.r.o vyrábějícím synchronní turbogenerátory.

Práce je rozdělena do sedmi částí. První část obsahuje stručný popis výroby.

V druhé části je provedena analýza energetického hospodářství tzn. popis energetických rozvodů, přehled spotřeby a ceny tepla a elektřiny. Dále je sestaven přehled složení spotřeby elektřiny podle jednotlivých výrobních nebo podpůrných zařízení a technologických celků. Třetí část se zabývá výběrem oblastí, kde byl predikován možný prostor pro úspory elektrické energie a tepla.

Čtvrtá část se již konkrétně zabývá úsporami v oblasti osvětlení. Je zde uveden přehled zdrojů světla. Dále navazuje srovnání zdrojů světla použitých v závodě a současných LED průmyslových zdrojů. Předmětem zkoumání zde bylo stanovení příkonu modernější osvětlovací soustavy pro různé haly s ohledem na dodržení normy za použití výpočtového softwaru. V páté části je rozpracován energetický potenciál odpadního tepla z jedné impregnační pece. Po teoretickém výpočtu je zde proveden reálný návrh rekuperačního výměníku a výpočet teoreticky zpětně získatelné energie. V šesté části jsou porovnány dvě technologie budící stejnosměrný proud pro technologický ohřev rotorů.

Poslední sedmá část je zaměřena na ekonomické a ekologické zhodnocení navržených úspor.

Zmenšení energetické náročnosti výroby je žádoucí nejen z důvodu snížení nákladů na výrobu, ale i nepřímo z dalších hledisek, jako je redukce vyprodukovaných emisí elektrárnami, snížení spotřeby nerostných surovin a minimalizace ekologické stopy výrobků. Snahou snížit energetickou náročnost firma potvrzuje svoji zodpovědnost vůči společnosti a tím zvyšuje svoji konkurenceschopnost. To má za následek zvýšení prestiže a důvěryhodnosti u dodavatelů/odběratelů a dále větší ekonomickou stabilitu, jež registrují například zaměstnanci, což u nich může vést k vyšší výkonnosti. Snížení energetické náročnosti výroby je tedy v konečném důsledku nástrojem, jak zvýšit zisky společnosti.

1 Popis podniku

Společnost BRUSH SEM s.r.o. se zabývá vývojem, výrobou, servisem, opravami a modernizacemi turbogenerátorů. Jedná se o:

- turbogenerátory dvoupólové chlazené vzduchem – výkonové rozmezí 0,9 MW až 170 MW, ve vývoji je turbogenerátor mezního výkonu 250 MW
- turbogenerátory dvoupólové chlazené vodíkem včetně plynového a olejového hospodářství – výkonové rozmezí 60 MW až 165 MW, ve vývoji je turbogenerátor o výkonu 300 MW
- turbogenerátory dvoupólové s kombinovaným chlazením (vodík, voda) včetně plynového, vodního a olejového hospodářství – výkonové rozmezí 200 MW až 1000 MW
- hydrogenerátory (vícepólové generátory) – vertikální i horizontální stroje s vyniklými póly vyráběné podle hydrologických podmínek příslušného vodního díla s rozsahem výkonu 1,2 MW až 350 MW pro klasické i přečerpávací vodní elektrárny.

V neposlední řadě společnost vyrábí statické budící soustavy a další potřebné příslušenství pro vlastní i cizí generátory.



Obr. 1 Historická fotografie [3]

Areál BRUSH SEM s.r.o. se nachází v Plzni v ulici Edvarda Beneše, rozkládá se na ploše 64 000 m² a za dobu své existence prošel mnoha rekonstrukcemi a modernizacemi.

Nové výrobní haly byly postaveny v devadesátých letech minulého století. Areál dříve vlastnila ŠKODA Plzeň (zahájení výroby 1924), majetkem BRUSH SEM s.r.o je pak od roku 2001. Do dnešního dne společnost vyrobila více než 2000 turbogenerátorů a 300 hydrogenerátorů. Maximální hmotnost výrobků dosahuje 250 t.

Provoz a výroba vyžaduje nepřetržitý provoz (třisměnný). Závod zaměstnává více než 1000 pracovníků, z toho přibližně 700 v dělnických profesích a 300 technicko-hospodářských. Tržby společnosti se pohybují kolem 2-3 miliard Kč ročně. [26]



Obr. 2 Letecký snímek závodu BRUSH SEM s.r.o [3]

1.1 Charakteristika výroby a služeb

Jedná se o strojírenskou výrobu velkých točivých elektrických strojů. V rámci závodu se stroj vyrábí od úplného počátku z nakupovaných materiálů (ocelové plechy, měděné dráty, ocelové výkovky, atd.

Mezi nejdůležitější činnosti patří:

- Svařování koster
- Obrábění statorů a rotorů
- Výroba statorového a rotorového vnutí
- Montáž generátorů

Mezi další výrobní činnosti patří:

- Výroba izolací vinutí
- Zkoušení generátorů (vyvažování)

Společnost disponuje dvěma výrobními halami:

- halou „gigant“ (budova 50) se šesti poli a s celkovou plochou 200 x 200 m a
- těžkou „Novou halou“ s plochou 36 x 78 m

Detailní schéma areálu závodu najdete jako Přílohu 1.

Ve výše zmíněných výrobních halách lze nalézt dílenská pracoviště jako Svařovna, Lisovna, Obrobná, Cívkárna, Navijárna, Montáž a další. U technicko-hospodářských profesí se jedná o útvary Obchod, Ekonomika, Konstrukce, Řízení jakosti, Technologie, Zásobování a mnohá další. [26]

1.2 Hlavní výrobní proces

Výrobní proces lze popsat postupem výrobního toku. Ten začíná výrobou ocelové kostry stroje, která vzniká svařením nakupovaných ocelových plechů. Současně je v cívkárně připraveno měděné vinutí jak statorové tak rotorové včetně



Obr. 3 Příprava vložení rotoru do statoru [3]

vytvarování a izolačního systému. Magnetické obvody statorů jsou skládány z jednotlivých elektrotechnických plechů, které jsou nakupovány. Důležitou částí výroby je i přesné obrábění rotorů a statorů. Následuje zakládání statorového i rotorového vinutí. Na závěr je rotor vložen do kostry již osazené statorovým

vinutím a je dokončena montáž celého stroje. Posledním krokem výroby je zkoušení a následuje expedice.

Jednotlivé kroky výroby se lehce odlišují pro různé druhy výrobků (vzduchem, vodíkem a vodou chlazené turbogenerátory).

2 Analýza a popis energetického hospodářství

2.1 Teplo, zemní plyn a tlakový vzduch

Dodavatelem tepla je Plzeňská energetika. Teplo je dodáváno ve formě horké vody se jmenovitými parametry 135/80 °C. Teplo je v průběhu topného období ekvitermně regulováno přímo ve zdroji (v ELU III). V letním období je horká voda dodávána s konstantními parametry – 100/70°C. Předávací místa jsou 3:

1. je na severozápadním rohu budovy 50 (VS 2) a je z něj zásobována primárně skoro celá budova (mimo východního přístavku) a VS 2.
2. je situováno na severovýchodním rohu budovy 50 a je z něj zásobován východní přístavek budovy 50 a VS 1.
3. je rovněž na severovýchodním rohu budovy 50 a jsou z něj zásobovány primárně 147, 146, 140 143, 156, garáže VS 3 a VS 4 a sekundárně budova 56.

Teplo pro teplovzdušné vytápění hal (vč. „sahar“ – odhadovaná účinnost 70%) je využíváno bez další transformace, teplo otopná tělesa (radiátory) a vzduchotechniku v kantýně (budova 1b) je transformováno ve VS na jmenovitou teplotu 90/70°C. Nakupované teplo je rovněž využíváno k ohřevu TUV v nepřímo ohřívaných zásobnících.

Zemní plyn je odebírán ze sítě Plzeňské energetiky. K budově č. 50 je přiveden plynovod pod tlakem 2,2 kPa. V rohu budovy č. 50 je obchodní měření plynu. Odtud je plynovod veden do budov č. 50 a 174 ke spotřebičům. Zemní plyn v areálu slouží pro technologii (hořáky na ohřívání obručí) a vytápění (1 x plynový zářič). Tlakový vzduch je dodáván ze sítě Plzeňské energetiky pod tlakem 6,7 baru a je přiveden do budovy č. 50, kde je osazeno měřidlo. [26]

2.2 Elektrická energie

Zařízení na distribuci elektrické energie areálu závodu BRUSH SEM s.r.o je v současné době částečně v majetku ČEZ (rozvodna R148, všechny transformátory, rozvodny R502, R504, R501 nn rozvaděč, vn kabely a další) a částečně společnosti BRUSH SEM s.r.o (rozvodna R147, R501 – bez nn rozvaděče, R503 a další). Z tohoto zařízení je distribuována el. energie i dalším externím odběratelům.

Nákup elektrické energie je prováděn na straně nn. Spotřeba el. energie je měřena na několika místech (cca 25 měřících míst) nn elektroměry. Na rozvodně R 148 je osazeno měření na straně VN, kde je předpoklad obchodního měření po případném odkoupení zařízení na distribuci el. energie od současného vlastníka ČEZ prodej s.r.o. [26]

2.2.1 Popis rozvodů elektrické energie

Přívod elektrické energie do areálu provozu BRUSH SEM s.r.o je realizován v několika napěťových úrovních. 22 kV, 10 kV a 6 kV kabelovým vedením z TS rozvodny ČEZ R148 (22/10/6kV). Rozvodna R148 je propojena s TS rozvodnou ČEZu R110kV – Plzeň Jih (110/22/10 kV). Z rozvodny R148 je dále el. energie vn kabely přenášena do TS rozvodny R147 (22/0,4 kV) a rozvodny R501 (10kV a 6 kV).

TS rozvodna R147 – 22/0,4 kV, je osazena čtyřmi transformátory 22 kV/400V o výkonu po 1000 kVA a jedním transformátorem 22 kV/400V o výkonu 1600 kVA. Strana vysokého napětí je situována v 2. patře a rozvodna nízkého napětí v přízemí budovy trafostanice. Všechny transformátory pracují paralelně. VN rozvodna sestává z osmi skříní typu RIO 644, z nichž dvě jsou přívodní a 6 vývodních. V rozvodně jsou použity vypínače SF6 typu 25 1225 určené pro použití v průmyslu. Nn rozvodna obsahuje rozvaděče 380V označené RM1, RM2, RM3, RS1 sestavené ze skříní typu Uniblok (typ U-22D4, výrobce Elektromont Teplice). Přívodní skříň rozvaděče je spojena přímo přípojnici s transformátorem, vývodní skříň je osazena jističem 1000 A. Všechny čtyři rozvaděče jsou propojeny přípojnici mosty přes přípojnici odpojovač. Lze tedy v případě potřeby provozovat jednotlivé rozvaděče s vyloučením některých transformátorů. Souhrnné údaje k osazeným transformátorům trafostanice R147 jsou uvedené v Tabulce 1.

Tabulka 1 Transformátory v trafostanici R147

	T1	T2	T3	T4	T5
Typ	aTSE792/22	aTSE792/22	aTSE792/22	aTSE792/22	aTSE792/22
Výkon (kVA)	1 000	1 000	1 000	1 000	1 600
Výrobce	BEZ Bratislava	BEZ Bratislava	BEZ Bratislava	BEZ Bratislava	BEZ Bratislava
Napětí (kV)	22/0,4/0,234	22/0,4/0,234	22/0,4/0,234	22/0,4/0,234	22/0,4/0,234
uk %	6,06	6,06	6,06	6,06	6,08
rok výroby	1988	1988	1988	1988	1988

Přehledové schéma vn a nn části rozvodny R147 22/0,4 kV je v Příloze 14.

Z hlavní nn rozvodny (R147) jsou kabelovými vedeními nn, převážně kabely 3x240+120 AYKY, 3x120+70 AYKY, 4x35(25,16) AYKY dále napájeny další nn rozvaděče pro technologie umístěné v závodě.

Rozvodna R501 – 10 a 6 kV je v majetku BRUSH SEM s.r.o je situována v budově číslo 50 a je v provozu cca 50 let. Přívody jsou z TS rozvodny ZČE R148. Napájení 10 kV je R148 kobka č. 19 (v R501 je ukončeno v kobce č. 1) a napájení v úrovni 6kV z R148 a kobka č. 2 (v R501 je ukončeno v kobce č.14). Přehledové schéma rozvodny R501 je k nahlédnutí v Příloze 15.

Rozvodna R501 – 10 kV je určena k rozvodu el. energie pro zkušební stanoviště A,B,C,D,E starý závod, zkratovnu a pohon soustrojí č. 1,2,3,4 a 6 ve strojovně. Rozvodna je dvousystémová, 39 kobek je rozděleno do tří sekcí. První sekce určena pro pohon soustrojí č. 1,2,3,4 a 6 ve strojovně zkušebny, napájení starého závodu a zkratovny. Systém I. je rozdělen spojkou sběrem. Druhá sekce rozvádí síť 6 kV nebo 10 kV na jednotlivá zkušební pracoviště A,B,C,D,E. Třetí sekce rozvádí regulované napětí z generátorů č. 1 a 2 na jednotlivá zkušební pracoviště. Sekce je možno mezi sebou propojit na jednotlivých systémech. První a druhou sekci odpojovači přímo na sběrnících systémů, druhou a třetí sekci odpojovači v kobkách č.13 a 25. Sběrnice jsou Al 2x10x100 mm.

V areálu závodu BRUSH SEM jdou dále rozvodny pro dílní provozy:

R502 – v majetku ČEZ včetně transformátoru (osvětlení)

R503 – trafo v majetku ČEZ, rozvaděč BRUSH (strojovna zkušebny)

R504 – v majetku ČEZ včetně transformátoru

R505 – trafo v majetku ČEZ, rozvaděč BRUSH

Souhrnné údaje k osazeným transformátorům v ostatních rozvodnách popisuje následující Tabulka 2.

Tabulka 2 Transformátory v ostatních rozvodnách

Umístění	R501	R502	R503	R504	R505	bud. 147
označení	T2	T10	T3	T1	T8	T6
typ	aTE812/22	aTE792/22-A	aTE812/22-A	aTE792/22-A	AL-1E-19E	aTE792/22-A
výkon (kVA)	1600	1000	1600	1000	1250	1000
výrobce	BEZ Bratislava	BEZ Bratislava	BEZ Bratislava	BEZ Bratislava	ŠKODA	BEZ Bratislava
napětí (kV)	22/0,4/0,263	22/0,4/0,239	22/0,4/0,262	22/0,4/0,261	22/0,4/0,241	22/0,4/0,239
uk (%)	5,97	6,24	5,88	6,03	6,25	6,24
rok výroby	1984	1985	1994	1990	1958	1985

Rozvody elektrické energie v areálu na úrovni nízkého napětí tvoří rozsáhlá síť hlavních a podružných rozvaděčů, z nichž jsou potom napájeny jednotlivé technologické a obslužné části a správní budova. Instalace jsou převážně realizovány kabely typu AYKY a CYKY. Vlastní rozvody jsou uloženy na kabelových konstrukcích a zčásti v pancéřových trubkách.

Veškerá elektrická instalace je provedena dle ČSN 33 0300. Ochrana proti nebezpečnému dotyku je provedena samočinným odpojením od zdroje (dle ČSN 33 2000) pro část VN zemněním + pospojováním. Silové rozvody jsou převážně provedeny jako: 3 PEN stř. 50Hz, 400 V / TN-C. [26]

2.2.2 Kompenzace jalové energie

Jalový výkon je energie vznikající vlivem fázového posunu napětí a proudu. Elektrické obvody jsou pak zatěžovány vyššími proudy, které působí zvýšené ztráty ve všech prvcích přenosové soustavy.

Všechny odběry kategorie A a B jsou osazeny elektroměry spotřeby nebo dodávky jalové energie a při nedodržení předepsaných tolerancí platí odběratel přirážky k platbám za el. energii. Není-li dohodnuto jinak, je v podmínkách dodávky elektrické energie stanovena povinnost trvale kompenzovat jalový výkon na hodnotu $\cos \varphi = 0,95 - 1$ induktivní. Současně s těmito přirážkami dává ceník možnost distributorovi účtovat tzv. nevyžádanou dodávku kapacitního kompenzačního výkonu (překompenzování).

Pro odstranění tohoto stavu se na odběrová zařízení montují kompenzace jalového výkonu, které pomocí vhodného regulátoru zmenšují fázový posun na povolenou hodnotu, tzn. je-li v odběru připojeno určité množství induktivních spotřebičů (asynchronní motor apod.) regulátor automaticky připojí odpovídající velikost kapacity (kondenzátorů).

Kompenzace může být individuální (ke každé induktivní zátěži se připojí odpovídající kondenzátor), nebo skupinová (vhodný kompenzační rozvaděč, kde se po určitých stupních automaticky připínají kondenzátory). Při volbě typu a výkonu kompenzačního rozvaděče je nutno stanovit tyto hodnoty:

- celkový výkon kompenzačního rozvaděče
- hodnotu výkonu v prvním stupni (schopnost kompenzovat při minimálním odběru nebo-li citlivost)
- výkon kompenzačního rozvaděče se dimenzuje podle jmenovitého el. odběru a jeho indukčního charakteru (spotřebiče – motory, transformátory, apod.)
- citlivost kompenzace jalové energie se určuje podle rovnoměrnosti odběru elektrické energie v čase:
 - nepřetržitý provoz se stálým odběrem – malá citlivost
 - 1-2 směnný provoz – větší citlivost
 - vysoké rozdíly v odběru a jeho charakteru (svářečky, indukční pece, apod.) – velká citlivost s velkým počtem stupňů

V platbách za elektrickou energii jsou položky za platbu za odběr, či dodávku jalové energie nulové. Kompenzace je v závodu provedena centrálně a to mimo zařízení v majetku společnost. Historicky je však kompenzace instalována v rozvodně R147. U transformátorů T1, T2, T3 jsou osazeny kompenzační rozvaděče (s označením RC1, RC2, RC3) sestavené ze skříní typu Uniblok a jsou vystrojeny statickými kondenzátory o celkovém kompenzačním výkonu 450 kVAr. Tato kompenzace má možnost ručního nebo automatického ovládání, s řízením elektronickým regulátorem, který zapíná jednotlivé kompenzační stupně v tomto sledu 75+75+75+75+159 kVAr. Kompenzační kondenzátory jsou od výrobce ZPA Žamberk z roku 1960. Olejová náplň je v dobrém stavu.

V současné době se připravuje odkup rozvodného a transformačního zařízení, které je dosud v majetku ČEZ. Proto je připravována instalace měření na straně VN.

Po realizaci těchto záměrů začne dodavatel el. energie měřit a zpoplatňovat případnou špatnou kompenzaci účinníku. [26]

2.2.3 Měření spotřeby elektrické energie

Pro měření spotřeby elektrické energie v závodě se využívá asi 25 nn elektroměrů. Jednotlivé elektroměry měří uzly silových rozvodů v jednotlivých halách a to tak, že se měří většinou několik spotřebičů zároveň. Případů, kdy velký spotřebič má vlastní elektroměr, je jen velmi málo.

Určit přesnou spotřebu nějakého technologického celku či spotřebiče je tak značně problematické. Například rozvodna R503 napájí rozvody stanovišť jednotlivých zkušeben. I v tomto případě však měří zároveň vypékací transformátor v 6. poli budovy 50.

Pro záznam a vyhodnocování se používá webové rozhraní od společnosti ENERGIS[®]. Používaný systém je v betaverzi, avšak již nyní je schopný poskytovat základní údaje. Ukázku rozhraní naleznete v Příloze 16.

2.2.4 Kvalita elektrické energie

Pro možnost navrhovat úsporná opatření pro snižování energetické náročnosti závodu je zásadní znát spotřebu jednotlivých zařízení v závodě. Dále je však vhodné monitorovat síť nejen pomocí elektroměrů, ale sledovat kolísání napětí, napět'ovou nesymetrii, úroveň harmonických složek atd. Vzhledem k velkému počtu asynchronních strojů v závodě především napět'ová nesymetrie může způsobovat velké ztráty, neboť již při malé napět'ové nesymetrii dochází k velkým momentovým ztrátám na pohonech. Tento problém neřeší ani frekvenční měniče, neboť napájí stroje symetricky, ale sami opět pracují s nesymetrickým napájením.[1]

V současné době se neprovádí žádný monitoring kvality napájecích veličin i z toho důvodu, že napájecí transformátory BRUSH SEM s.r.o nevlastní a nemůže na nich tedy provádět žádnou optimalizaci.

2.3 Kvantitativní údaje o energetických vstupech a rozdělení spotřeby elektrické energie

2.3.1 Spotřeba elektřiny

Závod spotřebovává asi 10 000 MWh elektrické energie ročně, přičemž asi 40% spotřebované el. energie spadá do kategorie *technologická* a z této spotřeby je pak asi polovina přímo úměrně závislá na objemu výroby. Přehled spotřeby

elektrické energie v jednotlivých měsících za posledních 5 let je uveden Tabulce 3 a grafické rozložení spotřeby podle měsíců naleznete v Příloze 23.

V Tabulce 3 jsou dále uvedené průměrné roční ceny za 1 kWh spotřebované elektrické energie. Aktuálně se cena 1 kWh pohybuje kolem 2,7 Kč a s touto cenou je počítáno v dalších úvahách. Dále připomeňme, že nedodržení účinníku není dodavatelem zpoplatněno, neboť zařízení na kompenzaci není ve vlastnictví závodu.

Tabulka 3 Přehled spotřeby elektrické energie v letech 2010-2014 (kWh)

	2010	2011	2012	2013	2014
leden	965 162	970 789	1 002 255	966 980	897 712
únor	833 182	931 727	1 012 445	886 006	826 835
březen	837 497	903 200	880 270	905 914	737 159
duben	654 785	748 301	807 340	786 790	703 471
květen	696 200	767 989	762 670	668 646	685 057
červen	685 423	692 728	823 376	676 871	637 300
červenec	613 868	583 716	716 502	573 967	595 828
srpen	708 087	649 200	757 219	604 948	484 920
září	708 088	738 453	808 544	691 802	640 382
říjen	805 850	956 482	875 846	808 439	781 391
listopad	847 800	957 996	1 005 163	1 146 774	819 875
prosinec	892 999	828 031	767 807	726 392	720 188
Celkem	9 248 941	9 728 612	10 219 437	9 443 529	8 530 118
Cena za 1 kWh (Kč)	3,05	2,85	2,98	3,13	2,74
Cena celkem (tis. Kč)	28 209	27 726	30 453	29 558	23 338

Vývoj spotřeby a cen elektrické energie v letech 2000 - 2014 naleznete v Příloze 24. V posledních pár letech došlo k mírnému nárůstu ročně spotřebované elektrické energie. Tento fakt je dán především zvýšeným počtem vyrobených strojů a tedy větší aktivitou výroby.

2.3.2 Spotřeba tepla

V závodě je v současné době spotřebováváno cca 30 000 GJ tepelné energie ročně, přičemž 95% z této energie se používá na vytápění a zbylých 5% připadá na ohřev TUV a ztráty v rozvodech. Přehled spotřeby tepla za posledních 5 let je uveden Tabulce 4 a grafické rozložení spotřeby podle měsíců naleznete v Příloze 23. Ve spodní části Tabulky 4 jsou dále uvedené průměrné roční ceny za 1 GJ spotřebované tepelné energie. Aktuálně se cena 1 GJ pohybuje kolem 423 Kč a s touto cenou je počítáno v dalších úvahách.

Samotný vývoj roční spotřeby tepla má klesající tendenci. Pro informaci uvedme, že průměrná roční spotřeba tepla se v letech 1993-2010 pohybovala kolem 65 000 GJ. Za tento vývoj může především nové zateplení budov, rekuperační jednotky na odsávání některých technologií a snížení teploty, na kterou se vytápí výrobní haly. Zvýšená snaha snížit spotřebu tepelné energie je mimo jiné zdůvodnitelná i rostoucí cenou této komodity (v letech 2010-2014 nárůst o 30%). Vývoj spotřeby tepla a jeho ceny v letech 2000 – 2014 naleznete v Příloze 24.

Tabulka 4 Přehled spotřeby tepla v letech 2010-2014 (GJ)

	2010	2011	2012	2013	2014
leden	11 456	8 602	7 163	7 490	7 076
únor	8 074	8 164	9 986	6 658	5 155
březen	5 780	5 072	4 681	6 422	3 360
duben	2 812	2 307	3 596	3 013	1 694
květen	1 116	1 312	970	969	689
červen	481	512	819	640	310
červenec	404	451	688	375	356
srpen	443	462	693	322	345
září	858	351	1 110	728	337
říjen	3 634	2 423	3 672	2 725	1 463
listopad	5 046	5 256	4 857	4 820	3 245
prosinec	10 508	5 894	6 984	5 756	5 850
Celkem	50 610	40 804	45 218	39 917	29 879
Cena za 1 GJ (Kč)	310	326	342	393	405
Cena celkem (tis. Kč)	15 689	13 306	15 469	15 703	12 107

2.3.3 Rozdělení spotřeby elektrické energie

Identifikace spotřeby jednotlivých zařízení a technologických celků nemohla být provedena exaktně, neboť jednotlivé elektroměry v závodě jsou rozmístěny většinou systematicky podle stávajících uzlů silových rozvodů (transformátorů) a většina spotřebičů není vybavena vlastním elektroměrem (viz 2.2.3).

Pro zjištění spotřeby jednotlivých zařízení/technologických celků bylo použito těchto způsobů:

1. **Přesné určení** spotřebované el. energie odečtením dat z vlastního **elektroměru** spotřebiče.

2. **Výpočet:**

- a. Zjistí se příkon měřený na elektroměru v případě, kdy je v provozu na daném úseku pouze toto zařízení, a ten se poté vynásobí počtem provozních hodin.
- b. V provozu na daném úseku je pod daným elektroměrem spuštěno několik spotřebičů najednou a námi sledované zařízení se vypne. Příkon daného spotřebiče pak představuje pokles příkonu na elektroměru. Dále se zjištěný příkon opět vynásobí počtem provozních hodin.
- c. Pro výpočet se použije pouze jmenovitý příkon zařízení a provozní hodiny.

3. **Odhadem**

- a. vycházejícím ze zkušenosti nebo velmi nepřesného výpočtu provedeného například na základě dat z elektroměru (odhad poměru spotřeby zařízení na daném elektroměru)
- b. nebo dále starších neověřitelných dat, jejichž zdrojem je například energetický audit z roku 2009.

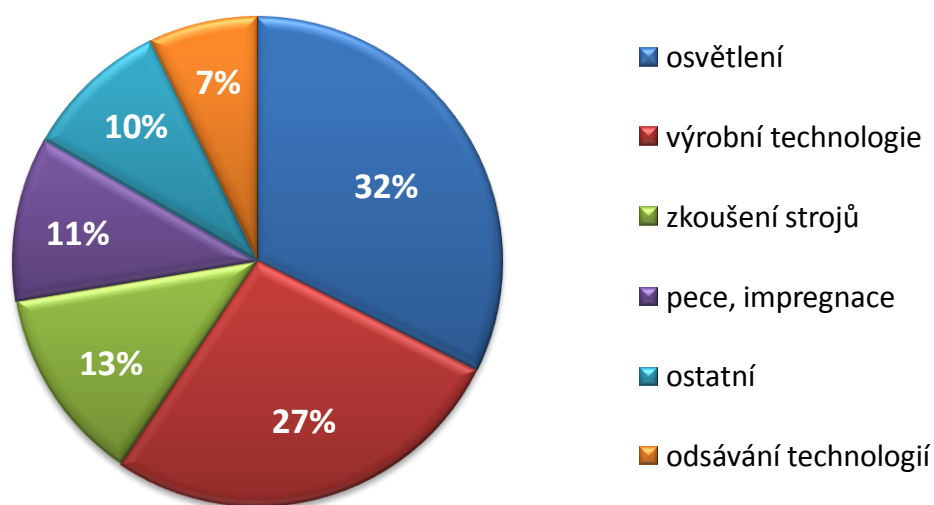
Kromě prvního ve všech případech určení spotřeby dochází k velkým nepřesnostem ve výpočtech, neboť až na výjimky (spotřebiče s velkým příkonem) neexistují záznamy o vytížení jednotlivých spotřebičů a zjištěné příkony odpovídají aktuálnímu zatížení spotřebiče. Ve většině případů se tedy jedná o více nebo méně přesné odhady. Určené hodnoty jsou zanesené v Tabulce 5. Data jsou sestavena pro rok 2014. Zařízení/technologické celky se spotřebou menší než 1 MWh nebyly uvažovány.

Tabulka 5 Přehled spotřeby elektrické energie pro rok 2014

spotřebič/technologie	příkon (kW)	doba provozu (h/rok)	spotřeba (MWh)	způsob určení
výrobní technologie (obráběcí a tvářecí stroje, svářečí a pájecí agregáty)	-	-	2 200	odhad
jeřáby	-	-	300	odhad
lakovací linka	116	458	53	výpočet
výroba statorových tyčí (vytvrzovací lisy)	1000	-	143	elektroměr
sušící pec	352	50	17	výpočet
žhací pec - svařovna	360	-	120	elektroměr
olejové hospodářství, 6. pole, stanoviště A	85	1 440	124	výpočet
olejové hospodářství, 6. pole, stanoviště E	118	2 304	272	výpočet
olejové hospodářství, 4. pole	43	2 880	124	výpočet
vyvažování rotorů	-	-	300	elektroměr
zkoušení strojů	-	-	300	elektroměr
osvětlení	-	-	2800	elektroměr
impregnace	500	2 800	750	elektroměr
lakovací box 3. pole	40	1 789	71	výpočet
impregnační pece - odsávání	15	2 810	42	výpočet
odsávání truhlárny sklotextit	45	3 630	163	výpočet
odsávání truhlárny gumoid	22	1 694	37	výpočet
tryskač	55	1 546	85	výpočet
lakovací kabina b. 147	89	1 565	139	výpočet
impregnační kabina	38	2 178	83	výpočet
administrativa (PC, kopírky, ledničky, ...)	-	-	200	odhad
příprava TUV (el. Bojlery)	-	-	40	odhad
ztráty v rozvodech	-	-	290	odhad

Pro přehlednější představu o rozložení spotřeby v závodě uvádím doplňkový Graf 1, který slučuje podobná zařízení a technologické celky do 6 základních skupin.

Graf 1 Podíl 6 základních skupin na spotřebě elektrické energie



3 Návrhy opatření pro úsporu elektrické energie

Při odhalování prostoru, kde by mohlo docházet k úsporám elektrické energie, je důležité disponovat zkušenostmi. Jedná se především o znalosti novějších technologií, které využívají k zajištění stejné funkce menší množství energie nebo o technologie, které upraví stávající zařízení takovým způsobem, aby využívaly el. energii efektivněji.

3.1.1 Energetický audit

Poslední energetický audit byl pro firmu vypracován v dubnu roku 2009. Od té doby je každoročně vypracováno pouze *Odborné posouzení opatření provedených v areálu závodu BRUSH SEM s.r.o směřující ke snížení spotřeby tepla a el. energie*. Energetický audit poukazoval z hlediska úspor el. energie především na tyto oblasti:

- Zastaralé osvětlení v celém areálu – návrh na výměnu svítidel a náhradu starých zdrojů za nové vysokotlaké výbojky nebo halogenidové výbojky, v místech kde se svítí klasickými žárovkami děle jak 500h/rok výměna za kompaktní zářivky. Odhad úspor byl vyčíslen na 821 MWh/rok.
- Vytypované pohony obráběcích strojů – návrh na nahrazení zastaralých Ward-Leonard soustrojí za nové elektromotory s frekvenčními měniči (úspora 30 - 40%). Odhad úspor byl vyčíslen na 510 MWh/rok.

Celková míra dosažitelných energetických úspor byla stanovena na 1 330 MWh/rok. Energetický audit dále popisuje využití odpadního tepla z různých technologií takto: *Významnější využitelné zdroje odpadního tepla nebo druhotné energie v areálu nejsou.*

Poslední odborné posouzení z března roku 2014 popisuje stav provedených opatření pro úspory spotřeby elektrické energie zkráceně takto:

- Proběhla výměna světel v 5. a 6. výrobním poli budovy 50 za světla o konfiguraci 2 x 400 W sodíková + metalhalogenidová výbojka včetně instalace automatické regulace systémem SEAK Energetics v závislosti na denním osvětlení. Dále došlo k rekonstrukci osvětlení ve 3. a 4. poli budovy 50 za zářivková svítidla DEIMO 348 W (podrobněji 4.1). Celkový odhad úspor 330 MWh/rok. [26]

- Došlo k výměně některých vytypovaných zastaralých pohonů obráběcích strojů. Celkový odhad úspor činí 127 MWh/rok. [27]

3.1.2 Popis výběru oblastí úspor elektrické energie řešených v práci

Při výběru oblastí pro návrhy úspor el. energie v závodě jsem vycházel z dat energetického auditu z dubna roku 2009, dále z podnětů pana Ing. Petra Kůstky a v neposlední řadě ze svých zkušeností. Seznámil jsem se s provedenými úsporami v poslední době, s výrobní technologií závodu a technologiemi zajišťujícími zázemí výroby. Z několika vytypovaných oblastí možných energetických úspor nakonec byly vybrány tyto:

- osvětlení – prověření možnosti použití nových technologií (LED)
- impregnační pec – ověřit potenciál odpadního tepla
- technologický ohřev rotorů – porovnání staré a nové technologie

Další oblasti, které byly vytypovány, ale v práci řešeny nejsou:

- jeřáby – rekuperace (nedostatek vstupních dat o provozu)
- provoz transformátorů (nedostatek vstupních dat a nemožnost realizace návrhu, jelikož nejsou ve vlastnictví podniku)
- modernizace pohonů obráběcích strojů – u velkých strojů již došlo k jejich rekonstrukci a u menších je to většinou v plánu

4 Osvětlení

4.1 Stav osvětlení v závodě

Osvětlovací technika ve výrobních halách je v celkovém měřítku podle současných trendů zastaralá. V několika halách nebo jejich částech sice již došlo k renovaci osvětlení, ale zastaralé rtuťové, sodíkové nebo halogenidové výbojky tvoří stále 74% zdrojů světla. Samotná svítidla jsou staršího typu a jejich odrazové schopnosti jsou ve většině případů sniženy. Nová svítidla jsou instalována převážně individuálně na nejvytíženějších stanovištích (obsluha strojů), kde je potřeba dodržet pracovní pohodu. V Tabulce 6 je popsán současný stav osvětlovacích soustav v jednotlivých halách.

Tabulka 6 Popis osvětlovacích soustav jednotlivých výrobních hal

Hala	konfigurace světel	typ zdroje	příkon soustavy (kW)	doba provozu (h/rok)	spotřeba (MWh)	
budova 50	pole 1. a 2.	2 x 22 x 4	vysokotlaké sodíkové výbojky 1000W	2 x 100	5500	2 x 550
	pole 3. a 4.	2 x 22 x 5	zářivkové svítidlo DEIMO CX 654 EPS-DALI 348W	2 x 44	5500	2 x 169 ¹
	pole 5. a 6.	2 x 22 x 3	sodíková + metalhalogenidová výbojka 2*400W	2 x 81	5500	2 x 312 ¹
	Lisovna	29 x 4	vysokotlaké rtuťové výbojky 400W	50	5500	275
	Malá svařovna	14 x 3	vysokotlaké rtuťové výbojky 400W	19	1800	34
	Sklad	14 x 3	vysokotlaké rtuťové výbojky 400W	19	1800	34
	Severní přístavek	37	vysokotlaké halogenidové výbojky 400W	17	1800	31
budova 147	Svařovna	2 x 12	vysokotlaké halogenidové výbojky 2000W	55	4500	248
	Cívkárna	2 x 13 a 2 x 17	vysokotlaké halogenidové výbojky 1000W	70	6000	420

Osvětlovací soustavy 3. až 6. pole hlavní budovy 50 prošly před rokem rekonstrukcí a kromě modernějších typů zdrojů disponují i automatickou regulací

¹ V 3., 4., 5. a 6. poli budovy 50 jsou osvětlovací soustavy vybaveny automatickou regulací a spotřeba je tedy po výpočtu snížena o 30%.

osvětlení podle denního světla, což přispívá ke značným energetickým úsporám avšak v případě zářivek T5, použitých ve svítidlech DEIMO, pravděpodobně dochází při regulaci světelného toku ke snižování životnosti zdrojů a je otázkou, jestli tento fakt není významně kontraproduktivní.

V současné době je v přípravě realizace rekonstrukce osvětlovací soustavy v polích 1. a 2. hlavní budovy 50, kdy je v plánu nahradit vysokotlaké sodíkové výbojky svítidla DEIMO, která jsou osazena v již zmíněných polích 3. a 4.

Z energetického hlediska se dále jeví jako významné především haly Lisovna, Svařovna a Cívárna. Zde lze při nahrazení stávajících osvětlovacích soustav moderními (LED) zdroji očekávat značné úspory spotřebované el. energie. Naopak haly Malá svařovna, Sklad, Severní přístavek hodnotím jako méně významné, neboť je zde asi 3 krát menší doba provozu.

4.2 Vlastnosti světelných zdrojů a svítidel

Než přejdeme k návrhům rekonstrukcí osvětlovacích soustav u zvolených hal, uvedme nejprve přední fyzikální veličiny, které nás zajímají při srovnávání světelných zdrojů a dále při navrhování osvětlovacích soustav.

Příkon P_n (W) světelného zdroje udává jmenovitou hodnotu energie za jednotku času, při které světelný zdroj vyzařuje jmenovitý světelný tok Φ_n .

Světelný tok zdroje Φ (lm) vyjadřuje intenzitu zřakového vjemu normálního oka vyvolaného energií viditelného světelného záření, které projde za jednotku času určitou plochou. Jinak řečeno jde o zářivý výkon vyzářený zdrojem posuzovaný z hlediska citlivosti lidského oka.

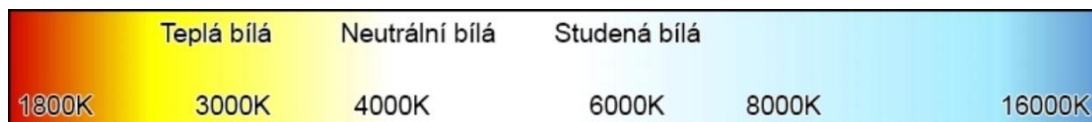
Měrný světelný výkon η (lm/W) vyjadřuje účinnost, s kterou světelný zdroj přeměňuje dodanou energii na viditelné světlo.



Obr. 4 Aplikování filtru, který simuluje index barevného podání na fotografii [4]

Index barevného podání R_a , CRI (-;%) je hodnocení věrnosti barevného vjemu, který vznikne osvětlením z nějakého zdroje. Nabývá hodnot 0 až 100, přičemž hodnota $R_a = 100$ znamená, že zdroj umožňuje přirozené podání barev.

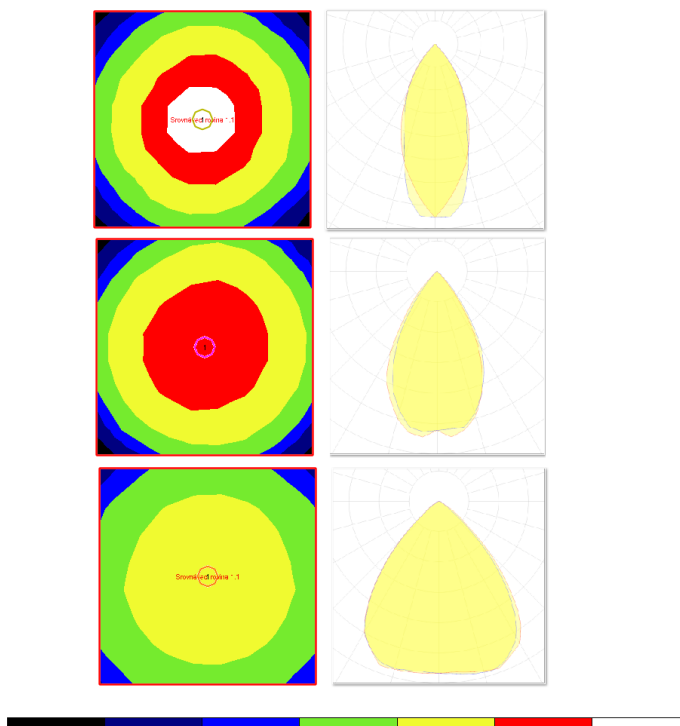
Teplota chromatičnosti T_c (K) popisuje barvu, kterou vyzařuje světelný zdroj, tak jako ho vnímá lidské oko. Světlo určité barevné teploty pak má barvu tepelného záření vydávané černým tělesem, zahřátým na tuto teplotu. (další názorné obrázky jsou v Příloze 1)



Obr. 5 Teplota chromatičnosti [6]

Osvětlenost E (lx) vyjadřuje hustotu dopadajícího světelného toku na jednotkovou plochu.

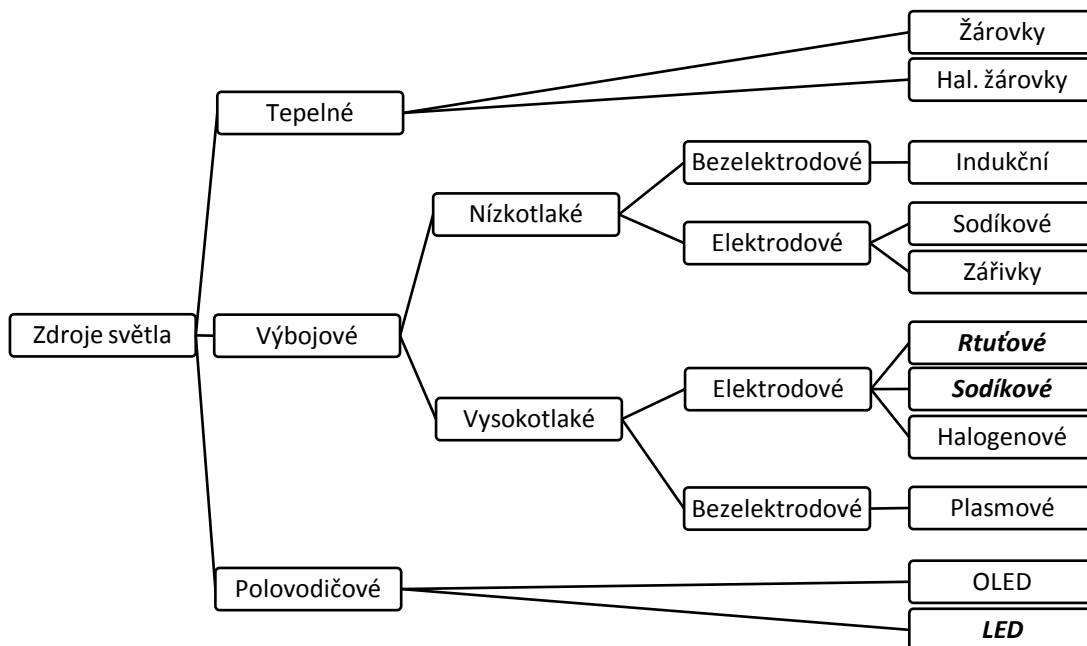
Základní vlastností, která nás zajímá u svítidel, je způsob jakým využije resp. nasměruje světelný tok zdroje do prostoru, který má osvětlit. Při návrhu a poté výrobě samotného svítidla se počítají a dále měří křivky svítivosti. Tato naměřená data (eulumdata) představují základní podklady pro návrh osvětlovací soustavy za použití daného svítidla. Význam optiky svítidla demonstruje Obr. 6.



Obr. 6 Vyzařovací křivky (vpravo) LED svítidla highbay o příkonu 110 W za použití optiky (odshora) o vyzařovacím úhlu 45°, 60° a 80° a odpovídající světelné mapy srovnávací roviny při instalaci svítidla v krychli o délce strany 5 m (vlevo). Rozsah stupnice (0, 100, 150, 200, 300, 500, 750 lx).

4.3 Stručný úvod do typů zdrojů osvětlení

Od roku 1879, kdy si nechal Thomas Alva Edison patentovat první žárovku, proběhl v oblasti osvětlování značný technologický pokrok. V současné

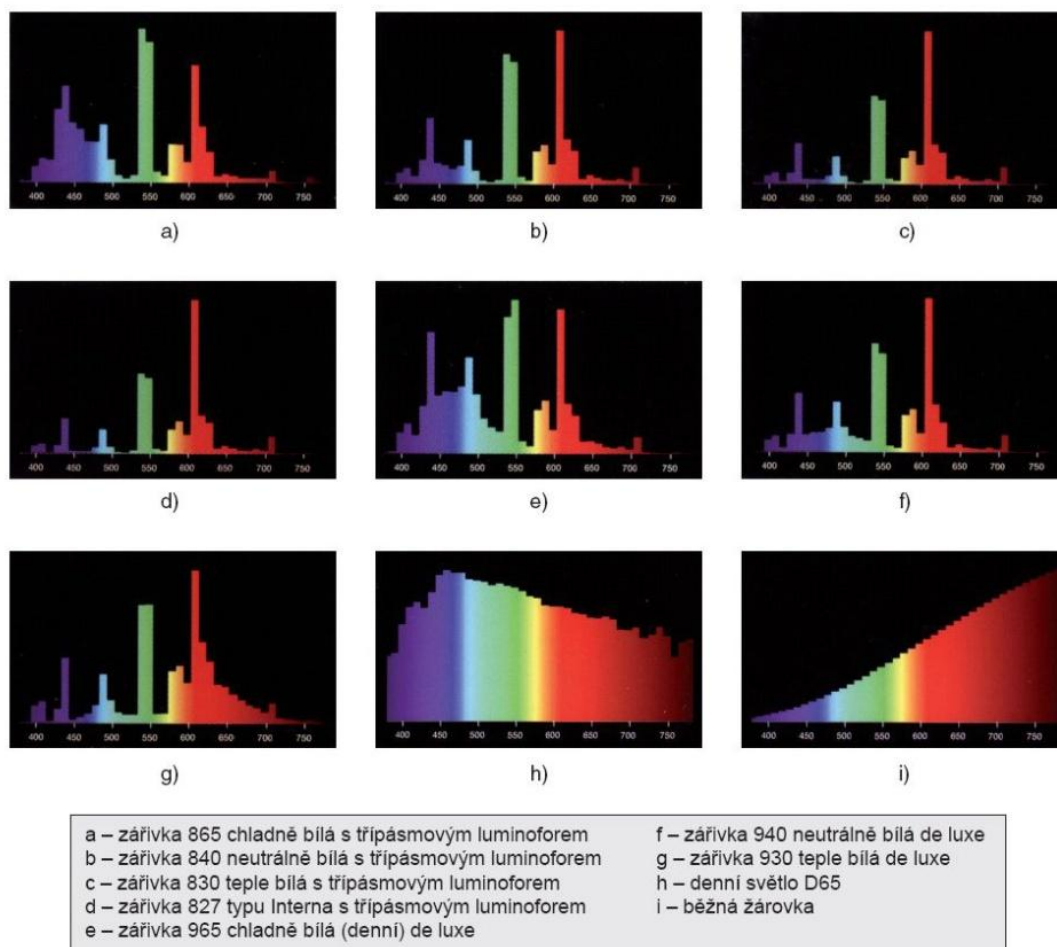


době využíváme 3 základních typů světelných zdrojů, které se dále dělí na další podkategorie. Jsou jimi tepelné, výbojové a polovodičové.

Princip **teplotních** zdrojů světla spočívá v zahřátí hmoty, která poté vyzařuje široké spojité spektrum elektromagnetického záření. Hlavní nevýhodou těchto zdrojů je fakt, že světelná část tvoří jen nepatrnou část vznikajícího záření. Žárovky mají velmi malou měrnou tepelnou účinnost kolem 10-15 lm/W a spolu s dalšími vlastnostmi jako malá životnost jsou tedy nevhodné k osvětlování velkých prostor.

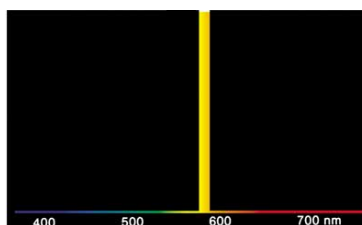
Dalším vývojovým stupněm teplotních zdrojů jsou halogenové žárovky. Od svého primitivnějšího předchůdce se liší tím, že atmosféra, ve které se nachází vlákno, obsahuje halogenidy nebo další prvky jako je brom nebo jód. V žárovce vzniká tzv. halogenidový cyklus, kdy se rozžhavená látka (nejčastěji wolfram) vypařuje a vniká tenze wolframových par, která zpomaluje vypařování wolframu. To prodlužuje životnost žárovky, neboť zároveň dochází k rozkladu sloučeniny zpět na halogen a wolfram a ten se opět difunduje zpět k vláknu.

Zářivky vytvářejí elektromagnetické záření pomocí plynového **výboje** mezi dvěma elektrodami. Samotný výboj je však v ultrafialovém pásmu a tak se pomocí luminosforu transformuje toto záření do oblasti viditelného světla. Podle složení luminosforu pak dostáváme různé průběhy poměrných spektrálních složení světla.



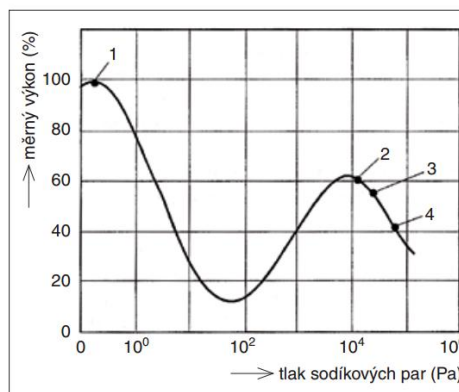
Obr. 7 Poměrné spektrální složení světla pro různé zdroje [7]

Mimo zářivky patří mezi nízkotlaké **výbojové zdroje** ještě nízkotlaké sodíkové výbojky. Tento druh zdroje je specifický hlavně tím, že se sodík při nízkých tlacích 0,1 až 1,5 Pa a teplotách kolem 270°C projevuje intenzivním rezonančním světlem žluté barvy. Díky tomuto monochromatickému světlu však nízkotlaké sodíkové výbojky dosahují $R_a \approx 0$.



Obr. 8 Poměrné spektrální složení světla nízkotlaké sodíkové výbojky [8]

Nutno dále podotknout, že nízkotlakové sodíkové výbojky drží první místo v měrném světelném výkonu, co se týče sériově vyráběných zdrojů, s hodnotou 200 lm/W.



1 - nízkotlaké sodíkové výbojky $R_a \approx 0$, 2 - vysokotlaké sodíkové výbojky standardní $R_a \approx 25$, 3 - vysokotlaké sodíkové výbojky se zlepšeným podáním barev $R_a \approx 60$, 4 - vysokotlaké sodíkové výbojky s vynikajícím podáním barev $R_a > 85$

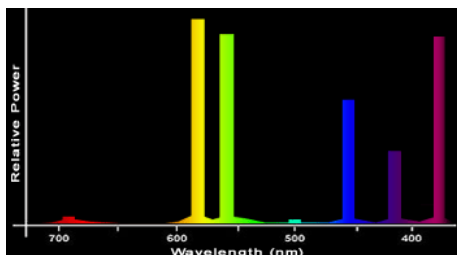
Obr. 9 Závislost měrného výkonu na tlaku sodíkových par [9]

4.3.1 Vysokotlaké výbojové zdroje

Nejvyužívanější skupinou průmyslových svítidel pro velké prostory byly v posledních několika dekádách nepochybně vysokotlaké výbojky a i v našem případě jsou výrobní haly osvětleny především výbojkami rtuťovými a sodíkovými. Jak z názvu vyplývá, jedná se o zdroje světla s plynovým výbojem při vysokém tlaku pohybující se kolem 10^4 - 10^5 Pa.

Při zvyšování tlaku ve výboji roste i proudová hustota, roste měrný světelný výkon a vzniká spojité spektrum s několika převládajícími barvami v závislosti na typu výbojky.

Měrný světelný výkon **rtuťových výbojek** se pohybuje kolem 55 lm/W. Spektrum vyzařovaného světla však neobsahuje červenou složku a tak dochází k velkému zkreslení barevného podání. Proto se baňky těchto výbojek zpravidla opatřují vrstvou luminoforu, který podobně jako u zářivek transformuje ultrafialové záření do oblasti červené barvy. I přesto mezi nevýhody rtuťových výbojek patří špatný index podání barev $R_a \approx 60$. Výroba rtuťových výbojek se ustálila v příkonové řadě 50 80 125 250 400 a 1000 W. [2] [3]

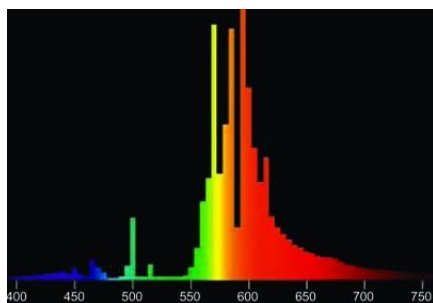


Obr. 10 Poměrné spektrální složení světla vysokotlaké rtuťové výbojky [10]



Obr. 11 Vysokotlaká rtuťová výbojka bez luminoforu [11]

Jak již bylo zmíněno v předešlém textu, neúčinnějšími běžně používanými světelnými zdroji, které v současnosti máme, jsou nízkotlaké sodíkové výbojky. Při zvyšování tlaku v sodíkovém výboji dochází ke snižování světlené účinnosti, avšak kolem tlaku 10^4 Pa se nachází druhé koleno s maximem kolem 150 lm/W (Obr. 9). Při vysokém tlaku dále dochází k rozšiřování spektrálních čar, vzniká tak bohatší spektrum a v závislosti na dalších parametrech konstrukce lze dosáhnout vysokého rozsahu podání barev $R_a \approx 0$ až 85.



Obr. 13 Poměrné spektrální složení světla vysokotlaké sodíkové výbojky [1]



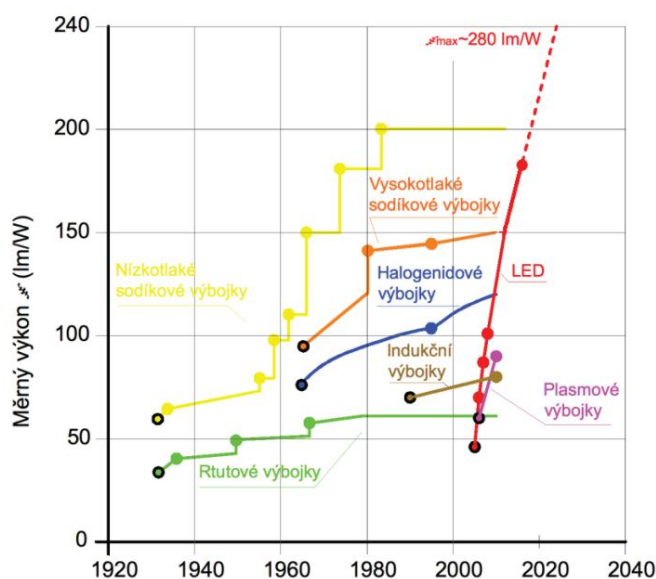
Obr.12 Vysokotlaká sodíková výbojka 250W [3]

4.3.2 Light-Emitting Diode

Světlo emitující diody (LED) jsou polovodičové součástky s jedním PN přechodem, ve kterém při průchodu stejnosměrného proudu dochází k uvolňování (emitování) velmi úzkého spektra elektromagnetického záření.

V praxi se LED objevili už v roce 1962, ale jednalo se pouze o malé čipy s plochou $0,05 \text{ mm}^2$. [2] Postupně se čipy zvětšovali, s tím i výkony, napájecí proudy a měrný světelný výkon. Teprve v roce 1993 byla vynalezena zelená dioda, která dala možnost vzniknout diodě s bílým světlem (kombinace barev) a dva roky na to vznikla bílá dioda využívající ke vzniku své barvy luminofor. Ke vzniku „výkonových“ diod, které by byly schopny konkurovat běžným zdrojům světla, byl nutný nákladný materiálový a výrobní výzkum.

Abych jasně demonstroval bouřlivý vývoj LED čipů v posledních 5 letech, uvádím graf na Obr. 14. Červená linka označuje vývoj měrného světelného výkonu u běžně na trhu dostupných LED čipů.



Obr. 14 Porovnání vývoje měrného světelného výkonu LED čipů s ostatními zdroji světla [12]

Mezi největší inovátory LED čipů patří americké firmy CREE, AXT, BRIDGELUX, Philips Lumileds, japonská firma Nichia, německý výrobce Osram, čínský Silan, v neposlední řadě tajvanský Epistar a další. V následující Tabulce 7 uvádím stručný progres ve vývoji led čipů za posledních 8 let. [4] [5] [6]

Tabulka 7 Vývoj měrné světelné účinnosti u LED čipů za posledních 8 let (laboratorní podmínky) [4]

datum	výrobce	ϕ při 350 mA (lm)	η (lm/W)	Tc (K)
27. ledna 2007	Philips Lumileds	136	115	4685
30. srpna 2007	Nichia	145	134	-
13. září 2007	CREE	135,7	129	5831
léto 2008	Lumileds	-	140	-
21. července 2008	Osram	155	136	5000
20. listopadu 2008	CREE	173	161	4689
1. prosince 2009	CREE	197	186	4577
3. února 2010	CREE	-	208	4579
9. května 2011	CREE	-	231	4500
12. dubna 2012	CREE	-	254	4408
13. února 2013	CREE	-	276	4401
26. března 2014	CREE	-	303	5150

V případě uvedené Tabulky 7 se jedná o rekordy dosažené v laboratorních podmínkách. V současné době (2014/2015) se dají na trhu běžně sehnat bílé LED čipy s měrnou světelnou účinností kolem 180 - 200 lm/W. [4]

Otázkou tedy je, kde se může teoreticky vývoj zastavit. Z definice svítivosti je maximální dosažitelná světelná účinnost 683 lm/W. Obecně se mluví o hodnotách kolem 250 lm/W při teplotě chromatičnosti do 5000 K u čipů v běžně dostupných zdrojích do roku 2025 (RGB technologie vzniku bílé barvy). [7]

4.3.3 Typy led čipů

LED čipy lze řadit podle typu do třech základních skupin. První skupinou jsou čipy DIP (Dual In-line Package). Jedná se o nejstarší skupinu čipů s výkony v rozmezí 0,01 - 1W. Tato skupina byla časem rozšířena podskupinou tzv. power LED čipů, kdy došlo k navýšení výkonů až na 5 W a hlavně zlepšení optických vlastností čoček (zvětšení vyzařovacího úhlu). Obě skupiny čipů se pro osvětlovací účely používají v paralelním řazení, ale vzhledem k malé účinnosti se dnes používají spíše v signalizační technice a jiných aplikacích.



Obr. 15 DIP LED a power LED [13]

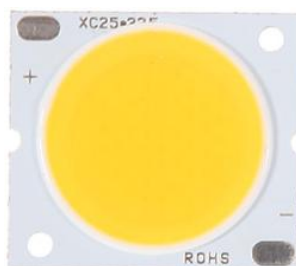


Obr. 16 SMD 5050 čipy ve svítidle patice GU10 [14]

Novějším typem používaných LED jsou SMD čipy (Surface Mount Device / dioda). SMD čipy jsou namontovány přímo na desce plošného spoje, namísto vedení proudu přes přívody, jako je tomu u DIP. Nejběžnější jsou čipy SMD 5050, 3528, a 3014, kdy čísla označují rozměry v milimetrech (5050 -> 5,0 x 5,0 mm). SMD čipy jsou v současné době velmi rozšířené při nahrazování standardních zdrojů světla především pro to, že se dají velice dobře konfigurovat do svítidel používajících standardizované patice. Hlavní nevýhodou této technologie je náchylnost na provozní teplotu čipu, která snižuje životnost.

Asi nejnovější používanou skupinou led čipů jsou čipy s označením COB (Chip On Board). Jedná se o technologii, kdy velké množství „miničipů“ je napojeno vedle sebe a utvoří tak jeden velký multi-čip. V současné době jsou již na trhu COB čipy se schopností podávat výkony o velikosti několika stovek wattů a se svojí svítivostí, která je schopna dosahovat desítek tisíc lm, jsou schopny nahrazovat

nejvýkonnější používané zdroje světla, jako jsou sodíkové a halogenidové výbojky. Díky použití kombinace různých typů čipu ve stejné patici lze taktéž dosahovat různých výsledných teplot chromatičnosti.



Obr. 17 COB LED čip 100 W

Hlavní provozní předností oproti SMD čipům je nakládání s teplem. COB čip je oproti SMD čipu natištěn přímo na desce a odpadá tak přestup tepla přes dvě vrstvy. Zároveň tak lze COB čipy obecně více zatěžovat pro dosažení větší svítivosti při stejné životnosti oproti SMD čipům.

4.3.4 Porovnání světelných zdrojů

LED technologie prodělala v posledních 5 letech obrovský skok kupředu a tak prakticky neexistuje parametr, ve kterém by nepředčila vysokotlaké výbojky použité k osvětlení většiny hal v BRUSH SEM s.r.o. Jediným argumentem proti byla do nedávné doby cena.

Tabulka 8 Porovnání parametrů běžně dostupných zdrojů světla pro průmyslovém osvětlení [9]

Parametr		Kompaktní zářivka	Vysokotlaká rtuťová výbojka	Vysokotlaká sodíková výbojka	Vysokotlaká halogenidová výbojka	LED COB
Příkon	P (W)	36 - 80	50 - 400	50 - 2000	35 - 2000	1 - 600
Světelný tok	Φ (lm)	2 900 - 6 500	1 900 - 22 000	4 000 - 140 000	4 700 - 190 000	100 - 80 000
Měrný výkon	η (lm/W)	80	37 - 57	75 - 140	80 - 100	90 - 180
Index podání barev	R_a (-)	80 - 90	36 - 56	20-25	80-90	65-90
Teplota chromatičnosti	T_c (K)	2 700 - 6 500	3 500 - 4 200	2000	3000 - 4000	2600 - 8500
Doba života výpadek 10%	$t_{10\%}$ (h)	13 000	12 000	10 000 - 22 000	4000 - 12 000	*4.4.2
Doba života výpadek 50%	$t_{50\%}$ (h)	20 000	16 000	25 000-35 000	11 000-21 000	*4.3.1
Pokles Φ po 10000 h	(%)	0,85 - 0,97	0,8 - 0,99	0,8 - 0,95	0,55 - 0,8	0,95 - 0,99

Parametr		Kompaktní zářivka	Vysokotlaká rtuťová výbojka	Vysokotlaká sodíková výbojka	Vysokotlaká halogenidová výbojka	LED COB
Výhody		dobré podání barev, nízké investiční náklady	nízké investiční náklady	vysoký měrný výkon, dlouhá doba života	velmi dobré podání barev	vysoký měrný výkon, dlouhá doba života, velmi dobré podání barev
Nevýhody		teplotní závislost světelného toku, kratší doba života, horší usměrnění světelného toku	nízký měrný výkon, horší podání barev, kratší doba života	nízký index podání barev	kratší doba života, vyšší investiční náklady	vysoká cena, teplotní závislost technických parametrů

4.3.5 Konstrukce průmyslových LED svítidel (Highbay)

Na rozdíl od většiny ostatních zdrojů světla se LED svítidla dodávají jako technologické celky. Je to dáno specifickými konstrukčními požadavky led čipů, kdy je kladen velký důraz na chlazení (čip je teplovodivou pastou spojen s chladičem), neboť životnost čipu je přímo závislá na pracovní teplotě, kterou ovlivňují napájecí veličiny. V praxi to znamená, že více výrobců používá třeba identický čip s určitými jmenovitými parametry provozu (napětí a proudu), avšak každý volí svoji konstrukci chlazení, napájecí zdroj a samotné hodnoty napájení. Výsledná životnost a měrná světelná účinnost každého zdroje bude tedy rozdílná, přičemž je vhodné podotknout, že při snižování napájecího proudu pod jmenovitou hodnotu se měrná světelná účinnost zvětšuje a naopak. Hodnoty životnosti udávané výrobcem čipu (např. 100 000 h) pak lze dosáhnout pouze při jmenovitém napájení čipu a stanovené teplotě okolí. Většina výrobců udává životnost svých LED svítidel v rozmezí 50 000 – 100 000 provozních hodin (podrobněji 4.4.2). [11]

Další částí LED svítidla je napájecí zdroj. Čeští výrobci LED světla využívají zdroje převážně od značky Mean Well. Poslední částí LED svítidla je optika. Ta se nejčastěji skládá z čočky umístěné na LED čipu (epoxid, silikon a jiné materiály) a reflektoru, který zajišťuje požadovaný vyzařovací úhel.



Obr. 18 Průmyslové LED svítidlo "highbay" – různí výrobci

4.4 Návrh osvětlovací soustavy za použití LED

Osvětlovací soustavou míníme prostředky (světelné zdroje), které zajišťují v daném prostoru světelné prostředí. Účelem soustavy je pak navodit takové světelné prostředí, které poskytuje osobám, jenž se v osvětleném prostoru soustavně nachází, požadovanou úroveň zrakové pohody.

4.4.1 Minimální udržovaná osvětlenost

Normy pro osvětlení vnitřních pracovních prostor řeší ČSN EN 12464-1 (březen 2004). Hlavními kritérii pro osvětlování pracovních prostor jsou minimální udržovací osvětlenost E_m jednotné omezení oslnění UGR_L a index podání barev R_a .

Pro návrhy osvětlení v uvažovaných halách je třeba zohlednit hodnoty z tabulky 5.2 – Průmyslové činnosti a prostory, podsekcce 2.13 Zpracování a opracování kovů. Například pro halu Lisovna (západní přístavek b.č. 50) je pak přiřazeno R.č. 2.13.4 tedy 300 lx a pro halu Obrobna (budova 50, 1. a 2. pole) R.č. 2.13.5 tedy 500 lx.

Tabulka 9 Z normy ČSN EN 12464-1, str. 23. [10]

Referenční číslo	Druh prostoru, úkol nebo činnosti	\bar{E}_m (lx)	UGR_L	R_a
2.13.4	hrubé a střední strojní opracování: tolerance $\geq 0,1\text{mm}$	300	22	60
2.13.5	jemné strojní opracování, broušení: tolerance $< 0,1\text{ mm}$	500	22	60

4.4.2 Udržovací činitel a životnost

Po uvedení osvětlovací soustavy do provozu dochází ke znehodnocování svítidel znečišťováním optiky, stárnutím zdroje atd. Pokud by se při návrhu osvětlovací soustavy nebral tento fakt v potaz, došlo by po nějaké době vlivem degradace k tomu, že by soustava nesplňovala vytyčené požadavky. Proto se při návrhu uvažuje plán údržby ve formě udržovacího činitele, který je závislý na typu svítidla (jeho životnosti), prostředí a intervalu údržby.

Existují velmi sofistikované výpočty udržovacího činitele. Pro naše energetické účely však hodnotím jako dostačující zjednodušený výpočet, kdy udržovací činitel MF (maintenance factor) spočteme podle vztahu

$$MF = k * LMF$$

kde k vyjadřuje kondici LED zdroje na konci životnosti a LMF je činitel znečištění svítidla (Luminaire Maintenance Factor). Hodnotu k udává většina

uvažovaných výrobců LED svítidel jako minimálně 0,8. LMF je hodnota dána tabulkou (viz Příloha 3). V našem případě všechny světla mají stupeň krytí IP65 a interval čištění předpokládám nejméně 3 roky. Stupeň znečištění volím malé. Po dosazení:

$$MF = 0,8 * 0,9 = 0,72$$

Udržovacím činitelem speciálně pro LED zdroje se podrobněji zabývají směrnice LM-80 a TM-21 (vytváří komise IESNA). Mimo jiné směrnice určují zásady testování životnosti LED čipů a LED svítidel. Podle směrnice je pro určování životnosti zdroje stanoveno testování minimálně 25 kusů po dobu 6 000 h a směrnice dále povoluje extrapolovat data na šestnásobek zkoušené doby měření, tedy při zachování nejnižší možné hranice 6 000 h, jde o 36 000 h. Údaj o životnosti svítidla je dále vhodné doplnit kritérii, ke kterým se životnost vztahuje. Standardizované značení vypadá takto:

- L70 – doba, za kterou klesne světelný tok na 70% jmenovité hodnoty
- L70B10 – doba, za kterou u 10% svítidel klesne světelný tok na 70%
- L80B50 – doba, za kterou u 50% svítidel klesne světelný tok na 80%
- atd..

Stanovená doba se považuje za životnost LED zdroje. [11] [12]

4.4.3 Simulace a energetická náročnost světelné soustavy

Pro návrhy osvětlovacích soustav jsem použil program ReluxPro verzi 2014.2.0.3. Program využívá pro výpočet tzv. tokovou metodu, kdy se provádí výpočet celkového počátečního světelného toku svítidel Φ potřebného pro zajištění udržované osvětlenosti E_m v bodech srovnávací roviny.

Postup návrhu probíhá přibližně v těchto bodech (podrobně Příloha 4):

- 1) Nadefinuje se prostor.
- 2) Importují se data pro světla (tzv. eulumdata). Tato data mají výrobci většinou na svých webových stránkách volně dostupná nebo je na požádání poskytnou.
- 3) Rozmístí se světla.
- 4) Zadájí se upřesňující parametry jako udržovací činitel, výška srovnávací roviny a jiné.
- 5) Provede se výpočet.

Výstupem programu je pak rozložení osvětlenosti jako mapy pseudobarev, dále pak hodnoty E_m , E_{min} , celkový výkon, celkový světelný tok všech zdrojů atd.

Při navrhování osvětlovací soustavy nás zajímá především dodržení všech osvětlovacích kritérií (minimální udržovaná osvětlenost, podání barev atp.) tak, aby soustava splňovala zrakovou pohodu pro osoby dlouhodobě nacházející se v daném prostoru. Zároveň se však snažíme i o to, aby soustava byla energeticky hospodárná. Pro výpočet spotřeby elektrické energie lze použít jednoduchý vzorec

$$E = n P t \alpha$$

kde E je spotřebovaná energie, n počet světelných zdrojů, P příkon světelného zdroje a t doba provozu. Pokud budeme uvažovat, že doba provozu se nemění, zbývají neznámé n a P , jejichž součin tvoří příkon světelné soustavy. Součinitel α představuje ztráty na ostatních součástkách svítidla (tlumivka, zdroj, atd.). Pro výbojková svítidla jsem používal hodnoty 1,15 a pro LED svítidla si program určoval tuto hodnotu sám, většinou se však pohybovala kolem hodnoty 1,05.

Cílem dalšího zkoumání bylo zjistit, jaký příkon budou mít nové osvětlovací soustavy, které budou složené z moderních LED svítidel běžně dostupných na našem trhu a které zároveň zajistí minimální udržovanou osvětlenost dle normy.

Při instalaci nových elektrických rozvodů je vhodné soustavu vybavit automatickou regulací podle denní osvětlenosti. Dle zkušeností u již hotových osvětlovacích soustav lze dosahovat další úspory dosahující podle způsobu provozu soustavy cca 30% oproti provozu bez regulace. Sekundárním efektem v případě regulace u LED svítidel je prodloužení životnosti čipu.

4.4.4 Návrh LED osvětlovací soustavy - Lisovna

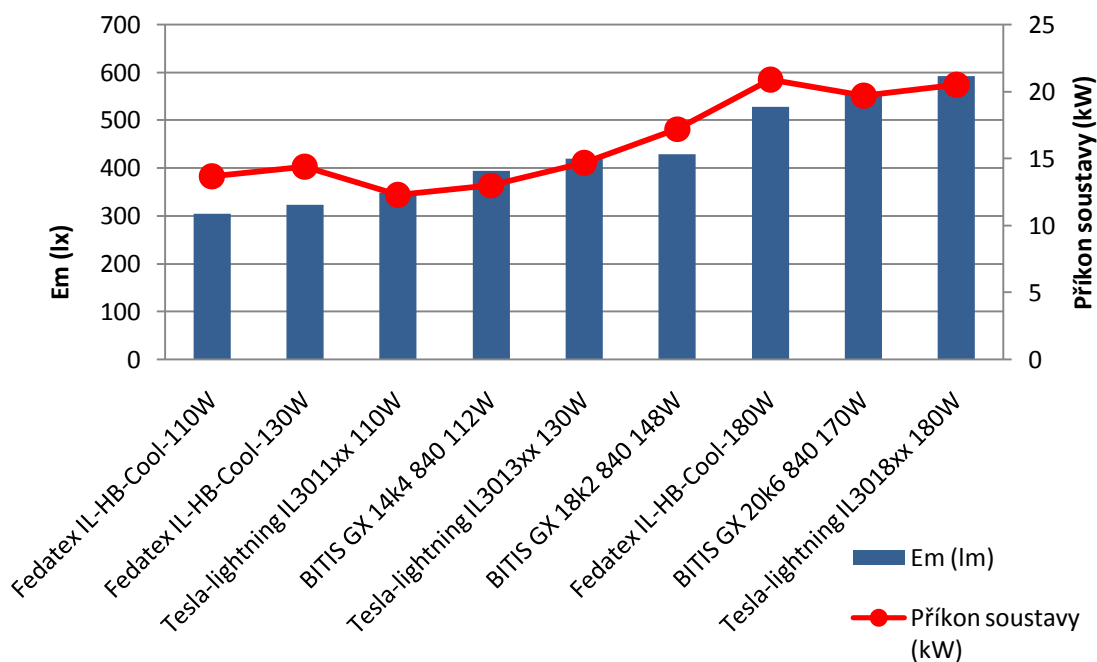
Hala Lisovna tvoří západní přístavek hlavní budovy č. 50 a má obdélníkový tvar o rozměrech 150 x 16,7 m. V hale probíhá úprava plechů jako je stříhání, lisování atd. Osvětlovací soustavu zde tvoří cca 110 rtuťových vysokotlakých výbojek typu HQL nebo HPL od výrobců Philips a Osram. Světla instalovaná ve výšce 10 m tvoří mřížku 29*4 bodů, přičemž některá v mřížce chybí (viz. foto v Příloze 5). Celkový příkon soustavy dosahuje cca 50 kW. Současné osvětlení nedosahuje požadavků normy minimální udržované osvětlenosti 300 lx (viz Příloha 6). K zajištění světelné pohody jsou však pracoviště obsluhy některých strojů vybaveny vlastním přidavným osvětlením.

Tabulka 10 LED světla nahrazující 400 W vysokotlakou rtuťovou výbojku

označení	příkon (W)	μ zdroje (lm/W)	svítivost zdroje (lm)	vyzařovací úhel (°)	Ra (-)	Tc (K)
Fedatex IL-HB-Cool-110	110	101	11114	80	80	4600
Fedatex IL-HB-Cool-130	130	101	13100	80	80	4600
Fedatex IL-HB-Cool-180	180	107	19300	80	80	4600
Elektrolumen BITIS GX 14k4 840	112	128	14400	57	80	4000
Elektrolumen BITIS GX 18k2 840	148	123	18200	57	80	4000
Elektrolumen BITIS GX 20k6 840	170	121	20600	57	80	4000
Tesla-lightning IL3011xx	110	120	13200	110	75	3000-6000
Tesla-lightning IL3013xx	130	120	15600	110	75	3000-6000
Tesla-lightning IL3018xx	180	120	21600	110	75	3000-6000

Pro výpočet odhadu příkonu nové osvětlovací soustavy za použití LED technologie počítám se svítidly uvedenými v Tabulce 10. Pro každé svítidlo jsem provedl simulaci a výsledné hodnoty jsem zanesl do Grafu 2, přičemž ve všech simulacích bylo dodrženo aktuální rozmístění světelných zdrojů v mřížce 29*4 body. Tabulka s výslednými hodnotami spolu s mapami osvětlenosti je umístěná v Příloze 7.

Graf 2 Srovnání zdrojů světla nahrazující 400 W vysokotlakou rtuťovou výbojku



Minimální udržovanou osvětlenost 300 lx lze dosáhnout nahrazením stávajících zdrojů LED zdroji o příkonu kolem 110 - 130 W. Celkový příkon

soustavy by se pak pohyboval kolem 15 kW, což je 30% příkonu současného stavu. Osvětlovací soustava v hale Lisovna spotřebuje v současné době přibližně 275 MWh el. energie ročně a v případě náhrady stávajících zdrojů za LED zdroje by se tedy dosáhlo úspory 193 MWh ročně.

4.4.5 Návrh LED osvětlovací soustavy – Obrobna (pole 1. a 2.)

Poslední dvě pole budovy 50, ve kterých ještě neproběhla rekonstrukce osvětlení, jsou pole 1. a 2. Tyto pole se nazývají společně, podle umístění velkých obráběcích strojů v této části haly, jako Obrobna. Velikost jednoho pole je 173,5 x 24 m.

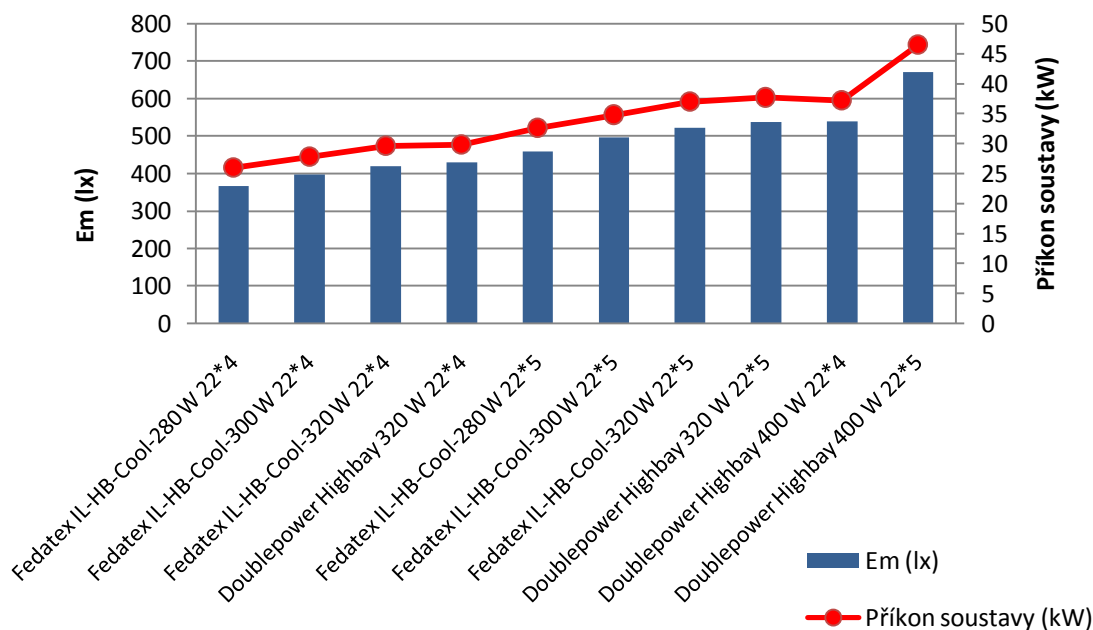
Osvětlovací soustavu každého pole tvoří 88 sodíkových vysokotlakých výbojek o příkonu 1000 W. Světla vytvářejí mřížku 22*4 body a jsou zavěšená ve výšce 17 m. Celkový příkon osvětlovací soustavy jednoho pole dosahuje cca 100 kW. Současné osvětlení nedosahuje požadavků normy minimální udržované osvětlenosti 500 lx (viz Příloha 8). K zajištění světelné pohody jsou však pracoviště obsluhy některých strojů vybaveny vlastním přídatným osvětlením.

Tabulka 11 LED světla nahrazující 1000 W vysokotlakou sodíkovou výbojku

označení	příkon (W)	μ zdroje (lm/W)	svítivost zdroje (lm)	vyzařovací úhel (°)	Ra (-)	Tc (K)
Fedatex IL-HB-Cool-280	280	107	30000	60	80	4600
Fedatex IL-HB-Cool-300	300	108	32500	60	80	4600
Fedatex IL-HB-Cool-320	320	107	34200	60	80	4600
Doublepower Highbay 320	320	114	36400	-	80	4000
Doublepower Highbay 400	400	114	45500	-	80	4000

Pro výpočet odhadu příkonu nové osvětlovací soustavy za použití LED technologie jsem použil světelné zdroje uvedené Tabulce 11. Pro každé svítidlo jsem provedl simulaci, a jelikož většina svítidel nevytvořila osvětlení při minimální udržované osvětlenosti 500 lx, provedl jsem rekonfiguraci mřížky a přidal jsem do každé řady jedno světlo navíc (vznikla mřížka 22*5). Výsledné hodnoty jsou zaneseny v Grafu 3. Příslušnou tabulku spolu s mapami osvětlenosti pak naleznete v Příloze 9.

Graf 3 Srovnání zdrojů světla nahrazující 1000 W vysokotlakou sodíkovou výbojku při různé konfiguraci



Z výsledků simulací vyplývá, že abychom dosáhli minimální udržované osvětlenosti 500 lx, lze nahradit stávající soustavu LED zdroji o příkonu kolem 300 W, přičemž bude třeba rozšířit počet světel v jedné řadě na 5. Celkový příkon soustavy by se pohyboval kolem 35 kW, což je 35% příkonu současného stavu. Osvětlovací soustava jednoho pole Obrobny spotřebuje 550 MWh el. energie ročně a v případě náhrady stávajících zdrojů za LED zdroje by se tedy dosáhlo úspory 358 MWh ročně na jednom poli.

4.4.6 Návrh LED osvětlovací soustavy – Svařovna

Další výrobní hala nesoucí název Svařovna² přímo sousedí s halou Cívkárna a má rozměry 35 x 80 m. Osvětlovací soustavu zde tvoří 24 vysokotlakých halogenidových výbojek o příkonu 2000 W. Svítidla jsou zavěšena ve výšce 32 m a jsou uspořádána do 2 řad po 12 svítidlech. Celkový příkon soustavy dosahuje cca 55 kW. Současné osvětlení nedosahuje požadavků normy minimální udržované osvětlenosti 300 lx. Ve výrobní hale je však pro přisvícení v místě pracovních úkonů použito několik reflektorů s vysokotlakými halogenidovými výbojkami.

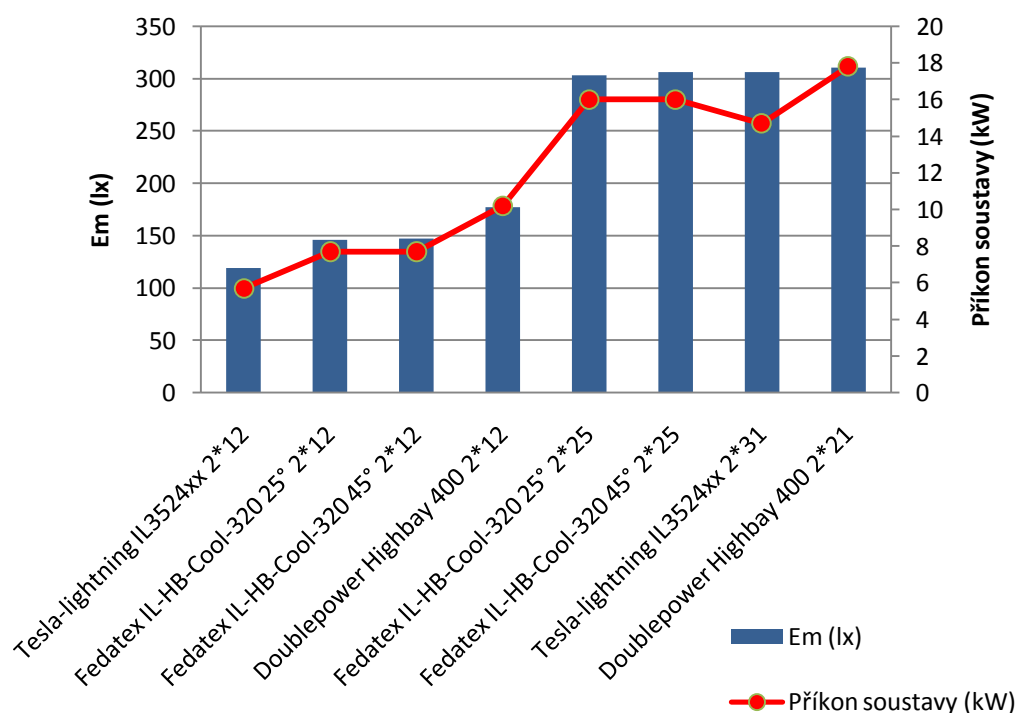
² Budova 147 byla postavena speciálně pro výrobu turbogenerátorů pro jadernou elektrárnu Temelín.

Tabulka 12 LED světla nahrazující 2000 W vysokotlakou halogenovou výbojku

označení	příkon (W)	μ zdroje (lm/W)	svítivost zdroje (lm)	vyzařovací úhel (°)	Ra (-)	Tc (K)
Fedatex IL-HB-Cool-320	320	107	34200	25	80	4600
Fedatex IL-HB-Cool-320	320	107	34200	45	80	4600
Tesla-lightning IL3524xx	240	120	28800	45	80	3000-6000
Doublepower Highbay 400	400	114	45500	-	80	4000

Pro výpočet odhadu příkonu nové osvětlovací soustavy za použití LED technologie jsem použil světelné zdroje uvedené v Tabulce 12. Pro každé svítidlo jsem provedl simulaci, a jelikož všechna svítidla nevytvořila osvětlení při minimální udržované osvětlenosti 300 lx, provedl jsem rekonfiguraci mřížky a přidal jsem do každé řady tolik svítidel, abych dosáhl požadované minimální udržované osvětlenosti. Výsledné hodnoty jsou zaneseny v Grafu 4. Příslušnou tabulku s výpočty spolu s mapami osvětlenosti pak naleznete v Příloze 11.

Graf 4 Srovnání vybraných LED zdrojů světla nahrazující 2000 W vysokotlakou halogenovou výbojku při různé konfiguraci



Pro dosažení minimální udržované osvětlenosti 300 lx lze nahradit stávající světelnou soustavu soustavou LED zdrojů o celkovém příkonu 16 kW. Tento příkon tvoří pouze necelou třetinu příkonu současné osvětlovací soustavy. Došlo by tak

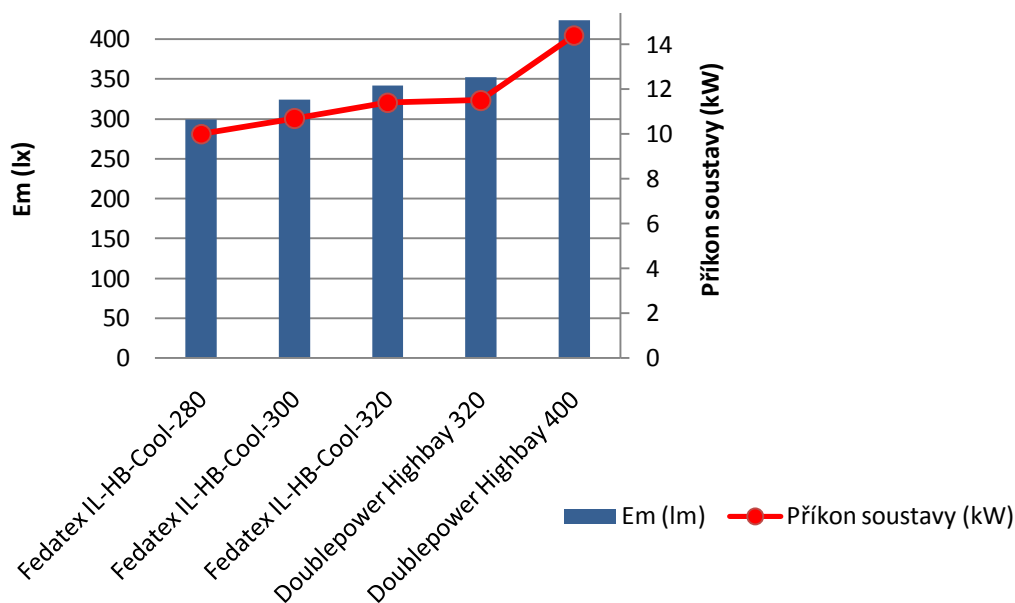
k úspoře až 176 MWh el. energie ročně. Je však diskutabilní, do jaké míry je návrh nové LED soustavy realizovatelný. V reálném řešení by bylo vhodnější použít menší počet více výkonných LED zdrojů, avšak nepodařilo se mi najít na českém trhu LED svítidla (eulumdata), která by se blížila výkonu kolem 700 W. Ta by pravděpodobně byla schopna nahradit vysokotlaké výbojky způsobem kus za kus. Řešení tohoto problému může spočívat například ve změně pozice svítidel, která bych navrhoval umístit někam do nižších poloh - například na stěny haly při natočení 45°.

4.4.7 Návrh LED osvětlovací soustavy – Cívkárna

Další halou, kde by instalací LED zdrojů došlo ke značným úsporám, je hala Cívkárna, která se skládá ze dvou polí o rozměrech 20 x 108 m a 20 x 90 m. Osvětlovací soustavu zde tvoří celkem 60 vysokotlakých halogenidových výbojek o příkonu 1000 W zavěšených ve výšce 10 m. Světla jsou instalována ve dvou polích – kratší má konfiguraci světel 2*13 a delší pole 2*17 světel. Celkový příkon soustav dosahuje cca 70 kW. Současné osvětlení dosahuje požadavků normy minimální udržované osvětlenosti 300 lx (referenční číslo 2.6.2). Ve výrobní hale je pro přisvícení v místě pracovních úkonů, které vyžadují vyšší osvětlení, použito 7 reflektorů s vysokotlakými halogenidovými výbojkami.

Pro výpočet odhadu příkonu nové osvětlovací soustavy pro delší pole za použití LED technologie počítám se svítidly uvedenými v Tabulce 10. Pro každé svítidlo jsem provedl simulaci a výsledné hodnoty jsem zanesl do Grafu 5, přičemž ve všech simulacích bylo dodrženo aktuální rozmístění světel v mřížce 17*2 body. Tabulka s výslednými hodnotami spolu s mapami osvětlenosti je umístěná v Příloze 13.

Graf 5 Srovnání vybraných LED zdrojů světla nahrazující 1000 W vysokotlakou halogenovou v dlouhém poli haly cívkárna



Z výsledků simulací vyplývá, že abychom dosáhli minimální udržované osvětlenosti 300 lx, lze nahradit stávající soustavu LED zdroji o příkonu kolem 300 W při zachování stávající konfigurace světel. Celkový příkon soustavy delšího pole by se pohyboval kolem 11 kW, což je 28% příkonu současného stavu. Osvětlovací soustava kratšího pole by po nahrazení LED zdroji dosahovala příkonu cca 9 kW a obě soustavy by tedy měly dohromady příkon 20 kW. Osvětlovací soustavy obou polí Cívkárny spotřebují celkem 420 MWh el. energie ročně a v případě náhrady stávajících zdrojů za LED zdroje by se tedy dosáhlo úspory 300 MWh ročně.

4.4.8 Návrh LED osvětlení v malé svařovně, skladu a severním přístavku a regulace

Jak vyplývá z předchozích simulací (hala Lisovna), dají se starší vysokotlaké výbojky nahradit LED zdroji, které dosahující přibližně 35% výkonu stávajících zdrojů. Haly malá svařovna, sklad a severní přístavek spotřebují dohromady 100 MWh el. energie ročně. Instalací LED zdrojů lze očekávat roční úsporu až 65 MWh. Vzhledem k nižšímu provoznímu vytížení těchto hal (do 1800 h/rok) zde bude návratnost instalace přibližně trojnásobně dlouhá oproti předchozím více vytíženým halám.

5 Impregnační pece

5.1 Popis zařízení

Zařízení sestává ze dvou pecí (sušek) a filtračního zařízení. Větší z pecí – pec P-557 je zařízení určené k vytvrzování naimpregnovaného statorového vinutí generátorů. Menší pec P-1588 slouží k impregnaci nebo vysoušení kovových dílů a dílů s nízkým nebo nulovým obsahem těkavých organických látek. Odtahové potrubí obou pecí je vedeno do adsorpčního filtru Ebicon, kde dochází k zachycení těkavých organických látek (dále jen VOC) na vrstvě aktivního uhlí (dále jen AU). Celé zařízení je vyústěno jedním výduchem do venkovní atmosféry.

Vnitřní rozměry pracovního prostoru pece P-557 jsou 4,5 x 5 x 8 m. Ohřev vsázky je prováděn elektrickými topnými články o celkovém příkonu 500 kW. Pec je navržena s cirkulačním okruhem a samostatným odvětráváním VOC. Teplota statoru je měřena teploměry a zaznamenávána na vyhodnocovacím zařízení ve velínu.

Vnitřní rozměry pracovního prostoru pece P-1588 jsou 2,5 x 2,5 x 9 m. Ohřev vsázky je prováděn elektrickými topnými články o celkovém příkonu 312,8 kW. Pec je navržena s plynulou regulací teploty v rozmezí 20 – 250 °C a samostatným



Obr. 19 Impregnační pece P1588 (vlevo) a P-577 (vpravo)

odvětráváním VOC. Teplota pracovního prostoru je měřena odporovými teploměry a zaznamenávána na vyhodnocovacím zařízení ve velínu.

Filtrační adsorpční systém pracuje na principu záchytu VOC na granulovaném AU. Jedná se o způsob automatické likvidace VOC, kde zařízení je navrženo jako

bezobslužné. Navržený systém je složen z jednoho samostatného adsorbentu rozděleného do dvou komor. Vzdušina obsahující VOC se přivádí vysokotlakými ventilátory do adsorbentu, kde dochází k jejich záchytu. Vzdušina zbavená VOC odchází potrubím do venkovní atmosféry.

O odtah vzdušiny z pece P-557 se stará radiální ventilátor typu RVR 500-Ex o největším vzduchovém výkonu $8000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Místo před ventilátorem je osazeno regulační klapkou, kterou je nastaveno množství odsávané vzdušiny $0,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a komorou pro míšení znečištěné vzdušiny a vzduchu z prostoru haly. Důvodem přisávání vzduchu je ochlazení vzdušiny vstupující do filtru pod $40 \text{ }^\circ\text{C}$, aby adsorpce VOC byla účinná. Přisávaný vzduch je zbavován nečistot textilními vložkovými filtry FVB třídy filtrace EU 7. Po smíšení je vzdušina vháněna do adsorpčního filtru s AU, kde se provede adsorpce VOC z nosného plynu. Pro odtah z pece P-1588 slouží radiální ventilátor RVR 315-7N-Ex o největším vzduchovém výkonu $1600 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (regulační klapkou škrcený na $0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) a směšovací komora s filtrem IFL 225 EU 7. Za filtry se vzduch z obou pecí slučuje z potrubí o průměrech 450 mm (pec P-557) a 250 mm (pec P-1588) do potrubí průměru 630 mm a ve výšce 11,5 m nad podlahou je vyveden do venkovní atmosféry. [13]

5.2 Potenciál energetických úspor

V následujícím textu a výpočtech budu uvažovat pouze větší peci P-577, neboť má neporovnatelně větší počet provozních hodin oproti druhé menší peci. Pec P1588 tedy zcela zanedbávám.

Hlavním úkolem impregnační pece je ohřát stator na teplotu 130°C , tuto teplotu statoru dále několik hodin udržovat a vytvrdit tak impregnační nátěr, kterým je stator opatřen.

Po vložení naimpregnovaného statoru se nastaví teplota ohřevu na 165°C a čeká se na dosažení teploty statoru 130°C . Pokud by se zahřívalo teplotou 130°C , trvalo by zahřátí statoru na tuto teplotu velmi dlouhou dobu (několik dní). Ohřev teplotou 165°C trvá přibližně 14 hodin (záleží na velikosti stroje). Po dosažení teploty masu statoru 130°C se tato teplota udržuje ohřevem o stejné teplotě ještě asi 8 hodin. Zmíněné doby ohřevu platí pro nejčastěji vyráběné malé stroje (90 % výroby). V případě větších generátorů se doba prodlužuje.

Jelikož se při vypékání uvolňují VOC, je třeba po nějaké době celý obsah vzduchu z pece odčerpat. K odčerpávání vzdušiny dochází jednou za hodinu

a odsávání trvá přibližně 20 minut. (viz. Příloha 17). Vzdušina je tedy v cyklech nasávána do pece, ohřívána, smícháním se vzduchem z haly ochlazena před filtrem na max. cca 40°C a po filtraci přes filtr AU vypouštěna do venkovní atmosféry.

5.3 Tepelná ztráta ochlazováním vzdušiny teplým vzduchem z haly

V otopné sezóně je na první pohled neefektivní ochlazovat teplý vzduch z pece teplým vzduchem z vytopené haly. Při ochlazování vzdušiny z pece a následném vypouštění celkové masy vzduchu přicházíme o energii, kterou jsme vložily do ohřátého vzduchu pomocí topení v hale (předpoklad toho, že při vypouštění vzduchu do atmosféry se stavebními netěsnostmi nasává studený vzduch z venčí).

Pro určení množství takto neefektivně vydané energie jsem použil následujících úvah:

1. Výpočet množství spotřebovaného ochlazovacího vzduchu

- doba provozu pece P577 činí 2400 h/rok
- otopné období 7/12 měsíců
- => 1400 h připadá na otopné období
- odsávání běží 1/3 doby provozu pece => $t_o = 470$ h v otopném období
- při odsávání byla naměřena rychlost vypouštěné vzdušiny $v = 5,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- průměr výduchu $S = 0,322 \text{ m}^2$, objemový průtok pak $Q_v = S \cdot v = 1,8 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
- odsávání vzdušiny z pece klapkou omezeno na $Q_o = 0,6 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
- odsávání vzduchu z haly tedy $Q_h = Q_v - Q_o = 1,2 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
- celkové množství ochlazovacího vzduchu $V = Q_h \cdot t_o \cong 2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

2. Výpočet energie potřebné k ohřátí 1 m³ vzduchu z venkovní teploty na teplotu v hale

- průměrná venkovní teplota v otopném období $t_1 = 2,6^\circ \text{ C}$ [14]
- průměrná (požadovaná) teplota v hale v otopném období $t_2 = 18^\circ \text{ C}$
- měrná tepelná kapacita $c \cong 1 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- hustota vzduchu při teplotě kolem 3 - 18° C je cca $\rho = 1,19 \text{ kg}\cdot\text{m}^3$
- energie potřebná k ohřátí 1 m³ venkovního vzduchu na teplotu v hale se pak spočte jako

$$Q_{1 \text{ m}^3} = m c (t_2 - t_1) = 1,19 \cdot (18 - 2,6) \cong 18 \text{ kJ}$$

3. Výpočet celkové ztracené energie

- energie ztracená míšením vzduchem z haly

$$Q_z = V \cdot Q_{1 \text{ m}^3} = 2 \cdot 10^6 \cdot 18 = 36 \text{ GJ}$$

- celková energie potřebná pro vytopení chladného vzduchu při účinnosti topení 70% pak

$$Q_{celkove} = Q_z \cdot \frac{1}{0,7} = 51 \text{ GJ}$$

- elektrickou energii spotřebovanou pro pohon ventilátorů u topení zanedbávám

Používáním vytopeného vzduchu z haly k ochlazení vzdušiny odsávané z pece dochází ročně ke ztrátě přibližně 51 GJ tepelné energie dodané otopným systémem v hale. Energeticky výhodnější shledávám nasávat vzduch z venkovní atmosféry. Realizace takového návrhu přitom není technicky nijak složitá ani nákladná.

5.4 Potenciál využití odpadního tepla při použití rekuperace

Z energetického hlediska by bylo nejlepší smíchaný vzduch z pece a haly přivádět po vyfiltrování zpět do haly. Míra filtrace sice dosahuje vysoké účinnosti, ale vzduch se i po vyfiltrování projevuje nepříjemným zápachem.

Způsoby jak využít odpadní teplo z pece jsou tak dále v zásadě dva. Prvním způsobem je možnost rekuperace – větráním. Druhým způsobem je ohřev vzduchu v hale. Oba způsoby spočívají v použití tepelného výměníku vzduch–vzduch. První proud výměníku představuje ohřátý vzduch z pece a druhý proud je buď vzduch nasávaný z venkovní atmosféry, nebo vzduch nasávaný přímo z haly.

5.4.1 Stručný úvod do typů výměníků tepla

Navržení tepelného výměníku je složitý proces, kdy je třeba zvládnout problematiku sdílení tepla, konstrukční oblasti (pevnost, dilatace) a provozní faktory (koroze, eroze). Matematický popis fyzikálních procesů probíhajících u výměníků je velmi složitý a je třeba používat i empirické zkušenosti a poznatky.[15]

Podle způsobu přestupu tepla jedné látky do druhé definujeme základní skupiny výměníku:

- Směšovací – u těchto výměníků dochází k míšení pracovních látek.
- Povrchové výměníky – teplejší pracovní látka předává teplo přes povrch výměníků studenější látce. Povrchové výměníky dále dělíme na:
 - Rekuperační – pracovní látky jsou trvale odděleny pevnou stěnou (deskový výměník).
 - Regenerační – pracovní látky se pravidelně střídají v kontaktu s pracovní plochou. Výměna tepla probíhá pomocí akumulace (rotační výměník).

Podle uspořádání proudů pracovních látek můžeme dělit výměníky na:

- Protiproudé – nejlépe využívají teplotní spád a umožňují dosažení nejnižší/nejvyšší teploty ochlazovaného/ohřívaného média.
- Souproudé – hůře využívají teplotní spád, avšak výhodou je větší rovnoměrnost teplotního pole stěny výměníku.
- Křížové výměníky – jedná se o výměník s mixem vlastností výše zmíněných. Křížové výměníky dále mají největší výhodu v jednoduchosti konstrukce.

5.4.2 Zjednodušený výpočet teoreticky využitelné energie

Při výpočtu teoreticky využitelné energie z odpadního tepla impregnační pece vycházím klasické kalorimetrické rovnice:

$$Q = m c (t_1 - t_2)$$

Data potřebná pro výpočet:

- teplota odtahového vzduchu $t_1 = 100^\circ \text{C}$ (odhad)
- vlhkost odtahového vzduchu $\approx 0\%$ (odhad)
- objemový průtok vzdušiny $Q_v = 0,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- hustota vzduchu při 100°C $\rho = 0,934 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- doba provozu odtahu $t_o = 470 \text{ h}$
- měrná tepelná kapacita $c \cong 1 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- maximální teplota pro zachování dostatečné účinnosti filtru $t_2 = 40^\circ \text{C}$

$$m = \rho Q_v t_o = 0,934 \cdot 0,6 \cdot 1692000 = 948 \text{ t}$$

$$Q = 948000 \cdot 1 \cdot (100 - 40) \cong 57 \text{ GJ}$$

Pro zvýšení množství využitelné energie by bylo třeba zvětšit teplotní spád. Teplota okolí (teplota vzduchu v hale) se v otopném období pohybuje kolem 18°C . Při změně tohoto parametru se teoreticky využitelné množství energie zvýší na 76 GJ.

Největší chybu ve výpočtu může způsobovat špatné určení teploty odtahového vzduchu. Před dalšími úvahami bych doporučoval provést přesné měření teploty a vlhkosti odtahové vzdušiny.

5.4.3 Reálný návrh výměníku tepla

Pro jednoduchost návrhu výměníku jsem zvolil typ rekuperace – vnitřní ohřev haly. V případě rekuperace větráním by bylo nutné uvažovat vstupní teploty v rozmezí cca -15° až $+15^\circ \text{C}$ a výsledný návrh by byl technicky velmi složitě

proveditelný nebo by měl velmi malou průměrnou účinnost v celém rozsahu venkovních teplot.

Pro rekuperaci energie vzduchu z odpadní pece jsem vybral variantu deskového křížového výměníku. Výměník má velmi jednoduchou konstrukci a tedy tomu odpovídající nízkou pořizovací cenu. Účinnost deskového výměníku sice není nejvyšší, ale v porovnání s další variantou - rotačním výměníkem může pracovat s vyšší vstupní teplotou ochlazovaného média. Na českém trhu existuje několik firem zabývajících se tepelnými výměníky.

Jako vhodnou variantu pro naši aplikaci jsem vybral výrobky firmy KASTT. Na stránkách výrobce lze nalézt software pro výpočet rozměrů výměníku dle vstupních parametrů. Program je volně šiřitelný pod freeware licenci. Návrh výměníku v programu spočívá v zadání požadovaných hodnot v těchto krocích (podrobně Příloha 22):

1. Zadání parametrů přívodního vzduchu.
2. Zadání parametrů odtahového vzduchu.
3. Návrh prvního rozměru výměníku – šířky.
4. Zvolení druhého rozměru základny výměníku a výšky vlny.

Po takto zadaných datech proběhne výpočet, jehož výsledkem jsou parametry přívodního a odtahového vzduchu viz. následující Obr. 20.

Vypočítané hodnoty	
Přívodní vzduch	
Vstupní rychlost:	2.7 [m/s]
Standardní rychlost:	2.2 [m/s]
Množství Vp1:	0.638 [m3/s]
Množství Vp2:	0.563 [m3/s]
Tlaková ztráta:	49 [Pa]
Teplotní účinnost:	67.0 [%]
Tepelný výkon:	27 [kW]
Teplota Tp2:	38.4 [°C]
Vlhkost Hp2:	0.0 [%rh]
Abs. vlhkost Xp2:	0.0 [g/kg]
Entalpie hp2:	38.8 [kJ/kg]
Odtahový vzduch	
Vstupní rychlost:	6.8 [m/s]
Standardní rychlost:	6.5 [m/s]
Množství Vo1:	1.574 [m3/s]
Množství Vo2:	1.665 [m3/s]
Tlaková ztráta - odtah:	273 [Pa]
Teplotní účinnost:	27.2 [%]
Kondenzát:	1 [l/h]
Teplota To2:	34.8 [°C]
Vlhkost Ho2:	10.5 [%rh]
Abs. vlhkost:	3.8 [g/kg]
Entalpie:	45.5 [kJ/kg]

Obr. 20 Výsledky programu Návrh deskového výměníku KASTT

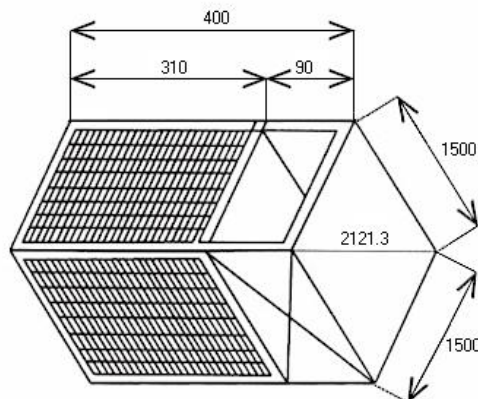
Pro správnou funkčnost výměníku je nutné dodržet vstupní a výstupní rychlosti a tlakové ztráty výměníku v mezích daných výrobcem (zeleně vyznačené hodnoty). Pro správnou funkčnost filtru VOC bylo dále nutné dodržet výstupní teplotu ochlazovaného vzduchu pod 40° C (teplota Tp2). Schéma výměníku, který splňoval

všechny mezní parametry a který měl zároveň co největší teplotní účinnost a tepelný výkon, je zobrazeno na následujícím Obr. 21.

DV 1500 - 400/90 VV 5

Vzdálenost lamel: 5

[mm]



Hmotnost tělesa výměníku: 140 kg

Obr. 21 Schéma navrženého tepelného výměníku s rozměry

Tepelný výkon takto navrženého výměníku by měl dosahovat podle výpočtů programu $P_t = 27$ kW. Roční množství dosahované rekuperované energie tedy:

$$Q = P_t \cdot t_o = 27 \cdot 470 \cdot 3600 \cong 46 \text{ GJ}$$

Při účinnosti topení 70% by celková úspora tepla dosáhla cca 66 GJ.

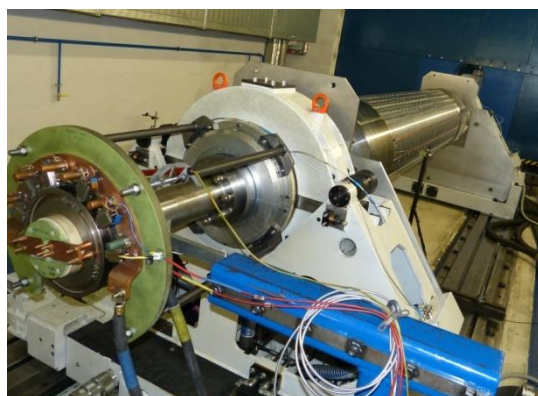
Při návrhu výměníku jsem uvažoval stávající omezení odsávané vzdušiny pomocí klapky $0,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Dále předpokládám, že celkové množství elektrické energie spotřebované ventilátory pro odtahový i přívodní vzduch ($0,6 + 1,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) bude cca shodné nebo mírně vyšší od spotřeby stávajícího ventilátoru ($1,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Provozním kritériem výměníku je maximální vstupní teplota ochlazovaného vzduchu hodnotou 80°C . Teplota vzduchu odsávaného z pece se pohybuje odhadem kolem $90\text{-}110^\circ\text{C}$. Bylo by vhodné tuto teplotu přesně změřit a diskutovat s výrobcem změnu materiálu (standardně hliník), který by tuto teplotu vydržel, nebo další technické parametry, které by umožnili provoz při této vstupní teplotě (dále by došlo ke zvýšení tepelného výkonu výměníku a ke změně rozměrů samotného výměníku). Pokud by však nebylo možné ustoupit z požadavku 80°C , jako maximální možné vstupní teploty, navrhol bych vzduch mísit s venkovní atmosférou tak, aby vznikla vzdušina o požadované teplotě (ventilátor, teplotní čidlo a klapka s regulací).

6 Technologický ohřev rotorů

6.1 Popis procedury

V průběhu výroby rotorů turbogenerátorů se provádí na každém rotoru třikrát technologický ohřev. Jde o proceduru, kdy se vinutí rotoru zahřívá stejnosměrným proudem po dobu několika hodin na přibližně 130 - 150°C a pomocí soustavy upínadel se stahuje, tak aby bezchybně sedělo na těle rotoru. Ohřev se provádí dvakrát v prostoru navijárny rotorů v 6. poli budovy 50, kde se rotor ohřívá pomocí rotačního budiče (Obr. 22) a následně proběhne ještě jednou během zkoušek v malém nebo velkém odstředivacím tunelu, kdy v případě velkého tunelu probíhá ohřev opět pomocí rotačního budiče a v případě malého tunelu je použit statický zdroj vlastní výroby BRUSH SEM s.r.o. (Obr. 23).



Obr. 23 Ohřev rotoru v malém tunelu.



Obr. 22 Ohřev rotoru v 6. poli budovy č. 50.

6.2 Porovnání technologií buzení stejnosměrného proudu

Cílem srovnání obou metod bylo především porovnat energetické rozdíly při použití dvou technologií ohřevu, s čímž následně souvisí ekonomika provozu. Dále pak diskutovat spolehlivost provozu obou zdrojů, zhodnotit případnou ekonomickou návratnost pořízení statických zdrojů a další aspekty provozu.

Pro každý typ (velikost) rotoru jsou dány jiné parametry teploty a doby ohřevu. Pro energetické srovnání obou metod jsme zvolili rotor s označením BDAX62 170ERT. Tento typ rotoru jsme vybrali do srovnání, protože se jedná o rotor do stroje o relativně malém výkonu (50 - 100 MVA) a většinu výroby (90%) tvoří právě tyto malé synchronní stroje.

Pro energetické zhodnocení bylo třeba změřit elektrické veličiny, ze kterých jsem mohl vypočítat odebíraný příkon obou typů zdrojů a výkon dodávaný

stejnoseměrným proudem do vinutí rotoru. Podíl těchto výkonů pak představoval účinnost budicí technologie. U obou technologií byla měřena sdružená napětí a proudy na přívodech asynchronního motoru/transformátoru (z rozvodny R503). Na přívodech do vinutí rotoru pak bylo měřeno stejnosměrné napětí a proud.

6.2.1 Ohřev pomocí rotačního budiče

Rotační budič se skládá ze soustrojí asynchronního motoru a dynamu spojených spojkou. Asynchronní motor je napájen ze sítě závodu, točí dynamem a to vyrábí stejnosměrný proud. Vybrané štítkové hodnoty strojů jsou uvedeny v Tabulce 13. Fotografie štítku jsou k nahlédnutí v Příloze 19 a další fotografie z měření v Příloze 20.

Tabulka 13 Vybrané štítkové hodnoty rotačního budiče

asynchronní motor	320 kW
λ	660 V 332 A
Δ	380 V 575 A
dynamo	308 kW
	440 V 700 A
budič	1,6 kW
regulace - odporová	
	110 V 14,2 A

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v následující Tabulce 14. První řádek představuje hodnoty naměřené na přívodních vodičích v nezátíženém stavu (vývody dynamu nebyly připojeny) a představují tak teoreticky vlastní mechanické a magnetické ztráty soustrojí. Druhý řádek pak představuje již hodnoty při ohřevu vinutí rotoru stejnosměrným proudem.

Tabulka 14 Naměřené hodnoty – ohřev pomocí rotačního budiče

DC (vinutí rotoru)		AC (přívody asynchronního motoru)					
U _{výstup} (V)	I _{výstup} (A)	U ₁₂ (V)	U ₂₃ (V)	U ₃₁ (V)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)
0	0	398	397	397	145	159	146
59	400	398	397	397	158	168	160

Výpočet příkonu dodávaného sítí rotačnímu budiči:

$$S_1 = \frac{U_{12}}{\sqrt{3}} \cdot I_1 = \frac{398}{\sqrt{3}} \cdot 158 = 36,3 \text{ kVA}$$

$$S_2 = \frac{U_{23}}{\sqrt{3}} \cdot I_2 = \frac{397}{\sqrt{3}} \cdot 168 = 38,6 \text{ kVA}$$

$$S_3 = \frac{U_{31}}{\sqrt{3}} \cdot I_3 = \frac{397}{\sqrt{3}} \cdot 160 = 36,8 \text{ kVA}$$

$$S = S_1 + S_2 + S_3 = 36,3 + 38,6 + 36,8 = 111,7 \text{ kVA}$$

Rotační budič odebíral v tomto případě ze sítě závodu zdánlivý příkon o hodnotě 111,7 kVA. Jalová kompenzace závodu udržuje účinník na hodnotě cca 0,95. V tomto případě tedy ohřev pomocí rotačního budiče představoval odběr přibližně 106 kW.

Výpočet výkonu dodávaného stejnosměrným proudem do vinutí:

$$P = U \cdot I = 59 \cdot 400 = 23,6 \text{ kW}$$

Výpočet účinnosti rotačního budiče:

$$\eta = \frac{P}{P_p} \cdot 100 = \frac{23,6}{106} \cdot 100 \doteq 22 \%$$

6.2.2 Ohřev pomocí statického budiče

Statický budič se skládá z transformátoru a frekvenčního měniče vlastní výroby BRUSH SEM s.r.o. Vybrané štitkové hodnoty strojů jsou v Tabulce 15. Fotografie štitků jsou v Příloze 20.

Tabulka 15 Štitkové hodnoty transformátoru a statického zdroje stejnosměrného napětí

3F transformátor	200 kVA
U ₁	400V
U ₂	115/230V
f	50 Hz
U _k	3,49%
statický zdroj	
U _e	3 x 230 V
I _{cp}	20 kA
U _d	270 V
I _d	650 A

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 16. První řádek představuje hodnoty naměřené na přívodních vodičích transformátoru v nezátíženém stavu (frekvenční měnič neodebíral). Druhý řádek pak představuje již hodnoty při ohřevu vinutí rotoru stejnosměrným proudem.

Tabulka 16 Naměřené hodnoty – ohřev pomocí statického budiče

DC (vinutí rotoru)		AC (přívody transformátoru)					
U (V)	I (A)	U ₁₂ (V)	U ₂₃ (V)	U ₃₁ (V)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)
0	0	397	398	398	5,5	3,8	3,8
66	400	397	398	398	107	105	105

Výpočet příkonu dodávaného sítí napájecímu transformátoru:

$$S_1 = \frac{U_{12}}{\sqrt{3}} \cdot I_1 = \frac{397}{\sqrt{3}} \cdot 107 = 24,5 \text{ kVA}$$

$$S_2 = \frac{U_{23}}{\sqrt{3}} \cdot I_2 = \frac{398}{\sqrt{3}} \cdot 105 = 24,1 \text{ kVA}$$

$$S_3 = \frac{U_{31}}{\sqrt{3}} \cdot I_3 = \frac{398}{\sqrt{3}} \cdot 105 = 24,1 \text{ kVA}$$

$$S = S_1 + S_2 + S_3 = 24,5 + 24,1 + 24,1 = 72,7 \text{ kVA}$$

Napájecí transformátor odebíral při ohřevu ze sítě závodu zdánlivý příkon o hodnotě 72,7 kVA. Jalová kompenzace závodu udržuje účinník na hodnotě cca 0,95. V tomto případě tedy ohřev pomocí statického budiče představoval odběr o hodnotě 69 kW.

Výpočet výkonu dodávaného stejnosměrným proudem do vinutí:

$$P = U \cdot I = 66 \cdot 400 = 26,4 \text{ kW}$$

Výpočet účinnosti statického zdroje:

$$\eta = \frac{P}{P_p} \cdot 100 = \frac{26,4}{69} \cdot 100 \doteq 38 \%$$

6.2.3 Zhodnocení výsledků

V případě statického budiče se jedná o modernější způsob přeměny střídavého proudu na stejnosměrný, čemuž odpovídá rozdílná účinnost zdrojů. Měření probíhalo při ohřevu relativně malého rotoru a na první pohled se tedy zdá, že jsou oba zdroje předdimenzované (v našem případě byly zatížené na cca 30%). Ve výrobě se však ohřívají i několikanásobně větší rotory a proto jsou zdroje takto dimenzovány. Při ohřevu menších rotorů tak bohužel mají zdroje mnohem menší účinnost než při jmenovitém zatížení. Z tohoto hlediska se jeví jako další možná otázka rentabilita pořízení menších statických zdrojů (o zhruba třetinovém výkonu) pro ohřev malých rotoru (většina produkce).

Příkon statického zdroje se při ohřevu pohyboval kolem 69 kW a příkon rotačního budiče kolem 106 kW, přičemž v případě statického budiče se rotor ohřívá mírně vyšším výkonem. V 6. poli budovy 50 probíhal ohřev celkem 10 hodin a v případě nahrazení statického budiče za rotační by došlo k úspoře elektrické energie v hodnotě 370 kWh. V závodě se vyrobí ročně cca 100 strojů a zhruba 90% produkce tvoří podobně velké stroje. Celková roční úspora by se tedy pohybovala minimálně kolem 40 MWh.

Statický zdroj však má k vyšší účinnosti a menší spotřebě i další nezanedbatelné výhody a těmi jsou značná úspora místa a neporovnatelně nižší hluk při provozu. Jedinými nevýhodami oproti statickému budiči jsou nižší teoretická provozní spolehlivost pramenící ze složitější konstrukce a z toho dále vyplývající náročnost údržby.

6.2.4 Ztráty transformátoru naprázdno

Při měření u napájecího transformátoru 200 kVA pro statický budič bylo zjištěno, že transformátor je připojen na síť stále. Jištění pro trafo je provedeno pojistkovým odpínačem s pojistkami typu PH2 400 A bez možnosti vypnutí napájení (viz. fotografie v Příloze 21). Naměřené hodnoty ztrát naprázdno jsou uvedeny v Tabulce 16.

Výpočet ztrát naprázdno:

$$S_1 = \frac{U_{12}}{\sqrt{3}} \cdot I_1 = \frac{397}{\sqrt{3}} \cdot 5,5 = 1260 \text{ VA}$$

$$S_2 = \frac{U_{23}}{\sqrt{3}} \cdot I_2 = \frac{398}{\sqrt{3}} \cdot 3,8 = 870 \text{ VA}$$

$$S_3 = \frac{U_{31}}{\sqrt{3}} \cdot I_3 = \frac{398}{\sqrt{3}} \cdot 3,8 = 870 \text{ VA}$$

$$S = S_1 + S_2 + S_3 = 1260 + 870 + 870 = 3 \text{ kVA}$$

Trafo je pod zatížením naprázdno většinu doby (vyjma ohřevů) - tedy cca 340 dní v roce. Zajištěním možnosti odpojovat trafo v době, kdy není využíváno, by došlo k úspoře:

$$E = P \cdot t = S \cdot \cos\varphi \cdot t = 3000 \cdot 0,95 \cdot 340 \cdot 24 = 23 \text{ MWh}$$

7 Ekonomické a ekologické vyhodnocení navržených úspor

Výpočet ekonomických ukazatelů navržených úspor je proveden metodou prosté doby návratnosti. Jedná se o nejjednodušší vztah jak spočítat ekonomickou návratnost investice:

$$t_n = I/CF$$

t_n – doba návratnosti

I – hodnota investice

CF – cash flow (cena uspořené energie)

Pro ekologické vyhodnocení energetických úspor uvažujeme, že energii, kterou závod nespotřebuje, nemusí nějaká (například hnědouhelná) elektrárna vyrobit. Pro výpočet množství takto nevyprodukovaných emisí používám data z Tabulky 17. Pro výpočet množství nevyprodukovaných emisí pomocí ušetřeného tepla jsou použita data z Tabulky 18. Ta respektují emise výrobce tepla tj. Plzeňské Teplárny a.s.

Tabulka 17 Vyprodukované emise hnědouhelnou elektrárnou pro výrobu 1 MWh elektrické energie [17]

Tuhé látky (kg/MWh _e)	SO ₂ (kg/MWh _e)	NO _x (kg/MWh _e)	CO (kg/MWh _e)	CO ₂ (kg/MWh _e)
3	5,3	7,7	0,65	1213

Uvažuje se 65% odsíření SO₂ a tuhé látky při 98% odlučivosti filtrů elektrárny.[17]

Tabulka 18 Vyprodukované emise Plzeňskou Teplárnou a.s. pro výrobu 1 GJ tepelné energie [16]

Tuhé látky (kg/GJ)	SO ₂ (kg/GJ)	NO _x (kg/GJ)	CO (kg/GJ)	CO ₂ (kg/GJ)
0,01	0,39	0,12	0,02	82

7.1 Osvětlení

Osvětlovací soustavy všech hal závodu spotřebovávají ročně přibližně 3000 MWh el. energie ročně. Při modernizaci všech osvětlovacích soustav a současné instalaci regulace by se dosáhlo úspory kolem 2050 MWh/rok tedy asi 67% úspory oproti současnému stavu. Při současné ceně elektřiny by se jednalo o úsporu cca 5,5 mil. Kč ročně.

V Tabulce 19 jsou uvedeny doby návratnosti při záměně stávajících svítidel za nová LED svítidla bez uvažování rekonstrukce elektrických rozvodů a bez uvažování použití regulace. V Tabulce 20 jsou pak uvedeny odhady dob návratnosti s uvažováním nových elektroinstalací, cenou montáže, regulace a nových rozvaděčů včetně vyzbrojení.

Odhady pro halu Svařovna nejsou provedeny z důvodu v současné době neproveditelné realizace nového osvětlení pomocí LED technologie (viz. 4.4.6). V Tabulce 19 si pak dále můžeme všimnout, že chybí výpočet návratnosti v 3. a 4. poli budovy 50 a to z důvodu záporné úspory v případě náhrady stávajícího osvětlení s regulací za LED osvětlení, které bude mít sice menší příkon (44 kW vs 35 kW), ale

stávající soustava má díky regulaci teoreticky nižší spotřebu. Množství nevyprodukovaných emisí jsou uvedena v Tabulce 21.

Tabulka 19 Čistá návratnost LED svítidel

Hala		očekávaná úspora (MWh)	cena svítidel (Kč)	návratnost (rok)
budova 50	pole 1. a 2.	2 x 358	2 x 1 500 000	1,55
	pole 3. a 4.	2 x -23	2 x 1 500 000	-
	pole 5. a 6.	2 x 120	2 x 1 500 000	4,62
	Lisovna	193	1 000 000	1,92
	Svařovna	22	380 000	6,33
	Sklad	22	380 000	6,33
	Severní přístavek	20	320 000	5,96
budova 147	Svařovna	176	-	-
	Cívkárna	300	850 000	1,05

Tabulka 20 Návratnost modernizace osvětlovacích soustav pomocí LED technologie

Hala		očekávaná úspora (MWh)	cena realizace (Kč)	návratnost (rok)
budova 50	pole 1. a 2.	2 x 415	2 x 2 300 000	2,05
	pole 3. a 4.	2 x 35	2 x 2 300 000	24,3
	pole 5. a 6.	2 x 177	2 x 2 300 000	4,81
	Lisovna	217	1 500 000	2,56
	Svařovna	26	600 000	8,61
	Sklad	26	600 000	8,61
	Severní přístavek	23	500 000	8,02
budova 147	Svařovna	197	-	-
	Cívkárna	336	1 400 000	1,54

Tabulka 21 Roční množství nevyprodukovaných emisí při modernizaci osvětlení

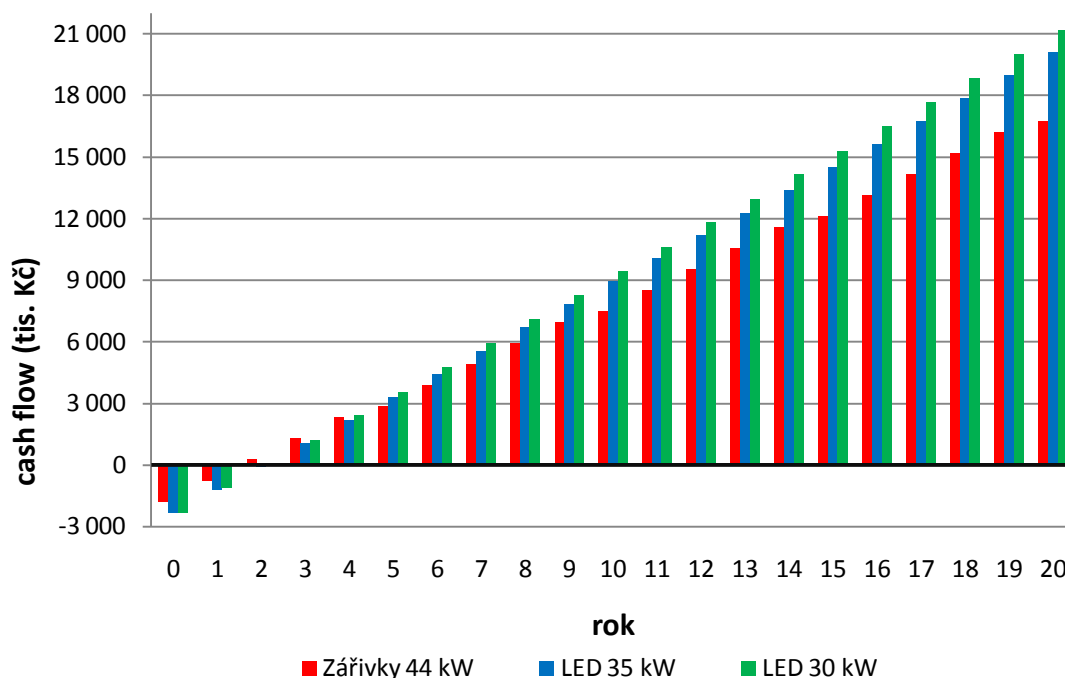
Tuhé látky (t)	SO ₂ (t)	NO _x (t)	CO (t)	CO ₂ (t)
6,2	10	15,8	1,3	2486

Zdaleka nejlepší návratnost vychází pro halu Cívkárna. Je to dáno především nízkou výškou světelného bodu, relativně nižší požadovanou minimální udržanou osvětleností 300 lx a zároveň velkým počtem provozních hodin.

V případě 1. pole budovy 50 jsou plány rekonstrukce osvětlení stejnou technologií, jaká je provedena v 3. a 4. poli. Teoretický příkon zářivkového osvětlení je oproti LED osvětlení pro 1. pole Obrobny o 9 kW nižší. Výhodou LED oproti zářivkám je dále delší životnost. Průběh cash flow obou variant je nastíněn

v následujícím Grafu 6 (tabulka je k nahlédnutí v Příloze 25). Životnost zářivek je odhadována na 5 let a životnost LED na 20 let. Cena výměny starých trubec za nové včetně montáže je odhadnuta na 500 tis Kč. V grafu je pro porovnání zaneseno i cash flow pro LED soustavu s teoretickým příkonem 30 kW. Regulace světel podle denního světla je předpokládána. Dále je uvažována stejná cena montáže a nové elektroinstalace.

Graf 6 Cash flow



Jak je z grafu vidno, návratnost obou řešení se pohybuje kolem 2 let. Pokud se podíváme více do budoucna, 10 let od investice má LED (35 kW) osvětlení náskok již 1,4 mil. Dlouhá životnost LED osvětlení a tedy nižší četnost údržby dále zajišťuje menší narušování samotné výroby. Z krátkodobého hlediska se však finančně jeví výhodnější varianta zářivkového osvětlení. Z dlouhodobého hlediska vychází lépe LED osvětlení, to ale pouze za předpokladu, že celé LED svítidlo bude mít životnost zmíněných 20 let (100 000 h). Většina výrobců ručí zárukou o délce 5 let, pro svítidlo samotné jsou nejčastěji udávané hodnoty 50 000 – 100 000 hodin. Často se však jedná pouze o životnost čipu a životnost zdroje je nižší.

7.2 Impregnační pec

U impregnační pece byly popsány dva návrhy jak uspořít tepelnou energii. První návrh (varianta I) počítá s úsporou 51 GJ tepelné energie v případě míšení odpadní vzdušiny se vzduchem z venkovní atmosféry. Druhý návrh (varianta II) pak

respektuje návrh rekuperačního výměníku, který by rekuperoval z odpadního tepla celkem 66 GJ tepelné energie. Jelikož i v tomto případě by nedocházelo k míšení odpadní vzdušiny se vzdušinou v hale, došlo by celkem k úspoře 117 GJ tepelné energie. V Tabulce 22 jsou uvedeny návratnosti po realizaci každé varianty. V Tabulce 23 jsou pak dále uvedena množství nevyprodukovaných emisí.

Tabulka 22 Návratnost varianty I a II při zlepšení managementu tepla u odpadní vzdušiny impregnační pece

	úspora (GJ)	cena realizace (Kč)	návratnost (rok)
varianta I	51	50 000	2,31
varianta II	117	150 000	3,03

Tabulka 23 Roční množství nevyprodukovaných emisí po zlepšení managementu tepla odpadní vzdušiny u impregnační pece

	Tuhé látky (kg)	SO ₂ (kg)	NO _x (kg)	CO (kg)	CO ₂ (kg)
varianta I	0,51	19,89	6,12	1,02	4182
varianta II	1,17	45,63	14,04	2,34	9594

7.3 Technologický ohřev rotorů

V případě náhrady rotačních budičů stejnosměrného proudu v 6. poli budovy 50 za moderní statické zdroje by došlo k úspoře asi 40 MWh elektrické energie ročně. Dále bylo zjištěno, že transformátor statického budiče je nepřetržitě napájený a přidáním vypínače by došlo k úspoře 23 MWh/rok. Návratnosti těchto změn jsou zaneseny v Tabulce 24 a množství nevyprodukovaných emisí v důsledku úspory el. energie pak v Tabulce 25.

Tabulka 24 Návratnost výměny rotačního budiče za statický a návratnost vypínače transformátoru statického zdroje v malém tunelu

opatření	úspora (MWh)	cena realizace (Kč)	návratnost (rok)
statický zdroj	40	900 000	8,33
vypínač transformátoru	23	50 000	0,81

Tabulka 25 Roční množství nevyprodukovaných emisí při realizaci výměny statického zdroje stejnosměrného proudu za rotační a vypínače pro trafo statického zdroje

opatření	Tuhé látky (t)	SO ₂ (t)	NO _x (t)	CO (t)	CO ₂ (t)
statický zdroj	0,120	0,212	0,308	0,026	48,520
vypínač transformátoru	0,069	0,122	0,177	0,015	27,899

Závěr

Cílem práce bylo posoudit energetické hospodářství podniku BRUSH SEM s.r.o. a navrhnout opatření, která by vedla ke snížení spotřeby elektrické energie.

V podniku dochází ke spotřebě cca 10 GWh elektrické energie a cca 40 GJ tepla ročně. Spotřeba elektrické energie je z dlouhodobého hlediska stabilní a její spotřeba se odvíjí od intenzity výroby. Spotřebu tepla se dlouhodobě daří snižovat díky zateplování budov, instalaci zařízení, která rekuperují zbytkové teplo z odsávání různých výrobních technologií, a z dalších důvodů, jako je například snížení teploty, na kterou se ohřívá vzduch ve výrobních halách v otopném období, atd.

V práci jsou nastíněna opatření, která by vedla k úspoře cca **2100 MWh** elektrické energie a **170 GJ** tepla. Při současných cenách by tak došlo k úspoře cca **5,7 mil. Kč/rok**. Co se týče fiktivních nevyprodukovaných emisí, zde by došlo k redukci bezmála 2 580 t CO₂ ročně.

Naprostou většinu úspor představuje výměna starého výbojkového osvětlení, kterým je v současné době osvětlena většina hal, za moderní LED průmyslové osvětlení. Nejlepší návratnost takovéto investice byla zjištěna pro 1. a 2. pole budovy 50, pro halu Lisovna a pro halu Cívkárna, kde se všude návratnost pohybuje do 3 let. Dalším nezanedbatelným podnětem pro instalaci nových světelných soustav je zlepšení zrakové pohody zaměstnanců při dodržení norem a tedy i zlepšení bezpečnosti.

Další návrh vedoucí k úsporám tentokrát tepelné energie spočívá ve změně způsobu nakládání s odpadním teplem u impregnační pece P-557. Instalací rekuperačního výměníku může dojít k úspoře 117 GJ tepla. Návratnost této investice by se pohybovala kolem 3 let. Určená hodnota uspořené tepla se dá považovat pouze za přibližný odhad. Pro přesnější výpočty by bylo nutné znát přesné parametry odpadního vzduchu pece, přesnou účinnost teplovzdušného vytápění „sahar“ v budově 50 a konečné parametry tepelného výměníku.

Poslední návrh představuje výměnu rotačního budiče v 6. poli budovy 50 za statický zdroj stejnosměrného proudu. Modernizací tohoto stanoviště by došlo k úspoře 40 MWh/ročně. Návratnost se navzdory prvotnímu optimistickému odhadu pohybuje někde kolem 8 let. Tento fakt je dán za prvé poměrně vysokou cenou samotného statického budiče a za druhé jeho relativně pořád nízkou účinností (v porovnání s rotačním budičem) při ohřevu malých rotorů. Při dalších úvahách

navrhuji prozkoumat účinnost statického budiče s nižším jmenovitým výkonem korespondujícím s velikostí většiny výrobků tak, aby byl využit co nejefektivněji. Současné zdroje stejnosměrného proudu jsou z pohledu velikosti většiny výrobků předimenzovány.

Dále bylo zjištěno, že transformátor statického budiče je nepřetržitě napájený a přidáním vypínače by došlo k úspoře 23 MWh/rok. Instalace vypínače dosahuje nejlepší návratnosti ze všech návrhů úspor, a sice 10 měsíců.

Při nahrazení výbojkového osvětlení úspornějším LED osvětlením a rotačního budiče za statický dojde ke snížení produkovaného odpadního tepla, což se teoreticky projeví jako zvýšení spotřebovaného tepla pro vytápění v otopném období. Tento fakt není nijak kalkulován.

Při zjišťování dalších oblastí možnosti úspor elektrické energie se jeví jako nejvíce fatální to, že i velké spotřebiče, jako jsou například karusely, pece atd., nemají na přívodech osazený elektroměr a nelze tedy exaktně určit jejich spotřebu. U nějakých zařízení sice již dochází alespoň k vedení časových záznamů o jejich vytížení, ale vzhledem k proměnlivosti odebíraného příkonu dochází při definování spotřeby jen k orientačním odhadům. Z těchto důvodů je stanovení podrobného složení spotřeby velmi problematické. Při renovaci zařízení nebo rozvodů doporučuji, všude kde to bude možné, instalaci elektroměrů.

Při velikosti úspor elektrické energie v případě modernizace osvětlení by se zdálo možné tuto oblast označit za kriticky zanedbanou. Je nutné si však uvědomit, že v případě „průmyslového“ LED osvětlení se jedná o novou technologii běžně (cenově) na trhu dostupnou teprve poslední 3 až 4 roky.

Obecně při hledání a především zavádění opatření energetických úspor musí často dojít k omezení výroby a tento fakt pak stačí pro zastavení úvah o jejich realizaci. Z hlediska obratu společnosti tvoří cena energií přibližně 1 až 2% a snížení jejich spotřeby, tedy i například o 20%, nehraje v porovnání s důležitostmi výroby významnou roli. Při návrzích investic jsou výrobní technologie též prioritou. Navzdory tomuto je spotřeba energií v závodě vnímána jako významná položka výrobních nákladů a snižování spotřeby je dlouhodobým cílem společnosti.

Literatura

- [1] *Proč výrobní podniky mají vysoké účty za energii? Protože chtějí* [online] [cit.2014-10-11] Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/provoz-technologie/11646-proc-vyrobni-podniky-maji-vysoke-ucty-za-energii-protoze-chteji>
- [2] LUKÁŠ DOSTÁL, *Možnosti řízení jasu světelných zdrojů* [online] [cit.2014-11-12] Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=9611
- [3] HABEL, Jiří, DVOŘÁČEK, Karel, DVOŘÁČEK, Vladimír, *Světlo a osvětlování*. 1. vyd. Praha: FFC Public s.r.o., 2013. 622 s. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [4] *Rekordy na poli výkonných LED* [online] [cit.2015-01-08] Dostupné z: <http://www.ledmania.cz/led-diody/rekordy-na-poli-vykonných-led>
- [5] *Rozdíl mezi LED čipy – Nichia, Cree, Silan, Epistar* [online] [cit.2015-01-08] Dostupné z: <http://www.top-osvetleni.cz/nove-produkty/led/347-rozdil-meziled-cipy-nichia-cree-silan-epistar>
- [6] *Jak si správně vybrat LED žárovku* [online] [cit.2015-01-08] Dostupné z: <http://www.kvalitni-led.cz/info/rozdil-v-technologie/>
- [7] *Solid-State Lighting Research and Development Multi-Year Program Plan* [online] [cit.2015-01-08] Dostupné z: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/ssl_mypp2014_web.pdf
- [8] *Základní pojmy osvětlení* [online] [cit.2015-01-08] Dostupné z: <http://www.power-tech.cz/led-lighting-pojmy.php>
- [9] *SVĚTELNÉ ZDROJE A SVÍTIDLA PRO VEŘEJNÉ OSVĚTLENÍ V ROCE 2012* [online] [cit.2015-01-17] Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/2230-seven-svetelne-zdroje-a-svitidla.pdf>
- [10] ČSN EN 12464-1 *Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů*, Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [11] *Průmyslové osvětlení* [online] [cit.2015-01-17] Dostupné z: <http://www.doublepower.cz/cs/prumyslove-osvetleni/>
- [12] *Výpočet udržovacího činitele pro LED zdroje* [online] [cit.2015-01-28] Dostupné z: <http://www.top-osvetleni.cz>
- [13] KÚSTKA, Petr, *Provozní řád zdroje znečišťování ovzduší: Impregnace*

- [14] *Průměrné venkovní teploty v otopném období pro vybrané lokality* [online] [cit.2015-02-14] [cit.2012-04-08] Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/26-prumerne-venkovni-teploty-v-otopnem-obdobi-pro-vybrane-lokality>
- [15] IBLER Zbyněk a kol., *Technický průvodce Energetika*. 1. vyd. Praha: BEN technická literatura, 2002. 615 s. ISBN 80-7300-026-1
- [16] *Plzeňská teplárna a.s.: Zpráva o činnosti 2013* [online] [cit.2015-02-14] Dostupné z: http://www.pltep.cz/upload/File/VZ_2013/pt-vz-2013-Zprava-o-cinnosti.pdf
- [17] SRDEČNÝ, Karel, TRUXA, Jan, *Obnovitelné zdroje energie v Jižních čechách a Rakousku*, Praha: ARSCI,
- [19] *Informace o LED* [online] [cit.2015-02-14] Dostupné z: http://www.setrisvetlem.cz/cz/informace_o_led.html
- [20] *LED ve veřejném osvětlení* [online] [cit.2015-02-14] Dostupné z: http://www.svn.cz/assets/files/seminare_a_konference/2014/seminar-vo-leden/led-ve-vo-zak.pdf
- [21] *Technologie LED žárovek* [online] [cit.2015-02-18] Dostupné z: <http://www.ledtip.cz/cz-clanky-4.html>
- [22] *Typy světelných diod* [online] [cit.2015-02-18] Dostupné z: <http://freyaled.com/cs/blog/typy-svetelnych-diod-pro-domacnosti>
- [23] *LED Chip Type Basics*[online] [cit.2015-02-18] Dostupné z: <http://www.candleray.com/resources/led-lighting/led-chip-types-basics>
- [24] KADRNOŽKA, Jaroslav, OCHRANA, Ladislav, *Teplárenství*. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2001.178 s. ISBN 80-7204-222-X
- [25] KRBEK, Jaroslav, OCHRANA Ladislav, POLESNÝ, Bohumil, *Průmyslová energetika*. Brno: PC-DIL, 1996, 198s. ISBN 80-214-0831-6
- [26] BOUDA, Jiří, *Zpráva o provedení energetického auditu v podniku BRUSH SEM s.r.o.*, 2009
- [27] BOUDA, Jiří, *Odborné posouzení opatření provedených v areálu závodu BRUSH SEM s.r.o směřující ke snížení spotřeby tepla a el. energie*, 2014

Zdroje obrázků

- [1] <http://plantator.com.pl/233-thickbox/zarowka-hps-250w-osram-plantastar.jpg>
- [2] <http://www.brush-sem.cz>
- [3] <http://www.svetzarovek.eu/produkty/big/nbb/32026-vysokotlaka-sodikova-vybojka-hps-t-250w-e40-super.jpg>
- [4] http://cdn1.bigcommerce.com/server2300/43185/product_images/uploaded_images/high-cri-led-strip-lighting.jpg?t=1398725710
- [5] <http://www.csled.cz/cz/obsah/18-barva-svetla-chromaticnost>
- [6] http://www.techpark.sk/application_data/techpark/uploads/Image/technika_3-4_2013/tron2.jpg
- [7] http://www.earchitekt.cz/obrazky2008/03/_8152_svetlo_0208_clanek/06.jpg
- [8] http://img1.wikia.nocookie.net/__cb20091124211644/buehnenlicht2009/de/images/5/5f/Spektrum_Natrium.jpg
- [9] <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/39197.pdf>
- [10] <http://www.neon-lighting.com/articles/spect-mercury-clear.gif>
- [11] <http://www.predistribuce.cz/data/photogallery/9C9441E56B125920E20ABFC7EFFDF97D/big/13.jpg>
- [12] http://www.etna.cz/assets/files/ke%20stazeni/1_Moderni_soustavy_vo.pdf
- [13] <http://www.candleray.com/resources/led-lighting/led-chip-types-basics>
- [14] <http://www.greenlux.cz/img.asp?stiid=1064>
- [15] <http://miniimg.rightinthebox.com/images/384x384/201407/zkmmcb1405506636027.jpg>
- [16] http://www.cidly.cz/_obchody/zkouska.shop5.cz/prilohy/1/whitecolor-0.jpg.big.jpg
- [17] http://www.all4led.cz/static_pages_files/image/Teplota%20chromaticnosti.jpg

Seznam obrázku

Obr. 1 Historická fotografie [3]	13
Obr. 2 Letecký snímek závodu BRUSH SEM s.r.o [3]	14
Obr. 3 Příprava vložení rotoru do statoru [3]	15
Obr. 4 Aplikování filtru, který simuluje index barevného podání na fotografii [4] ..	29
Obr. 5 Teplota chromatičnosti [6].....	30
Obr. 6 Vyzařovací křivky (vpravo) LED svítidla highbay o příkonu 110 W za použití optiky (odshora) o vyzařovacím úhlu 45°, 60° a 80° a modelovaná světelná mapa při instalaci svítidla v krychli o délce strany 5 m (vlevo). Rozsah stupnice (0, 100, 150, 200, 300, 500, 750 lx).	30
Obr. 7 Poměrné spektrální složení světla pro různé zdroje [7].....	32
Obr. 8 Poměrné spektrální složení světla nízkotlaké sodíkové výbojky [8]	32
Obr. 9 Závislost měrného výkonu na tlaku sodíkových par [9]	33
Obr. 10 Poměrné spektrální složení světla vysokotlaké rtuťové výbojky [10]	34
Obr. 11 Vysokotlaká rtuťová výbojka bez luminosforu [11]	34
Obr.12 Vysokotlaká sodíková výbojka 250W [3]	34
Obr. 13 Poměrné spektrální složení světla vysokotlaké sodíkové výbojky [1]	34
Obr. 14 Porovnání vývoje měrného světelného výkonu LED čipů s ostatními zdroji světla [12]	35
Obr. 15 DIP LED a power LED [13]	36
Obr. 16 SMD 5050 čipy ve svítidle patice GU10 [14]	36
Obr. 17 COB LED čip 100 W [15]	37
Obr. 18 Průmyslové LED svítidlo "highbay" – různí výrobci.....	38
Obr. 19 Impergnační pece P1588 (vlevo) a P-577 (vpravo)	48
Obr. 20 Výsledky programu Návrh deskového výměníku KASTT	53
Obr. 21 Schéma navrženého tepelného výměníku s rozměry	54
Obr. 22 Ohřev rotoru v 6. poli budovy č. 50.	55
Obr. 23 Ohřev rotoru v malém tunelu.	55

Seznam tabulek

Tabulka 1 Transformátory v trafostanici R147	18
Tabulka 2 Transformátory v ostatních rozvodnách	19
Tabulka 3 Přehled spotřeby elektrické energie v letech 2010-2014 (kWh)	22
Tabulka 4 Přehled spotřeby tepla v letech 2010-2014 (GJ)	23
Tabulka 5 Přehled spotřeby elektrické energie pro rok 2014	25
Tabulka 6 Popis osvětlovacích soustav jednotlivých výrobních hal	28
Tabulka 7 Vývoj měrné světelné účinnosti u LED čipů za posledních 8 let (laboratorní podmínky) [4]	35
Tabulka 8 Porovnání parametrů běžně dostupných zdrojů světla pro průmyslovém osvětlení [9]	37
Tabulka 9 Z normy ČSN EN 12464-1, str. 23. [10]	39
Tabulka 10 LED světla nahrazující 400 W vysokotlakou rtuťovou výbojku	42
Tabulka 11 LED světla nahrazující 1000 W vysokotlakou sodíkovou výbojku	43
Tabulka 12 LED světla nahrazující 2000 W vysokotlakou halogenovou výbojku ...	45
Tabulka 13 Vybrané šítkové hodnoty rotačního budiče	56
Tabulka 14 Naměřené hodnoty – ohřev pomocí rotačního budiče	56
Tabulka 15 Šítkové hodnoty transformátoru a statického zdroje stejnosměrného napětí	57
Tabulka 16 Naměřené hodnoty – ohřev pomocí statického budiče	57
Tabulka 17 Vyprodukované emise hnědouhelnou elektrárnou pro výrobu 1 MWh elektrické energie [17]	60
Tabulka 18 Vyprodukované emise Plzeňskou Teplárnou a.s. pro výrobu 1 GJ tepelné energie [16]	60
Tabulka 19 Čistá návratnost LED svítidel	61
Tabulka 20 Návratnost modernizace osvětlovacích soustav pomocí LED technologie	61
Tabulka 21 Roční množství nevyprodukovaných emisí při modernizaci osvětlení ..	61
Tabulka 22 Návratnost varianty I a II při zlepšení managementu tepla u odpadní vzdušiny impregnační pece	63
Tabulka 23 Roční množství nevyprodukovaných emisí po zlepšení managementu tepla odpadní vzdušiny u impregnační pece	63

Tabulka 24 Návratnost výměny rotačního budiče za statický a návratnost vypínače transformátoru statického zdroje v malém tunelu	63
Tabulka 25 Roční množství nevyprodukovaných emisí při realizaci výměny statického zdroje stejnosměrného proudu za rotační a vypínače pro trafo statického zdroje.....	63

Seznam grafů

Graf 1 Podíl 6 základních skupin na spotřebě elektrické energie	25
Graf 2 Srovnání zdrojů světla nahrazující 400 W vysokotlakou rtuťovou výbojku ..	42
Graf 3 Srovnání zdrojů světla nahrazující 1000 W vysokotlakou sodíkovou výbojku při různé konfiguraci	44
Graf 4 Srovnání vybraných LED zdrojů světla nahrazující 2000 W vysokotlakou halogenovou výbojku při různé konfiguraci	45
Graf 5 Srovnání vybraných LED zdrojů světla nahrazující 1000 W vysokotlakou halogenovou v dlouhém poli haly cívkárna	47
Graf 6 Cash flow	62

Seznam Příloh

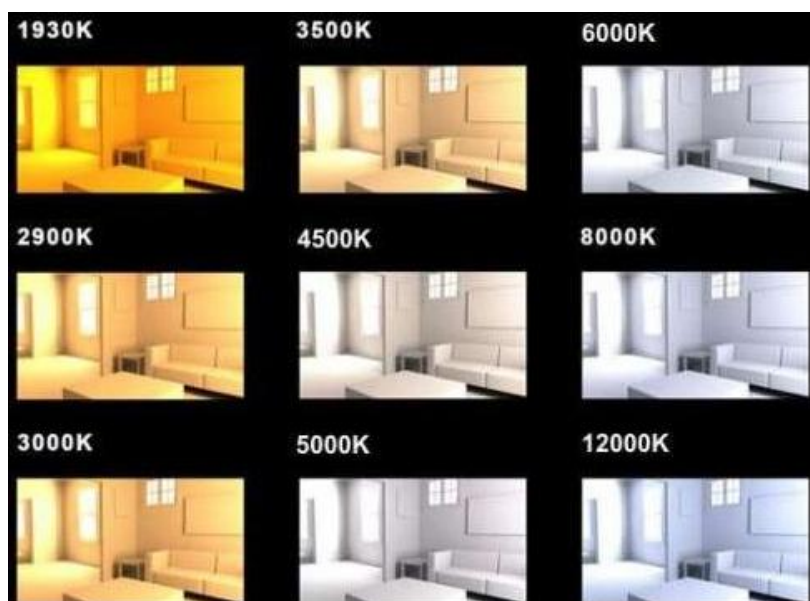
Příloha 1 Mapa areálu BRUSH SEM s.r.o Příloha 2 Teplota chromatičnosti [16][17].	1
Příloha 2 Teplota chromatičnosti [16][17]	2
Příloha 3 Hodnoty činitele znečištění svítidel v závislosti na délce intervalu čištění [12]	3
Příloha 4 Simulace v programu ReluxPro	4
Příloha 5 Foto Lisovna	7
Příloha 6 Naměřené hodnoty osvětlenosti v hale Lisovna	8
Příloha 7 Tabulka s výsledky simulací a mapy osvětlenosti pro Lisovnu	9
Příloha 8 Naměřené hodnoty osvětlenosti v hale Obrobna	11
Příloha 9 Tabulka s výsledky simulací a mapy osvětlenosti pro jedno pole Obrobny	12
Příloha 9 Foto Obrobna	14
Příloha 10 Foto Svařovna	15
Příloha 11 Tabulka s výsledky simulací a mapy osvětlenosti pro halu Svařovna	16
Příloha 12 Foto Cívkárna	18
Příloha 13 Tabulka s výsledky simulací a mapy osvětlenosti pro halu Cívkárna	19
Příloha 14 Přehledové schéma rozvodny R147	21
Příloha 15 Přehledové schéma rozvodny R501	22
Příloha 16 Systém Energis.....	23
Příloha 17 Grafický záznam průběhu měření VOC a teploty v potrubí za filtrem....	25
Příloha 18 Světelný rozvaděč pro první polovinu 1. a 2. pole (Obrobny) budovy 50 a světelný rozvaděč pro druhou polovinu modernizovaných polí 5. a 6.	26
Příloha 20 Fotografie z měření ohřevu rotačním budičem.....	28
Příloha 20 Fotografie štítku transformátoru a statického zdroje	29

Příloha 21 Fotografie rozvodové skříně a pojistkového odpínače napájecího transformátoru 200 kVA pro statický zdroj ohřevu	30
Příloha 22 Postup návrhu deskového výměníku v programu od firmy KASTT	31
Příloha 23 Trendy ve spotřebě elektrické a tepelné energie v průběhu jednoho roku (2010 - 2014)	32
Příloha 24 Vývoj spotřeby elektrické energie a tepla a jejich cen v letech (2000 – 2014)	33
Příloha 25 Cash flow	34

Příloha 1 Mapa areálu BRUSH SEM s.r.o



Příloha 2 Teplota chromatičnosti [16][17]



Východ či západ slunce
3000-4000K



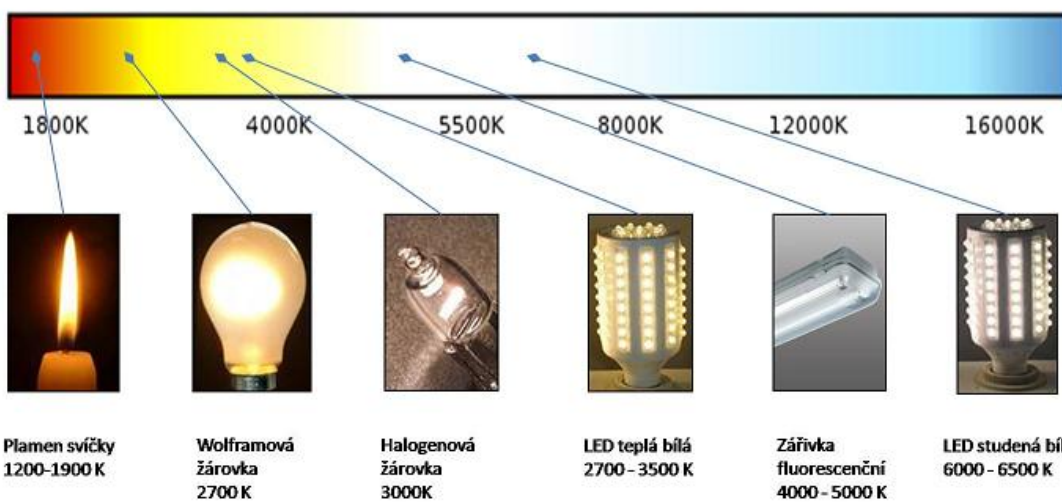
Přímě sluneční světlo
5000K



Oblačná obloha
6000K



Jasná polední obloha
10000K a více

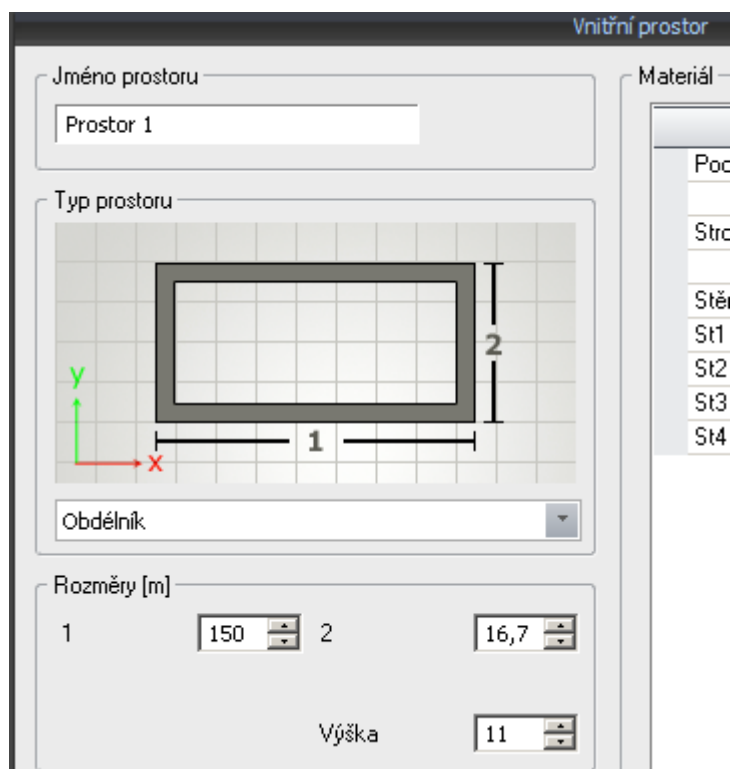


Příloha 3 Hodnoty činitele znečištění svítidel v závislosti na délce intervalu čištění [12]

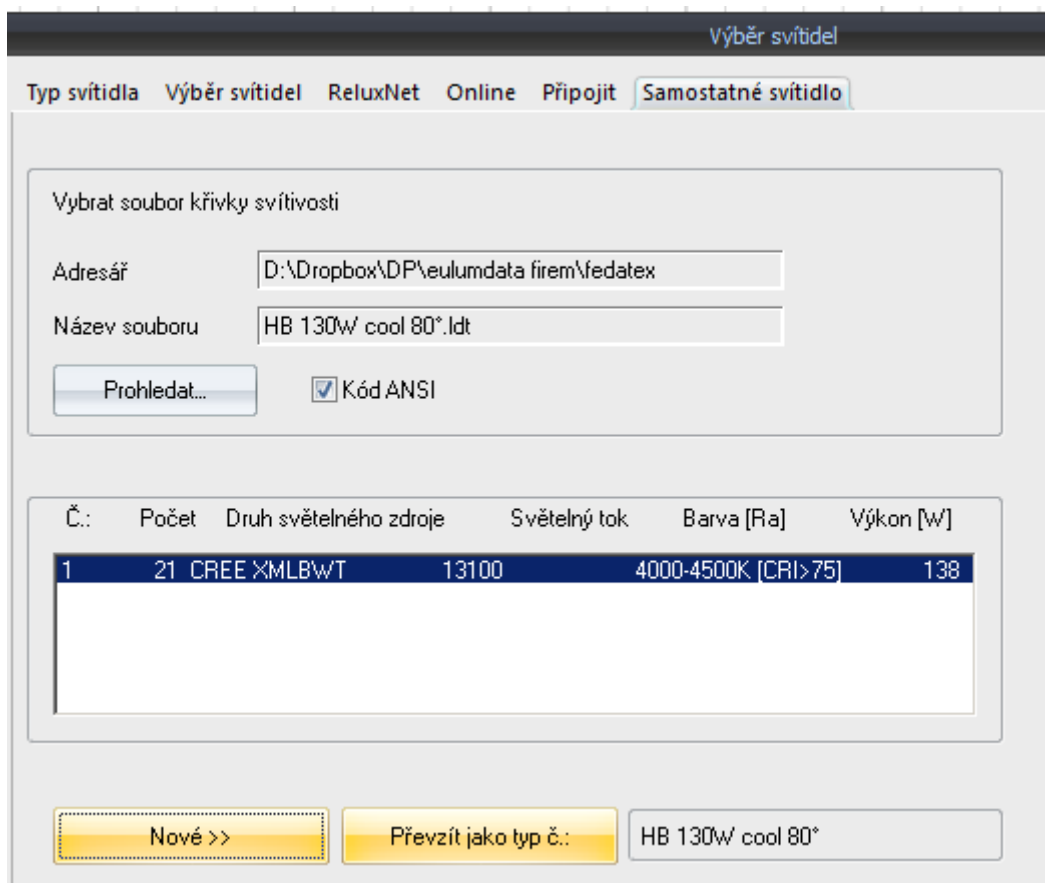
Stupeň krytí optické části svítidla	Znečištění ovzduší*	Hodnoty činitele znečištění svítidel v závislosti na délce intervalu čištění (roky)				
		1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
IP 2X	malé	0,82	0,80	0,79	0,78	0,78
	střední	0,62	0,58	0,56	0,54	0,53
	velké	0,53	0,48	0,45	0,43	0,42
IP 5X	malé	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88
	střední	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82
	velké	0,89	0,87	0,84	0,80	0,76
IP 6X	malé	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90
	střední	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
	velké	0,91	0,90	0,88	0,85	0,83

Příloha 4 Simulace v programu ReluxPro

1) Definování prostoru.



2) Import dat světelných (příklad).



- 3) Rozmístění světel.
- 4) Upřesňující parametry.

EasyLux

Typ svítidla

HB 130W cool 80°
 IDEALD
 HB 130W cool 80° .ltd
 HB 130W cool 80°
 21xCREE XMLBWT
 13100 lm
 374 mm x 467 mm

Udržovací čísel

0,72
 ČSN EN12464...

Druh montáže

Volná montáž

Montážní výška

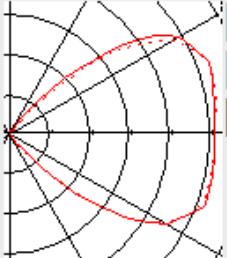

10,2 m
 Výška světelného bodu = 9,97 m

Počet svítidel
 Intenzita osvětlení

Rozmístění svítidel

Směrování hlavních os

Počet svítidel: 29 x 4

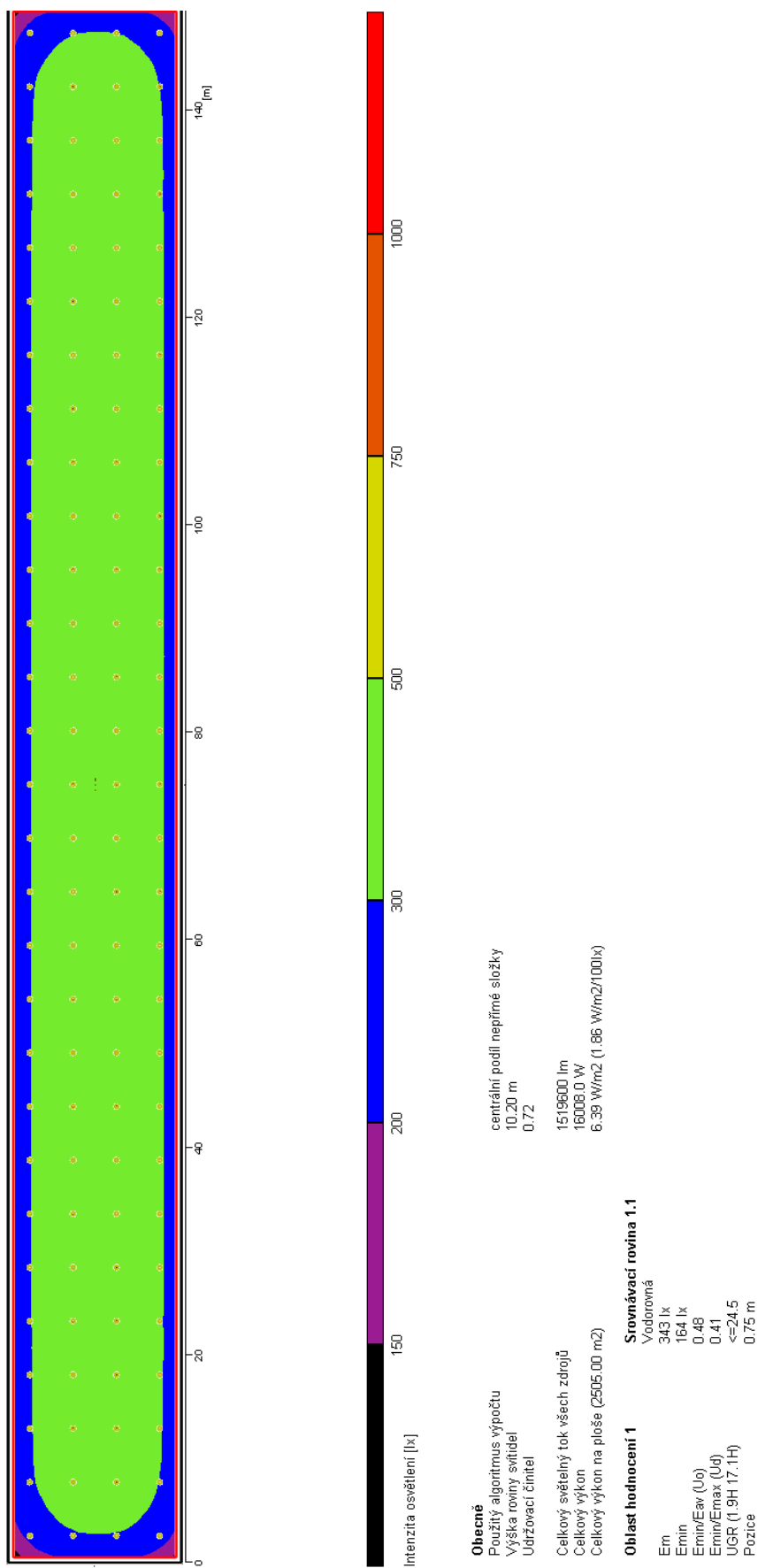



Výsledek: 116 svítidel ~ = 341 lx

Výsledek: 116 svítidel, Em = 343 lx, Emin/Em = 1:2.09 (0.48), P = 6.39 W/m2

Nápověda %

5) Výsledky.



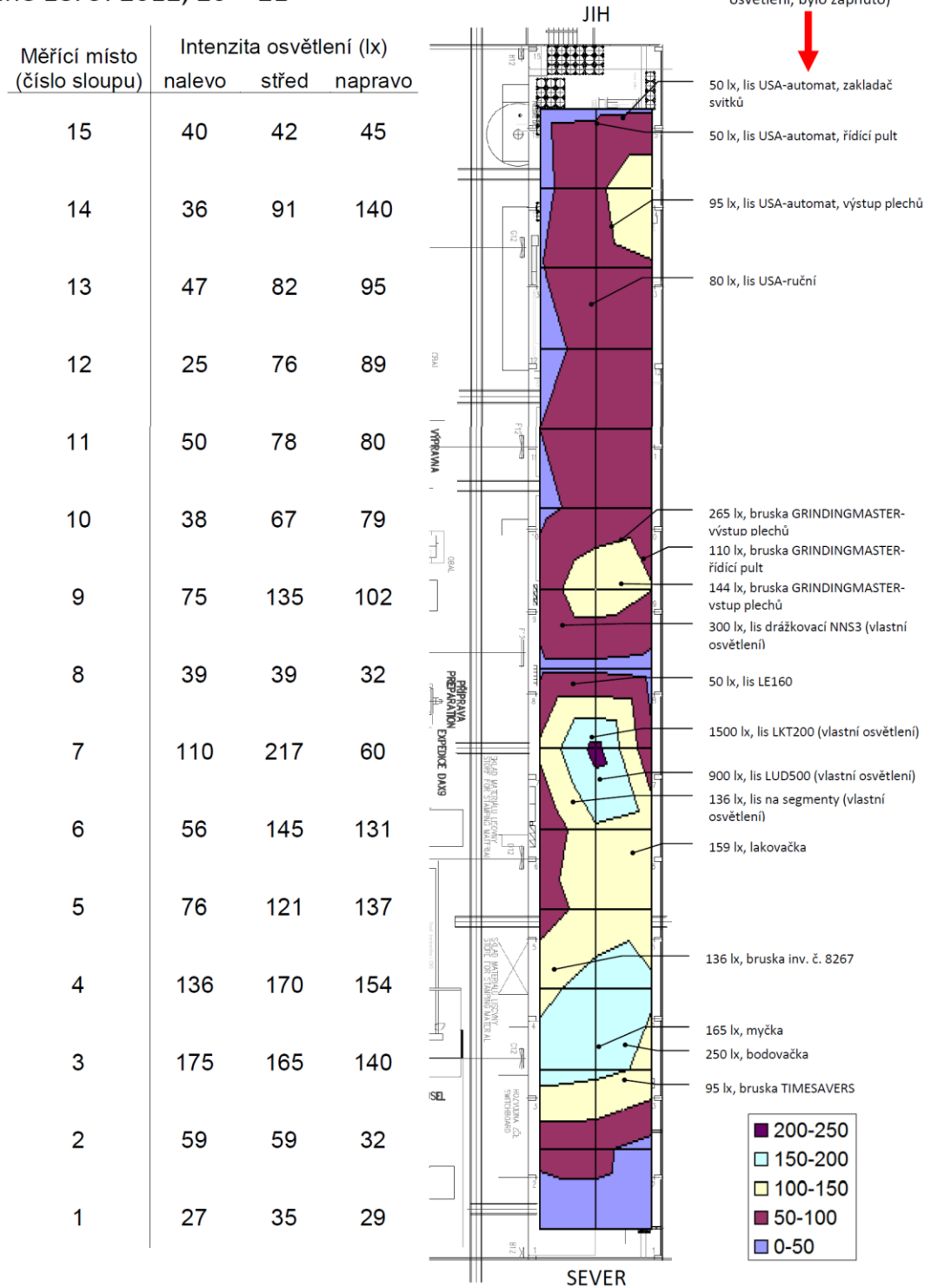
Příloha 5 Foto Lisovna



Příloha 6 Naměřené hodnoty osvětlenosti v hale Lisovna

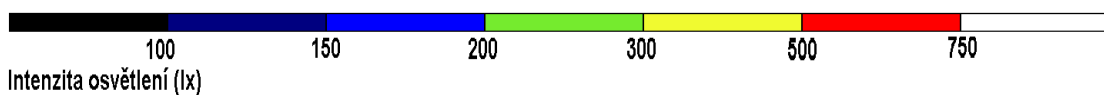
Měření osvětlení v lisovně ve výšce 1,2 m nad podlahou
dne 18. 9. 2012, 20³⁰-21⁰⁰

intenzita osvětlení na pracovních pozicích (pokud měl stroj vlastní osvětlení, bylo zapnuto)

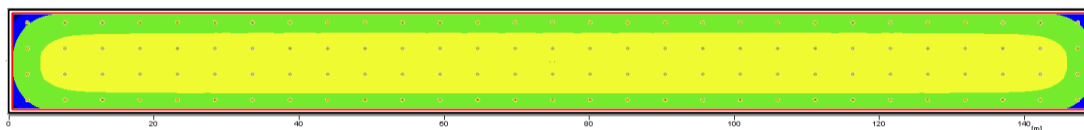


Příloha 7 Tabulka s výsledky simulací a mapy osvětlenosti pro Lisovnu

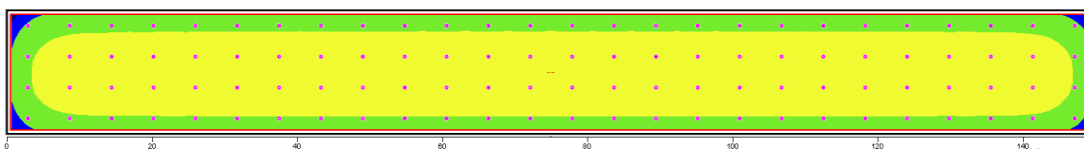
označení	Příkon svítidla (W)	Em (lx)	Emin (lx)	Emin/Eav (Uo)	Příkon soustavy (kW)
Fedatex IL-HB-Cool-110W	110	305	146	0,48	13,7
Fedatex IL-HB-Cool-130W	130	324	156	0,48	14,4
Fedatex IL-HB-Cool-180W	180	529	254	0,48	20,9
BITIS GX 14k4 840 112W	112	395	208	0,53	13
BITIS GX 18k2 840 148W	148	429	260	0,53	17,2
BITIS GX 20k6 840 170W	170	557	293	0,53	19,7
Tesla-lightning IL3011xx 110W	110	350	194	0,55	12,3
Tesla-lightning IL3013xx 130W	130	420	233	0,55	14,7
Tesla-lightning IL3018xx 180W	180	593	329	0,55	20,5



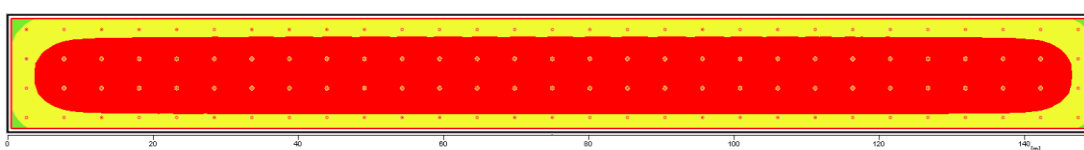
Fedatex IL-HB-Cool-110W



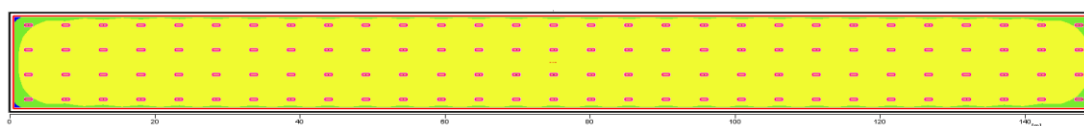
Fedatex IL-HB-Cool-130W



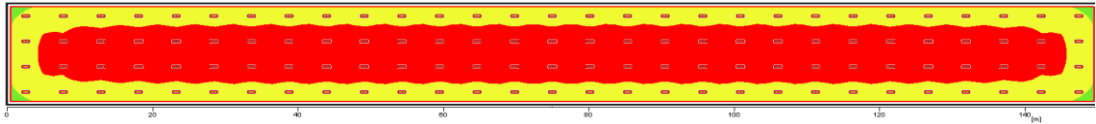
Fedatex IL-HB-Cool-180W



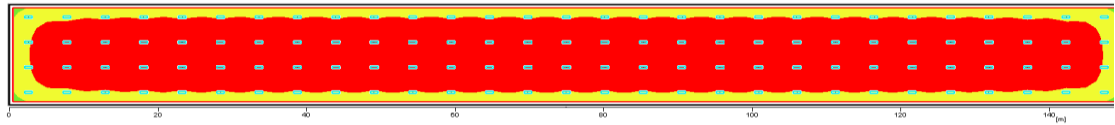
BITIS GX 14k4 840 112W



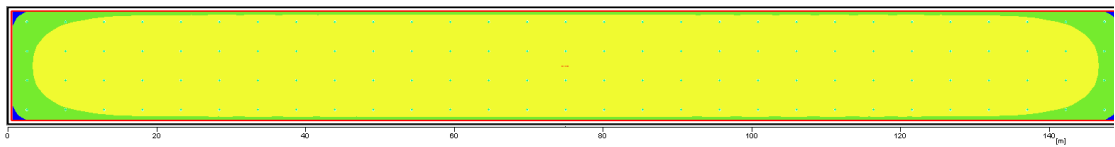
BITIS GX 18k2 840 148W



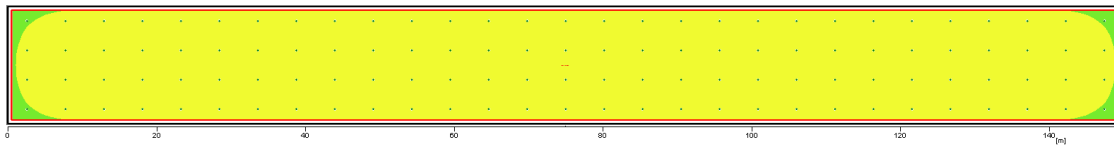
BITIS GX 20k6 840 170W



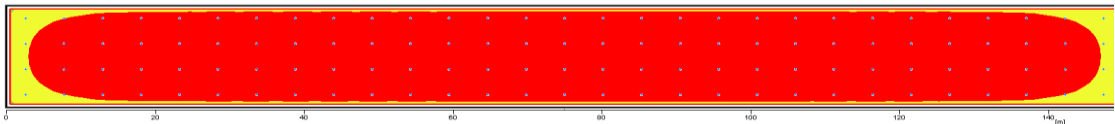
Tesla-lightning IL3011xx 110W



Tesla-lightning IL3013xx 130W



Tesla-lightning IL3018xx 180W



Příloha 8 Naměřené hodnoty osvětlenosti v hale Obrobna

Poznámka: naměřené hodnoty jsou ve skutečnosti hodnoty ze 4. pole budovy 50 před rekonstrukcí osvětlení. Nejedná se tedy přímo o hodnoty naměřené v 1. a 2. poli budovy 50. Hodnoty jsou však přibližně srovnatelné se současným stavem 1. a 2. pole.

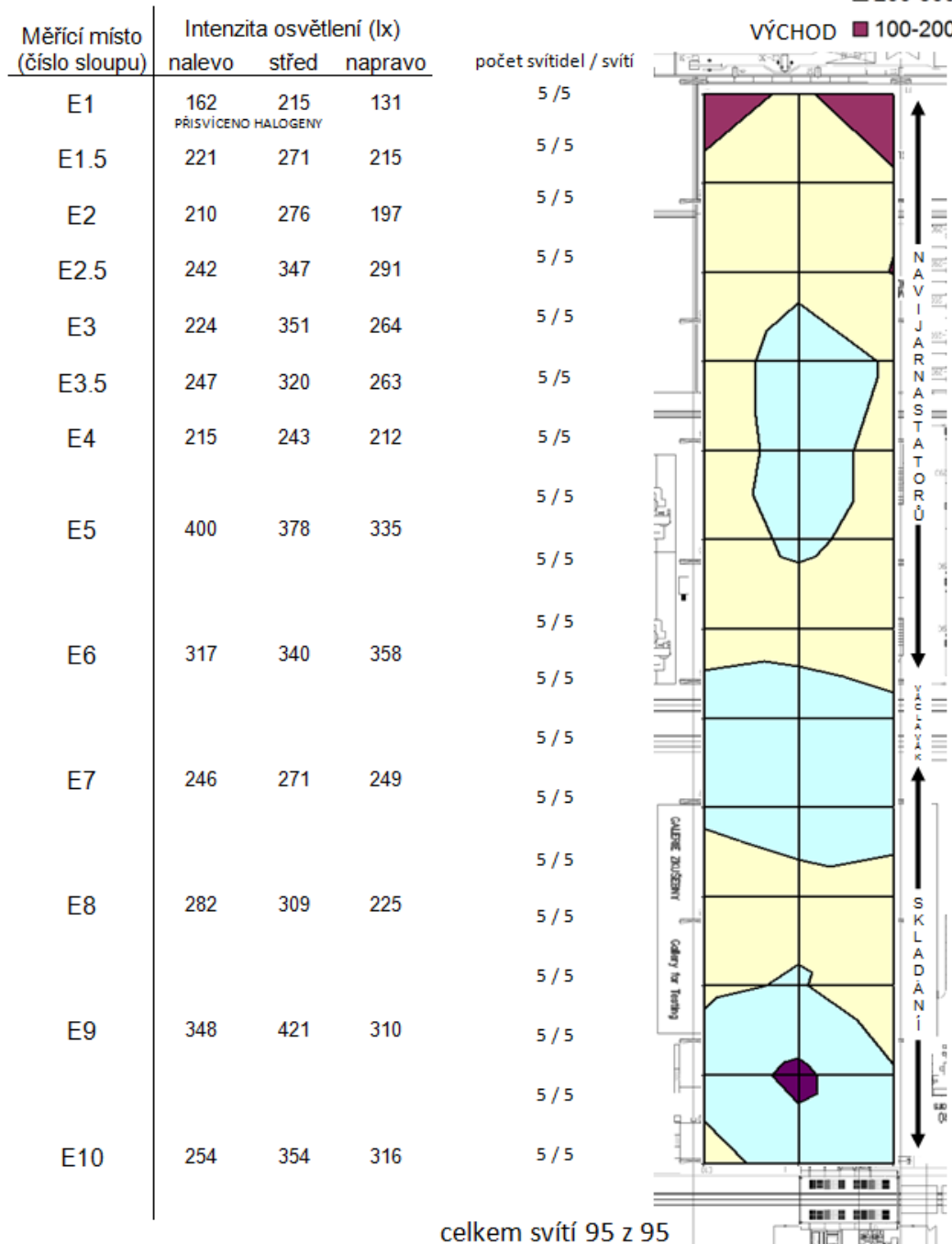
Měření osvětlení v NAVIJÁRNĚ a SKLÁDÁNÍ ve 4. poli
(1,2 m nad podlahou) dne 17.12.2013, 5⁵⁰_6⁴⁵

■ 400-500

□ 300-400

□ 200-300

■ 100-200

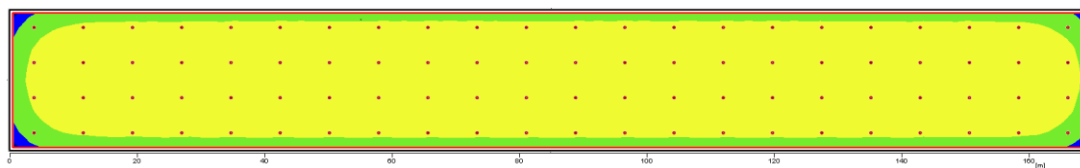


Příloha 9 Tabulka s výsledky simulací a mapy osvětlenosti pro jedno pole Obrobny

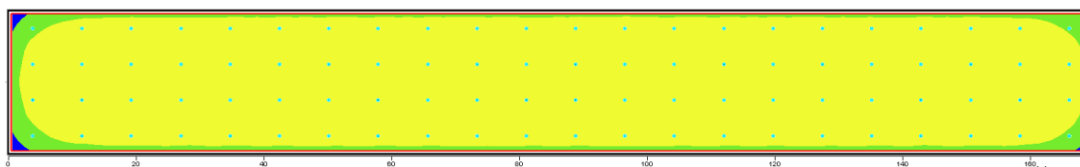
označení	konfig.	Příkon svítidla (W)	Em (lx)	Emin (lx)	Emin/Eav (Uo)	Příkon soustavy (kW)
Fedatex IL-HB-Cool-280	22*4	280	368	167	0,45	26
Fedatex IL-HB-Cool-300	22*4	300	399	181	0,45	27,8
Fedatex IL-HB-Cool-320	22*4	320	420	191	0,45	29,6
Doublepower Highbay 320	22*4	320	431	209	0,49	29,8
Doublepower Highbay 400	22*4	400	540	263	0,49	37,2
Fedatex IL-HB-Cool-280	22*5	280	459	208	0,45	32,6
Fedatex IL-HB-Cool-300	22*5	300	497	227	0,46	34,8
Fedatex IL-HB-Cool-320	22*5	320	523	239	0,46	37
Doublepower Highbay 320	22*5	320	538	262	0,49	37,7
Doublepower Highbay 400	22*5	400	672	328	0,49	46,5



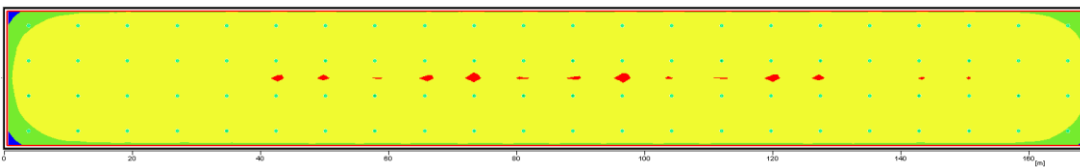
Fedatex IL-HB-Cool-280 22*4



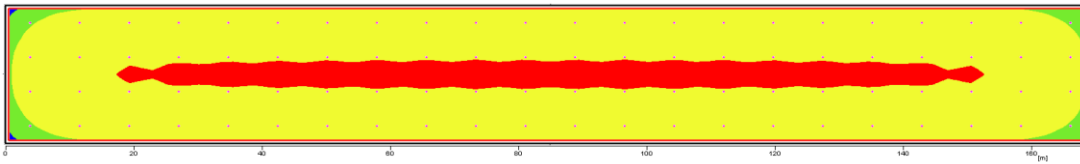
Fedatex IL-HB-Cool-300 22*4



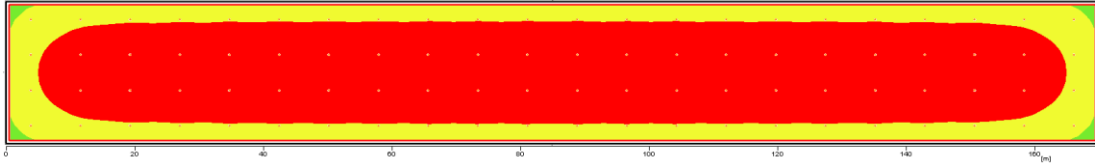
Fedatex IL-HB-Cool-320 22*4



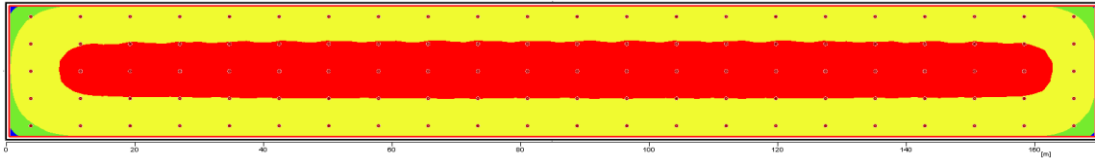
Doublepower Highbay 320 22*4



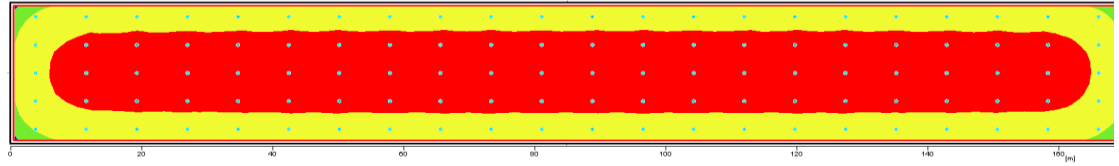
Doublepower Highbay 400 22*4



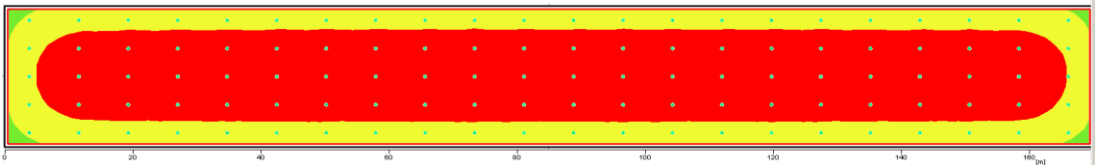
Fedatex IL-HB-Cool-280 22*5



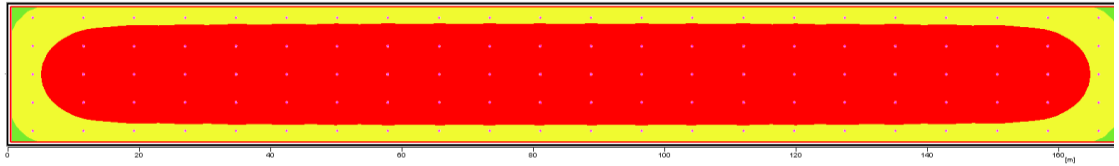
Fedatex IL-HB-Cool-300 22*5



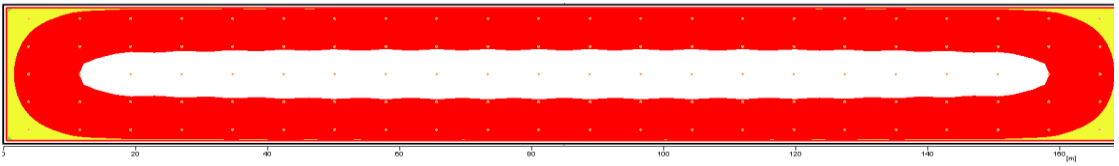
Fedatex IL-HB-Cool-320 22*5



Doublepower Highbay 320 22*5



Doublepower Highbay 400 22*5



Příloha 9 Foto Obrobna

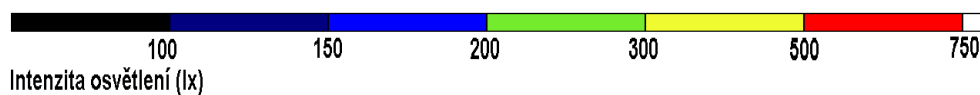


Příloha 10 Foto Svařovna

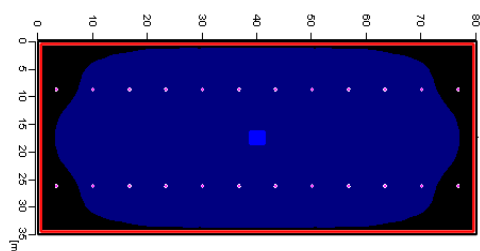


Příloha 11 Tabulka s výsledky simulací a mapy osvětlenosti pro halu Svařovna

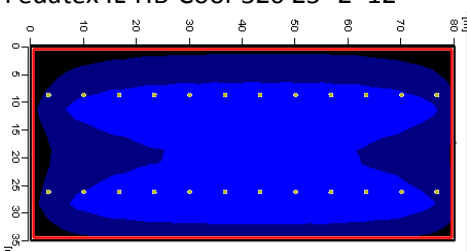
označení	konfig. 2*	Příkon svítidla (W)	Em (lx)	Emin (lx)	Emin/Eav (Uo)	Příkon soustavy (kW)
Tesla-lightning IL3524xx	12	240	119	62	0,52	5,7
Fedatex IL-HB-Cool-320 25°	12	320	146	56	0,38	7,7
Fedatex IL-HB-Cool-320 45°	12	320	147	72	0,49	7,7
Doublepower Highbay 400	12	400	177	95	0,53	10,2
Fedatex IL-HB-Cool-320 25°	25	320	303	116	0,38	16
Fedatex IL-HB-Cool-320 45°	25	320	306	148	0,48	16
Tesla-lightning IL3524xx	31	240	306	162	0,53	14,7
Doublepower Highbay 400	21	400	310	165	0,53	17,8



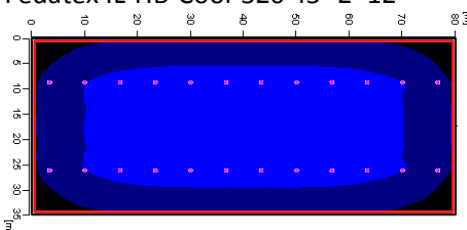
Tesla-lightning IL3524xx 2*12

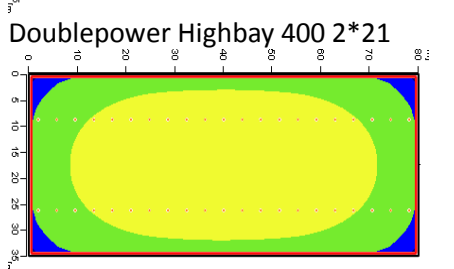
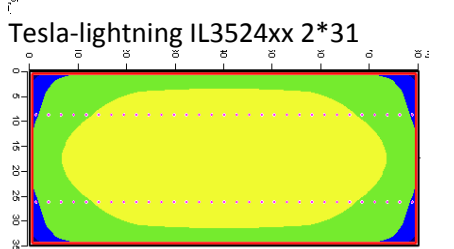
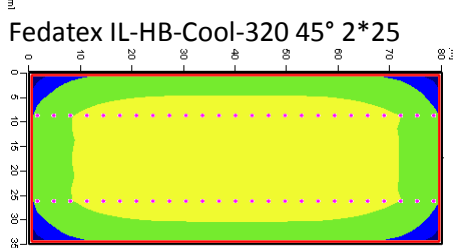
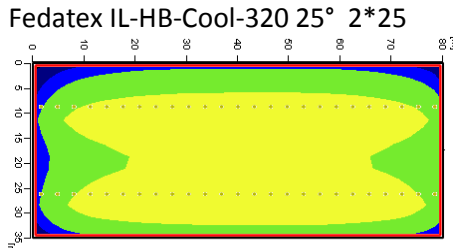
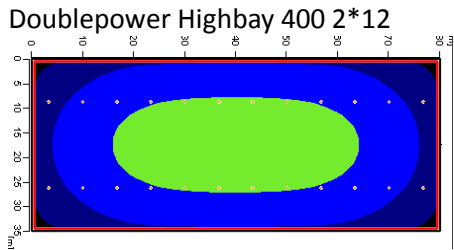


Fedatex IL-HB-Cool-320 25° 2*12



Fedatex IL-HB-Cool-320 45° 2*12



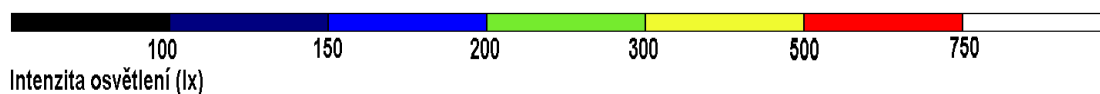


Příloha 12 Foto Cívkárna

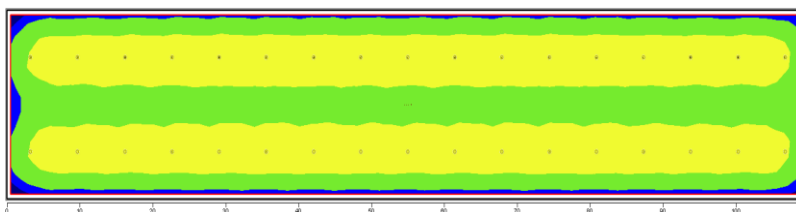


Příloha 13 Tabulka s výsledky simulací a mapy osvětlenosti pro halu Cívárna

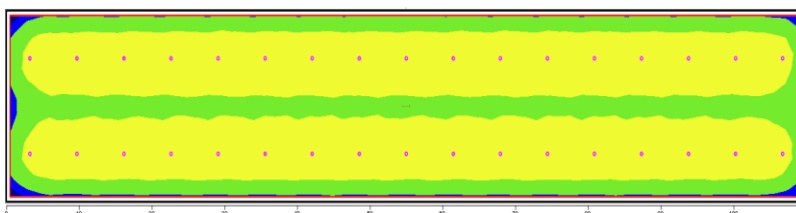
označení	konfig.	Příkon svítidla (W)	Em (lx)	Emin (lx)	Emin/Eav (Uo)	Příkon soustavy (kW)
Fedatex IL-HB-Cool-280	17*2	280	300	149	0,5	10
Fedatex IL-HB-Cool-300	17*2	300	325	161	0,5	10,7
Fedatex IL-HB-Cool-320	17*2	320	342	170	0,5	11,4
Doublepower Highbay 320	17*2	320	353	189	0,53	11,5
Doublepower Highbay 400	17*2	400	424	236	0,53	14,4



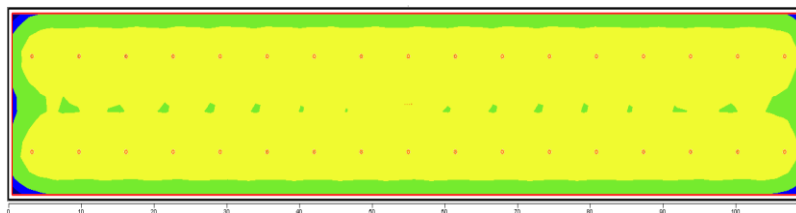
Fedatex IL-HB-Cool-280 W 17*2



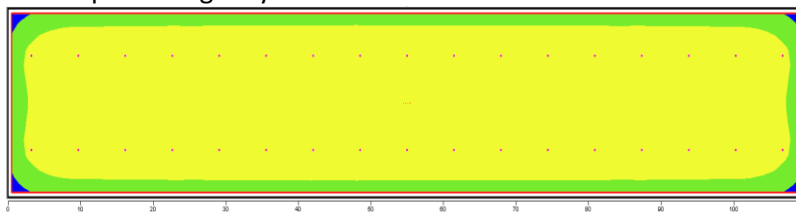
Fedatex IL-HB-Cool-300 W 17*2



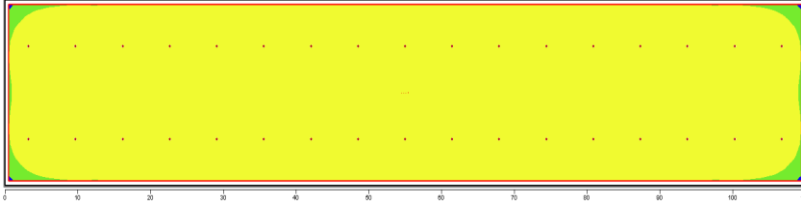
Fedatex IL-HB-Cool-320 W 17*2



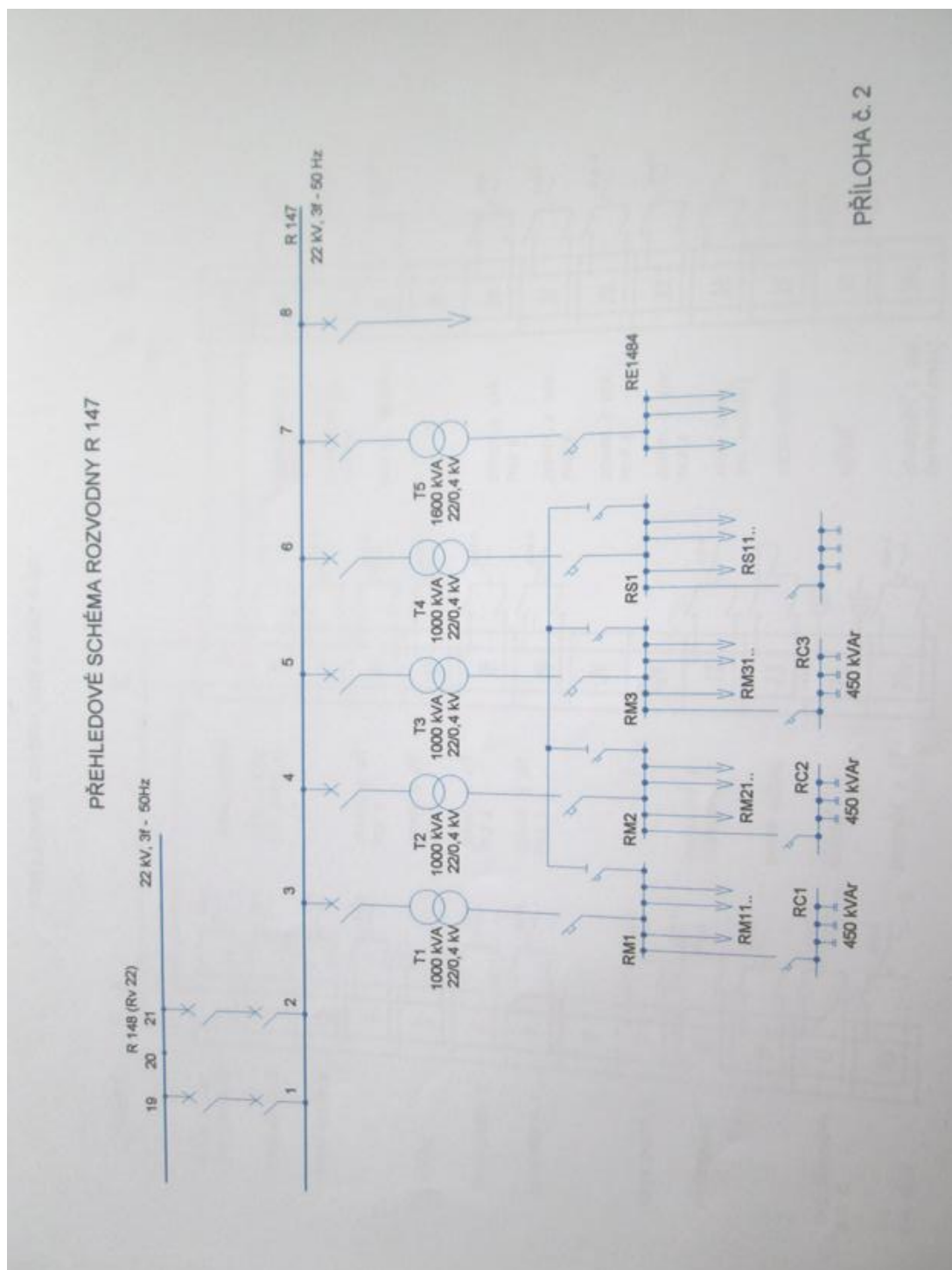
Doublepower Highbay 320 W 17*2



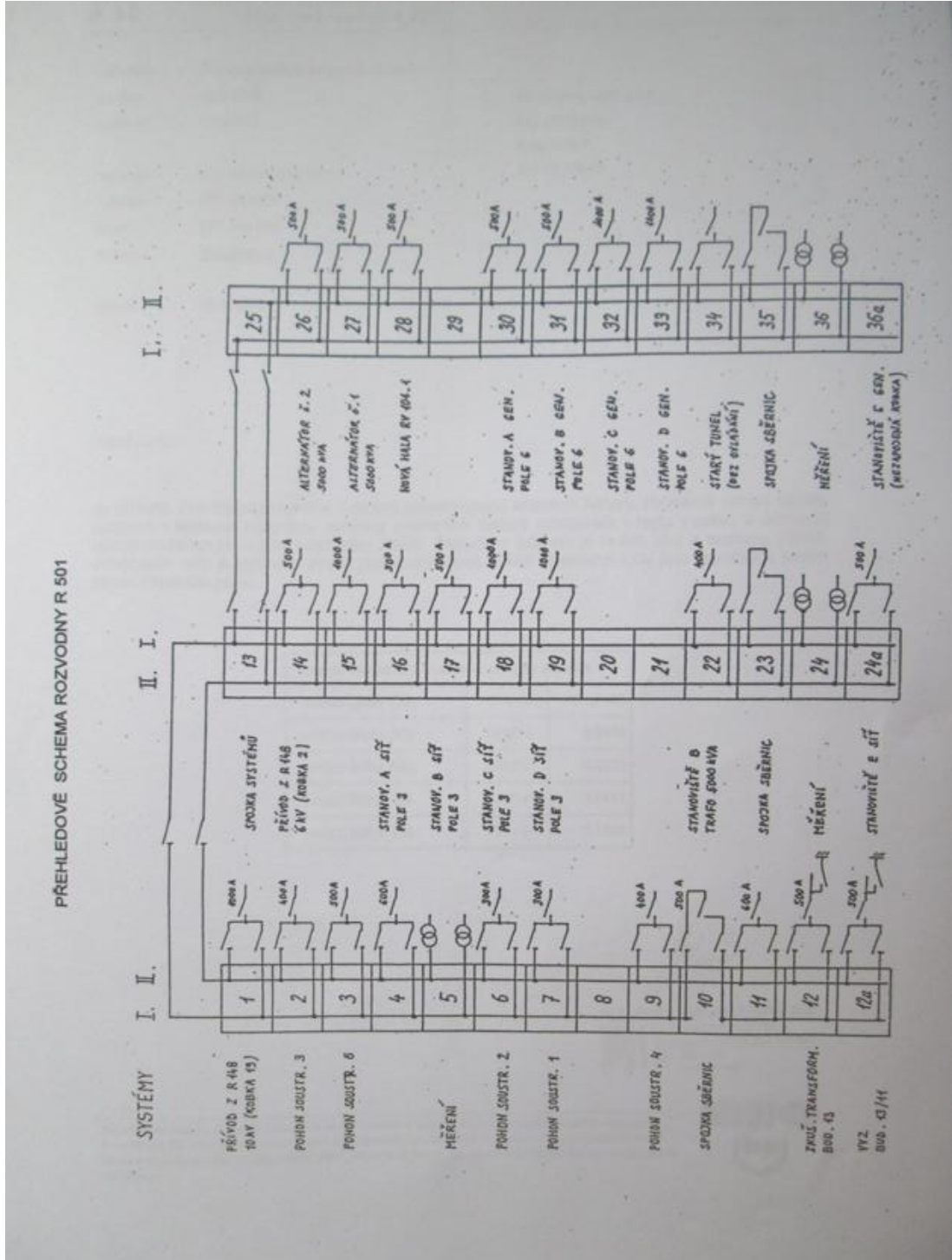
Doublepower Highbay 400 W 17*2



Příloha 14 Přehledové schéma rozvodny R147

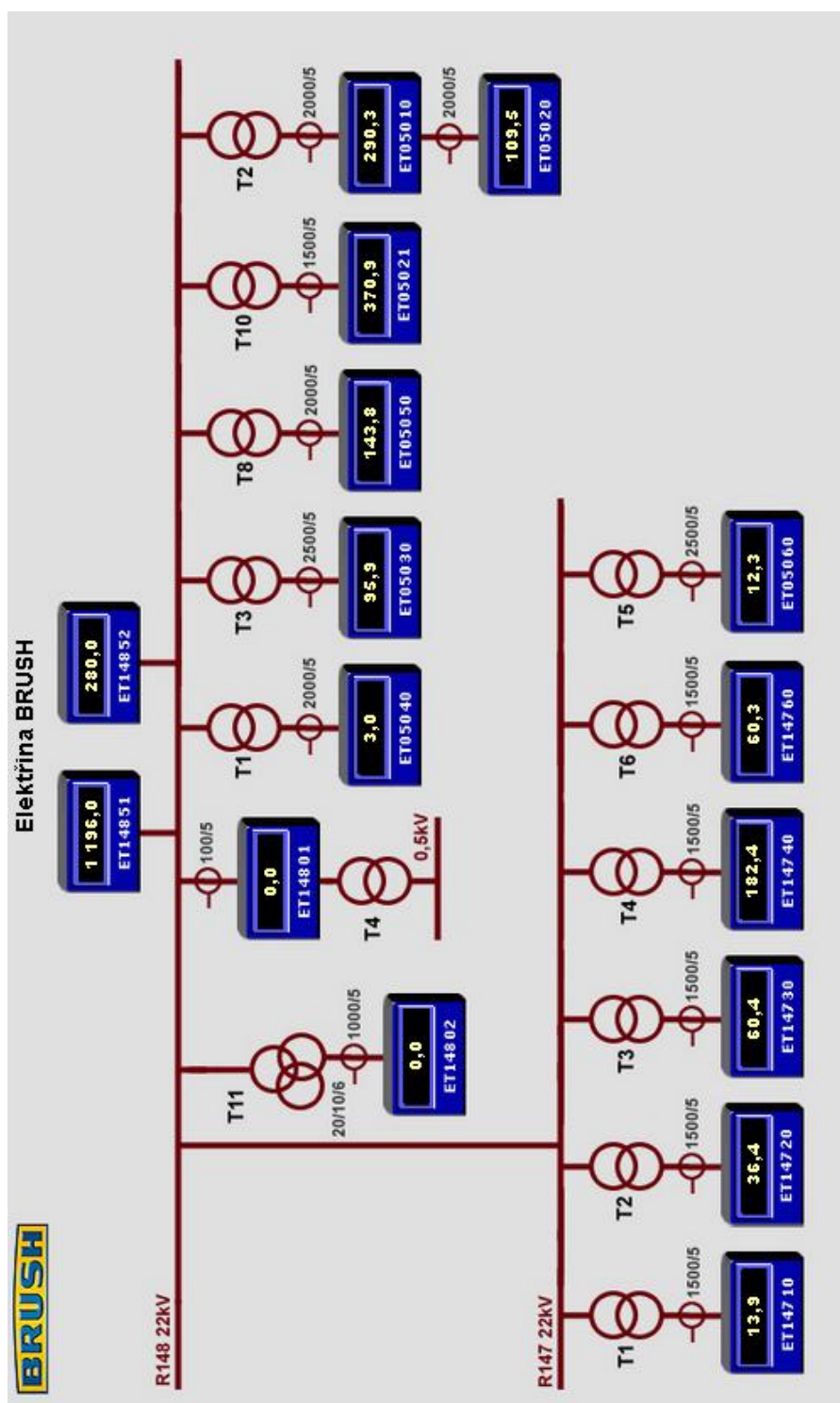


Příloha 15 Přehledové schéma rozvodny R501

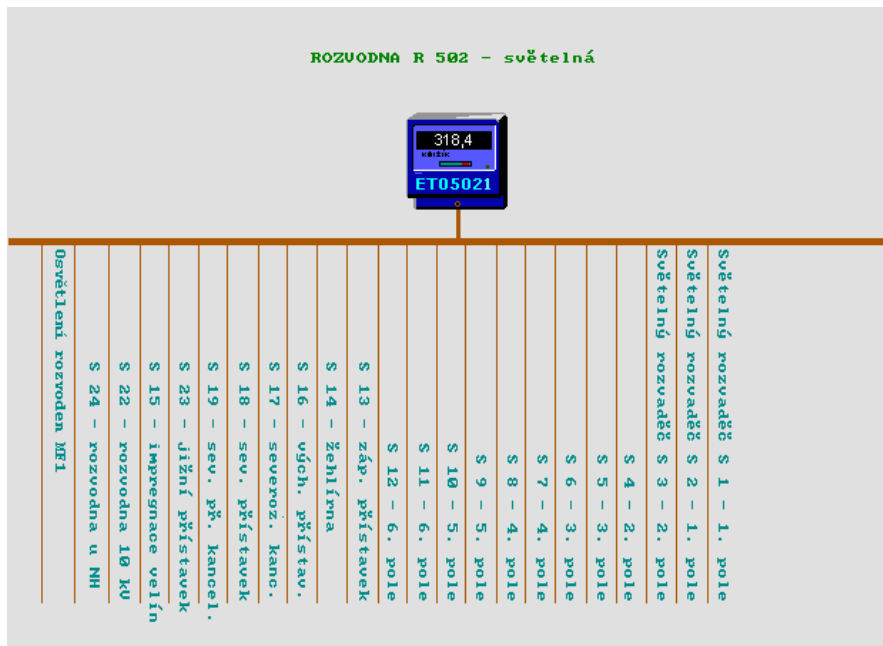


Příloha 16 Systém Energis

Schematické zapojení elektroměrů



Informace o připojených spotřebičích na elektroměru a aktuální spotřeba.



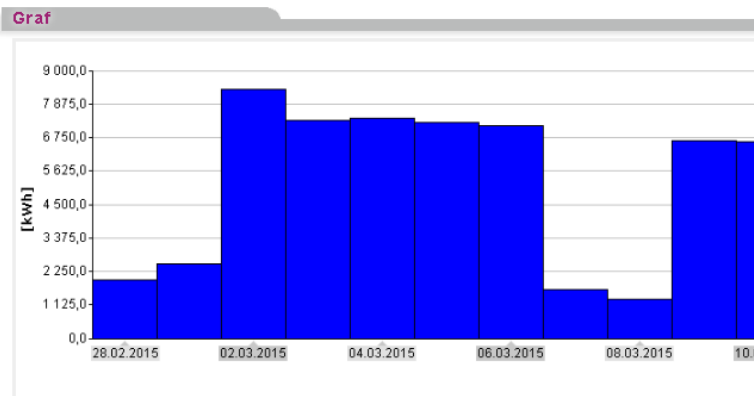
Po kliknutí na elektroměr lze zobrazit historii spotřeby a grafy.

Data

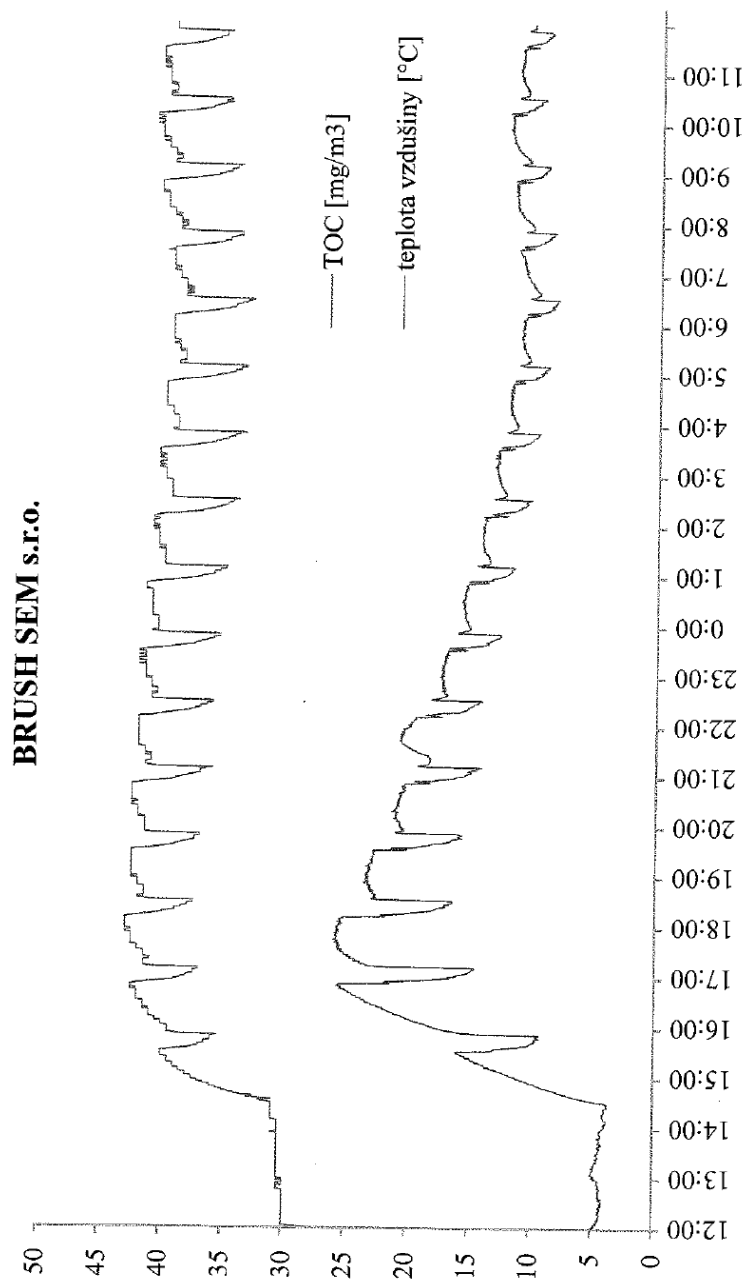
5536111-ET05020 - 28.02.2015 - 31.03.2015

Řádky: 1 - 32 , Celkem: 32

Datum	Den celkem	Špičkový tarif	Vysoký tarif	Nízký tarif
>> 28.02.2015	1 995,0	0,0	0,0	1 995,0
>> 01.03.2015	2 526,0	0,0	0,0	2 526,0
>> 02.03.2015	8 394,8	0,0	5 928,0	2 466,8
>> 03.03.2015	7 341,0	0,0	4 702,5	2 638,5
>> 04.03.2015	7 411,5	0,0	4 839,8	2 571,8
>> 05.03.2015	7 256,3	0,0	4 932,0	2 324,3
>> 06.03.2015	7 158,8	0,0	5 146,5	2 012,3
>> 07.03.2015	1 665,0	0,0	0,0	1 665,0
>> 08.03.2015	1 318,5	0,0	0,0	1 318,5
>> 09.03.2015	6 675,8	0,0	4 512,0	2 163,8
>> 10.03.2015	6 618,8	0,0	4 187,3	2 431,5
>> 11.03.2015	7 330,5	0,0	4 965,0	2 365,5
>> 12.03.2015	7 980,0	0,0	5 619,8	2 360,3
>> 13.03.2015	7 518,0	0,0	5 601,0	1 917,0
>> 14.03.2015	2 235,0	0,0	0,0	2 235,0



Příloha 17 Grafický záznam průběhu měření VOC a teploty v potrubí za filtrem

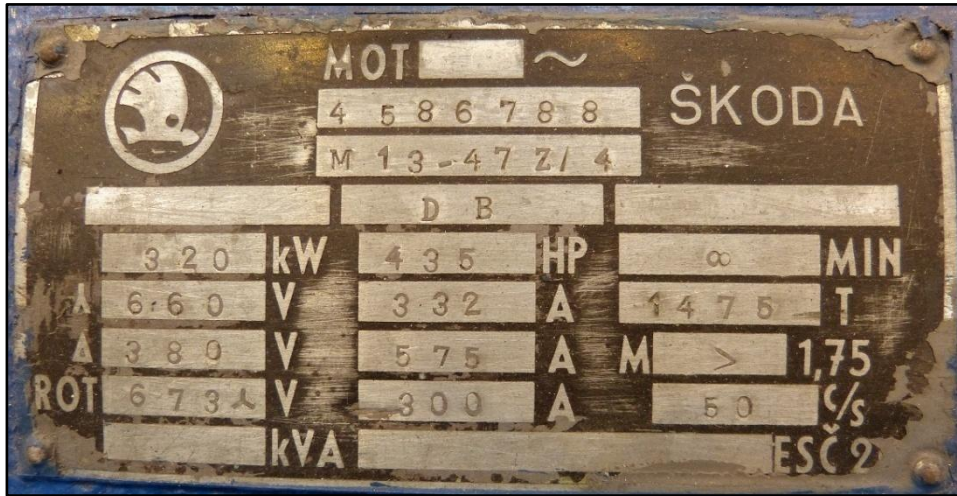


Příloha 18 Světelný rozvaděč pro první polovinu 1. a 2. pole (Obrobny) budovy 50 a světelný rozvaděč pro druhou polovinu modernizovaných polí 5. a 6.



Příloha 19 Fotografie štítků strojů rotačního budiče

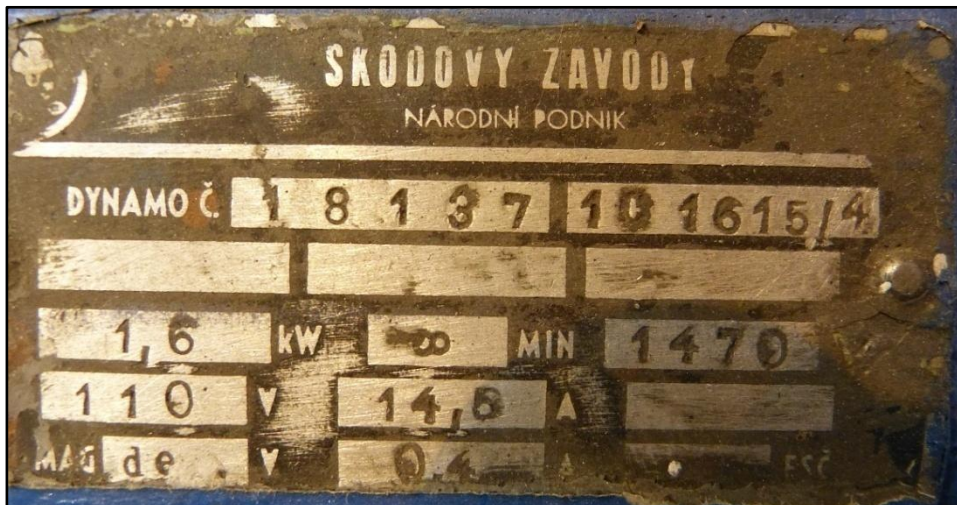
Motor 320 kW:



Dynamo 308 kW:



Budič dynama 1,6 kW:



Příloha 20 Fotografie z měření ohřevu rotačním budičem

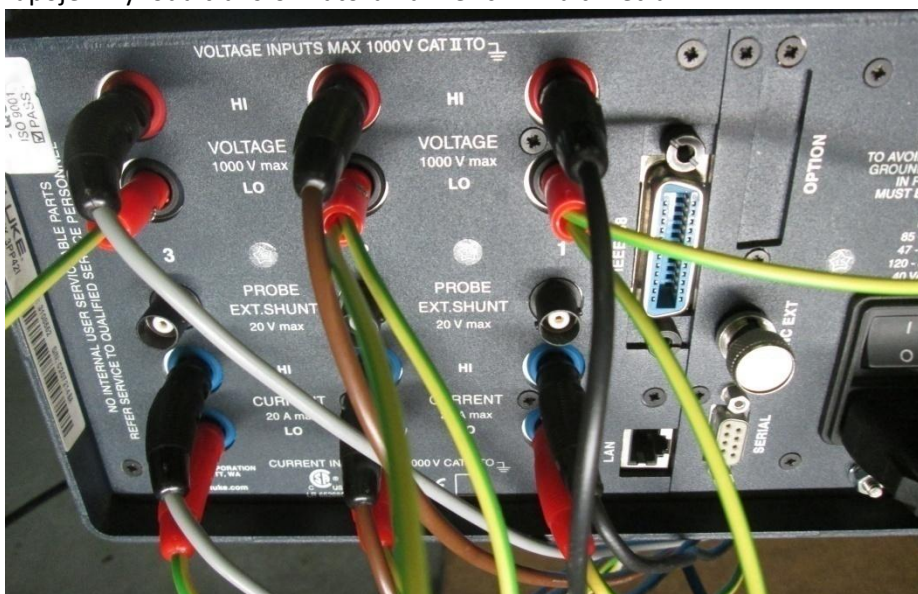
Rotační budič:



Měřicí transformátory napětí a proudu na přívodech:

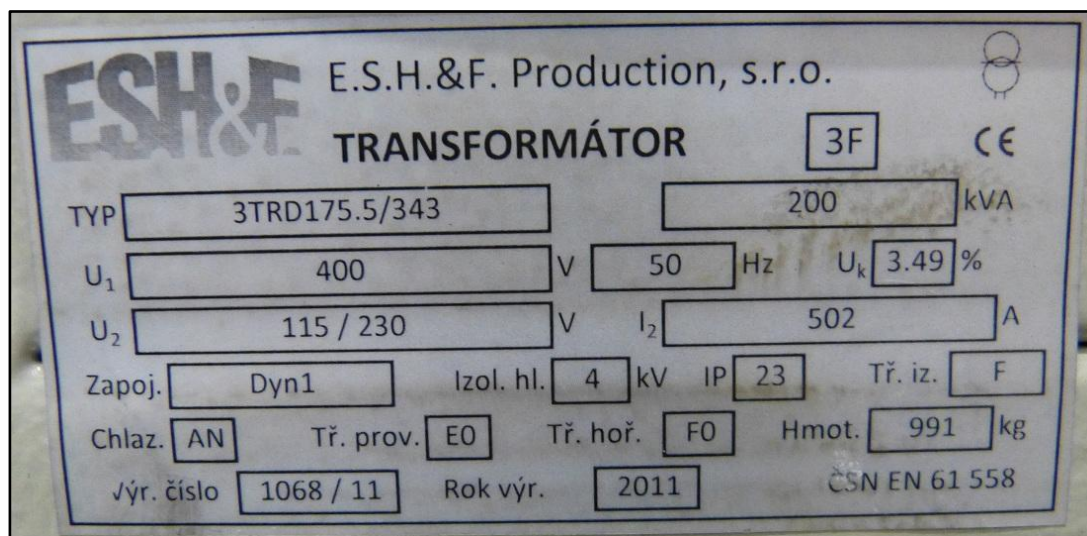


Zapojení vývodů transformátorů na měřícím multimetru:

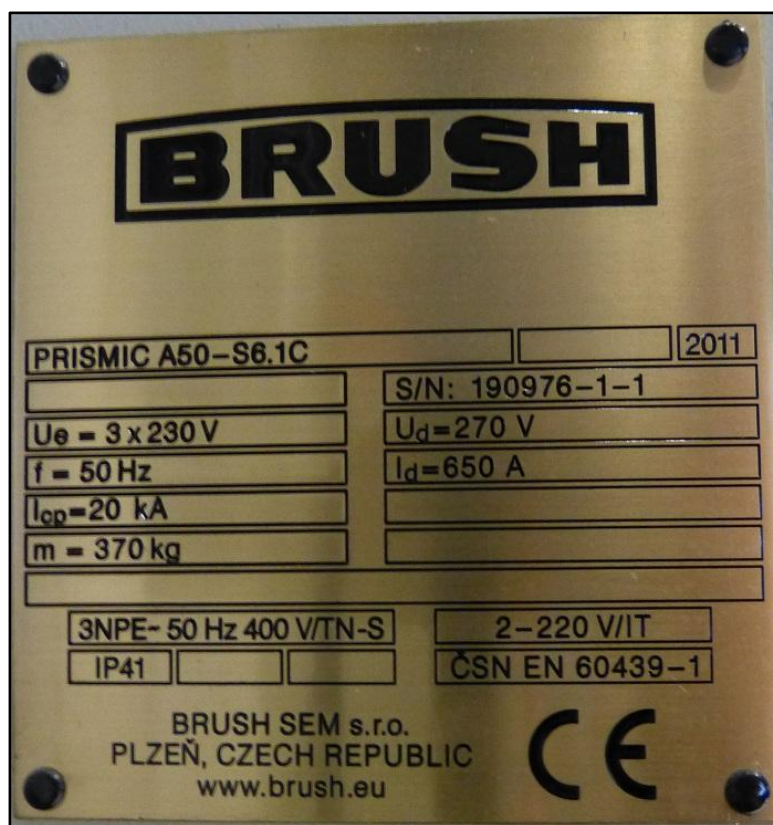


Příloha 20 Fotografie štítku transformátoru a statického zdroje

Transformátor 200 kVA pro statický zdroj:



Statický zdroj výroby BRUSH:



Příloha 21 Fotografie rozvodné skříně a pojistkového odpínače napájecího transformátoru 200 kVA pro statický zdroj ohřevu

Rozvaděč 400 V v malém tunelu:



Pojistkový odpínač na přívodu 400 V:



Příloha 22 Postup návrhu deskového výměníku v programu od firmy KASTT

1. Zadání parametrů přívodního vzduchu.

Přívodní vzduch		
Standardní množství:	<input type="text" value="0.5"/>	<input type="radio"/> [m3/h] <input checked="" type="radio"/> [m3/s] <input type="button" value="?"/>
Vstupní množství:	0.626	[m3/s]
Teplota:	<input type="text" value="80"/>	[°C]
Vlhkost:	<input type="text" value="10"/>	[%]
Abs. vlhkost:	32.3	[g/kg]
Entalpie:	241.1	[kJ/kg]
Hustota:	0.97	[kg/m3]

2. Zadání parametrů odtahového vzduchu

Odtahový vzduch		
Standardní množství:	<input type="text" value="1.4"/>	[m3/s] <input type="radio"/> Mp=Mo <input type="radio"/> Vp=Vo <input checked="" type="radio"/> Vlastní
Vstupní množství:	1.469	[m3/s]
Teplota:	<input type="text" value="18"/>	[°C]
Vlhkost:	<input type="text" value="30"/>	[%]
Abs. vlhkost:	4.0	[g/kg]
Entalpie:	28.6	[kJ/kg]
Hustota:	1.15	[kg/m3]

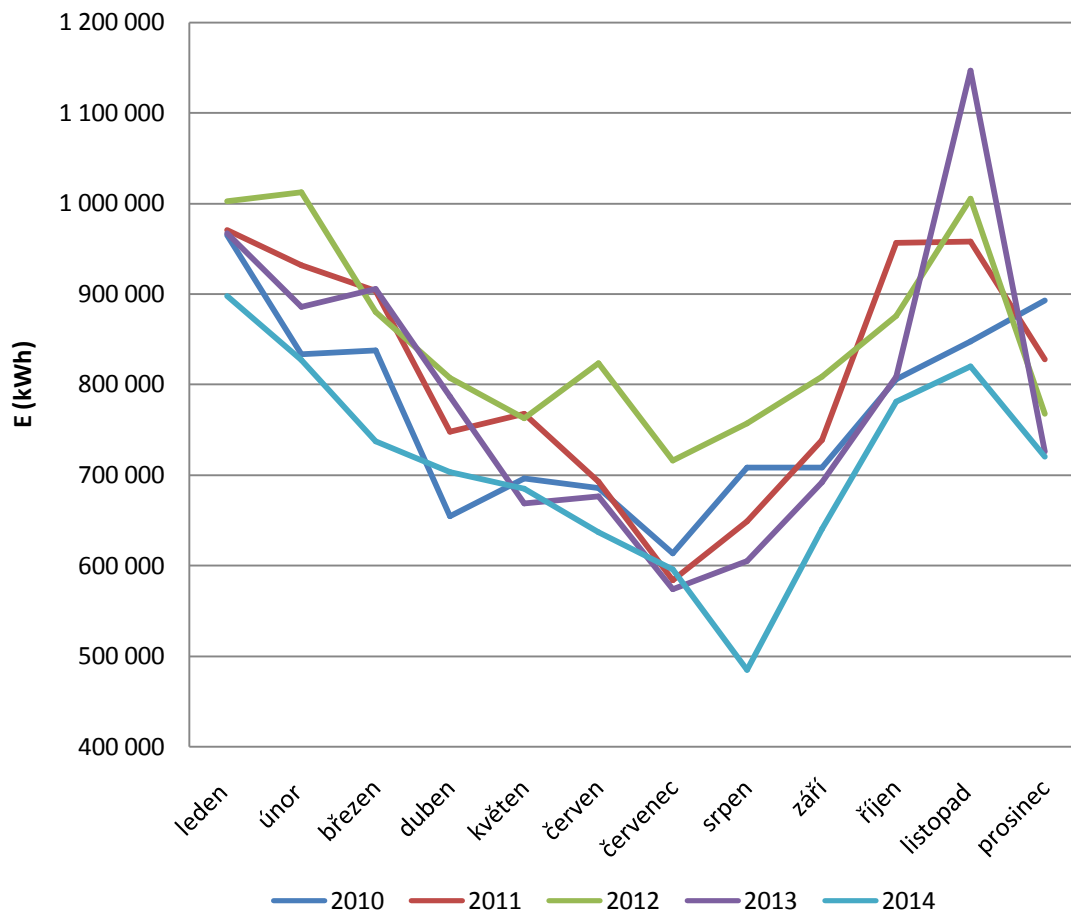
3. Návrh prvního rozměru výměníku – šířky.

4. Zvolení druhého rozměru základny výměníku a výšky vlny.

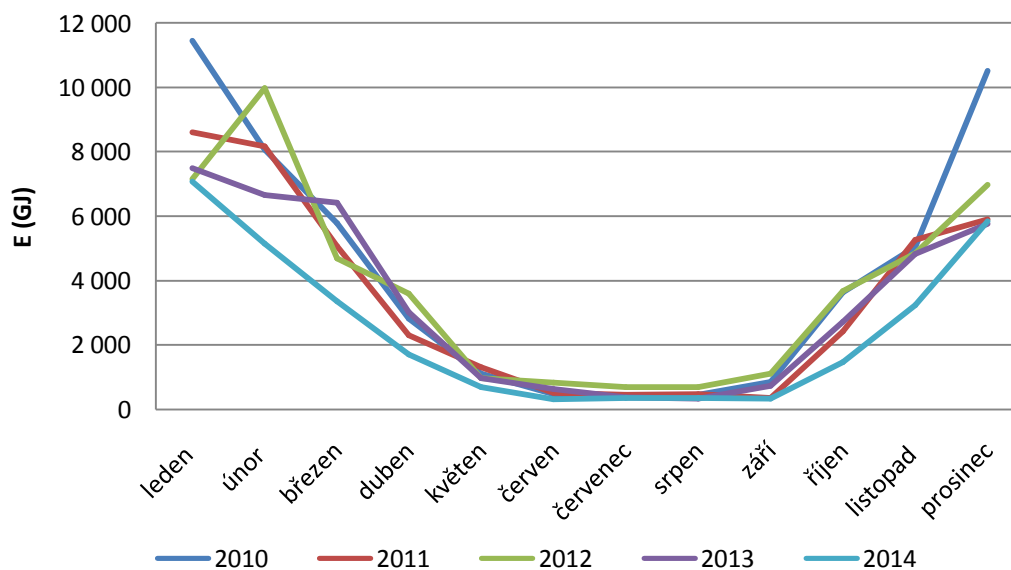
Rozměry výměníku	
Celková šířka (B)	Základna DV a výška vlny (A/VV)
<input type="text" value="400"/> [mm]	<input type="text" value="> DV - 1200 / 5"/> [mm, mm, mm]
Návrh: 250 - 1250 <input type="button" value="?"/> <input type="checkbox"/> Vlastní návrh	

Příloha 23 Trendy ve spotřebě elektrické a tepelné energie v průběhu jednoho roku (2010 - 2014)

Graf zachycující trend spotřeby elektrické energie v průběhu jednoho roku

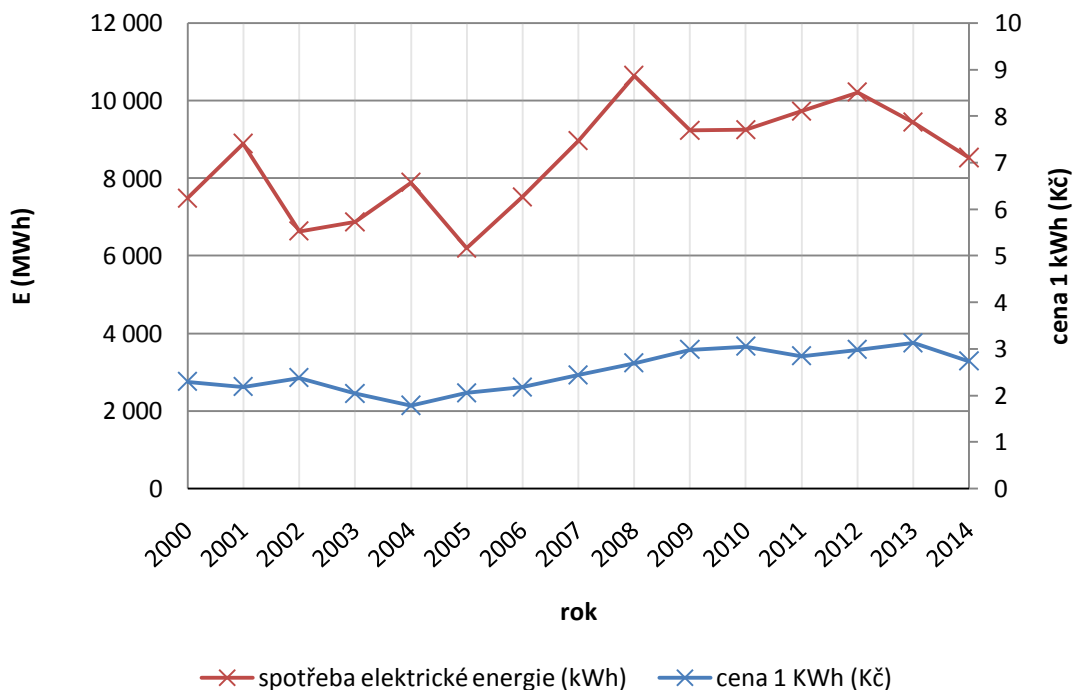


Graf zachycující trend spotřeby tepelné energie v průběhu jednoho roku

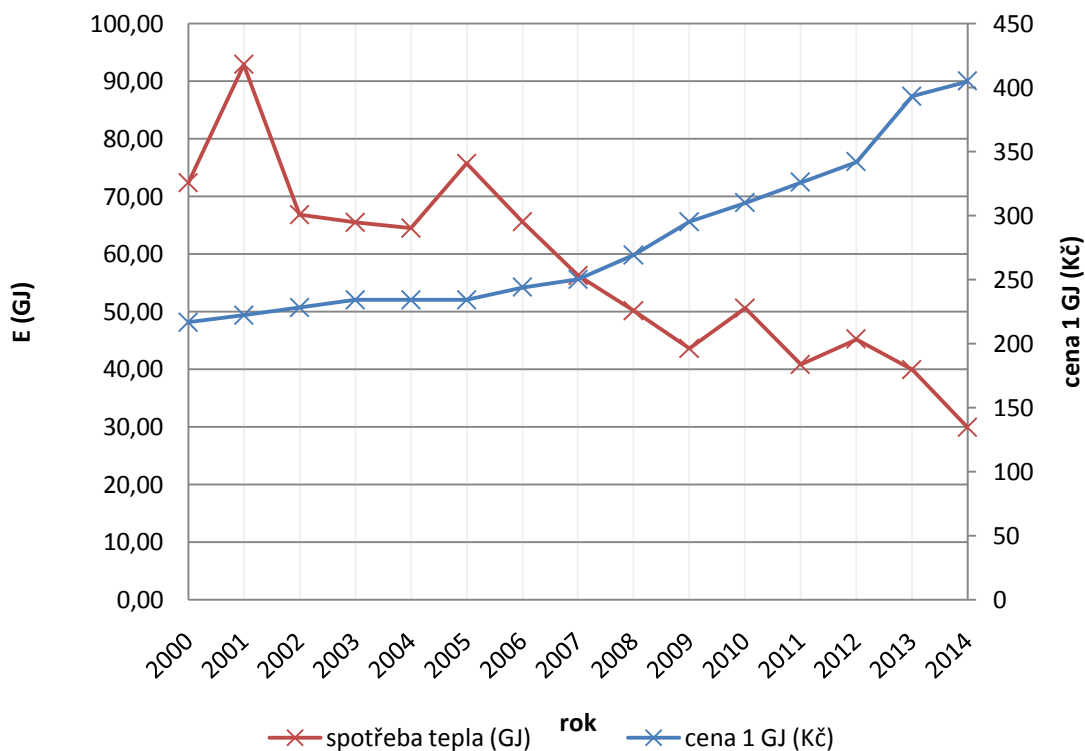


Příloha 24 Vývoj spotřeby elektrické energie a tepla a jejich cen v letech (2000 – 2014)

Graf zachycující vývoj spotřeby a průměrné roční ceny elektrické energie v letech 2000 – 2014



Graf zachycující vývoj spotřeby a průměrné roční ceny tepla v letech 2000 – 2014



Příloha 25 Cash flow pro jedno pole Obrobny při instalaci nového osvětlení

rok	0	1	2	3	4	5
Zářivky 40 kW	-1 800 000	-772 380	255 240	1 282 860	2 310 480	2 838 100
LED 35 kW	-2 300 000	-1 178 825	-57 650	1 063 525	2 184 700	3 305 875
LED 30 kW	-2 300 000	-1 126 850	46 300	1 219 450	2 392 600	3 565 750
rok	6	7	8	9	10	11
Zářivky 40 kW	3 865 720	4 893 340	5 920 960	6 948 580	7 476 200	8 503 820
LED 35 kW	4 427 050	5 548 225	6 669 400	7 790 575	8 911 750	10 032 925
LED 30 kW	4 738 900	5 912 050	7 085 200	8 258 350	9 431 500	10 604 650
rok	12	13	14	15	16	17
Zářivky 40 kW	9 531 440	10 559 060	11 586 680	12 114 300	13 141 920	14 169 540
LED 35 kW	11 154 100	12 275 275	13 396 450	14 517 625	15 638 800	16 759 975
LED 30 kW	11 777 800	12 950 950	14 124 100	15 297 250	16 470 400	17 643 550
rok	18	19	20			
Zářivky 40 kW	15 197 160	16 224 780	16 752 400			
LED 35 kW	17 881 150	19 002 325	20 123 500			
LED 30 kW	18 816 700	19 989 850	21 163 000			