

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
Stavebná fakulta

Katedra technológie stavieb

Udržateľnosť zdrojov elektrickej energie na stavenisku
Sustainability of electricity sources on site

Autoreferát dizertačnej práce
na získanie akademického titulu „doktor“ („philosophiae doctor“)
v študijnom programe doktorandského štúdia technológie stavieb v
študijnom odbore stavebníctvo.

Ing. et Ing. Štefan Krištofič

Bratislava, 2024

Dizertačná práca bola vypracovaná v dennej forme doktorandského štúdia na Katedre technológia stavieb na Stavebnej fakulte Slovenskej technickej univerzity v Bratislave.

Doktorand: Ing. et Ing. Štefan Krištofič
Katedra technológie stavieb
Stavebná fakulta
Slovenská technická univerzita v Bratislave

Školiteľ dizertačnej práce: doc. Ing. Naďa Antošová, PhD.
Katedra technológie stavieb
Stavebná fakulta
Slovenská technická univerzita v Bratislave

Autoreferát bol rozoslaný dňa.....

Obhajoba doktorandskej práce sa koná dňaohod. pred komisiou pre obhajobu dizertačných prác doktorandského študijného programu technológia potravín v študijnom odbore stavebníctvo SvF STU v Bratislave.

.....
prof. Ing. Stanislav Unčík, PhD.
dekan Stavebnej fakulty STU v Bratislave

Obsah

Úvod.....	4
1 Cele práce	4
2 Tézy práce.....	5
3 Analýza návrhu potrieb elektrickej energie pre stavenisko.....	5
4 RIEŠENIE VEDECKEJ PRÁCE	6
4.1 Zisťovanie energetických nárokov na potreby pokrytia staveniskovej prevádzky ..	9
4.1.1 Návrh na využívanie energeticky efektívnejších zariadení	12
4.1.2 Návrh na riešenie rovnomerného zaťaženia fáz.....	12
4.1.3 Návrh na zlepšenie kvality prevedenia elektroinštalácie	12
4.1.4 Návrh na zlepšenie teplotných vlastností	13
4.1.5 Porovnanie výsledkov pre návrh ďalších optimalizácií.....	13
4.2 Verifikácia funkčnosti získaných dát vo výpočtovom vzťahu potrieb elektriny na stavenisku	13
5 VÝSLEDKY.....	14
6 Diskusia	15
7 ZÁVER.....	16
8 Zoznam použitej literatúry.....	17
Zoznam publikačnej činnosti	18

Úvod

Stavenisková prevádzka spotrebuje veľmi veľké množstvo zdrojov energie, ku ktorým sa neprístupuje šetrne. Využíva sa najmä elektrická energia na chod stavebnej výroby, patrí k najnákladnejším zdrojom. Avšak elektrifikácia zariadení vo veľkej miere prispela na časté špičkového zaťaženia počas prevádzky. Očakáva sa, že stavebná výroba bude rásť vplyvom zahusťovania miest, potreby bývania, služieb, infraštruktúry a inžinierskej situácie.

Rozvoj inovácií, technologický pokrok umožňuje elektrifikáciu stavebných mechanizmov. To v budúcnosti povedie k výraznému zvýšeniu už i tak enormnej spotreby elektrickej energie pri výstavbe. Zavedenie obnoviteľných zdrojov energie na napájanie staveniska je predpokladom pre revíziu súčasného výpočtového postupu potreby elektriny pre stavenisko.

Stavebníctvo je v domácich podmienkach stabilné odvetvie s energetickou náročnosťou a tomu odpovedajúcou primeranou environmentálnou záťažou. Charakteristika vývojových tendencií v skladbe ľudských zdrojov sa mierne medziročne zvyšuje, čo predpovedá stabilitu a rast odvetia. Preto dôležitou úlohou bude smerovanie a poslanie sektora v horizonte najbližších rokov pre konkurencie schopnosť krajiny. Jednou z podstatných úloh v rámci konkurencie schopnosti pre európske krajiny je znižovanie emisií a tvorba udržateľnosti.

Stavebný priemysel je kritizovaný za nepriaznivé vplyvy na životné prostredie. Aby sa tieto vplyvy minimalizovali, musí byť vynaložená snaha zaviesť udržateľné postupy v rámci celého reťazca [1]. Stavebná výroba spotrebuje rôzne druhy energií, nerastných surovín a materiálov a produkuje veľké množstvo stavebného odpadu. Preto sa stavenisková prevádzka snaží prispôbovať potrebám udržateľnosti najmä z hľadiska separácie a spracovanie odpadu.

1 Cele práce

Hlavným cieľom práce je „Návrh metodiky pre zabezpečenie optimalizácie potrieb elektrickej energie s využitím udržateľnosti zdrojov v staveniskovej prevádzke“.

Pre dosiahnutie stanoveného cieľa je potrebné skúmať: analýza energetických nárokov staveniskovej prevádzky alebo jej vybranej časti, návrh obnoviteľného zdroja pre zabezpečenie potrieb pokrytia staveniskovej prevádzky alebo jej vybranej časti energiou, zisťovanie pokrytia extrémnych energetických nárokov staveniskovej prevádzky pri využívaní sieťového napájania a pri kombinácii s obnoviteľným zdrojom, návrh modelu a metodiky riadenia spotreby

elektrickej energie staveniskovej prevádzke pre elimináciu vzniku extrémnych energetických nárokov, overenie metodiky riadenia spotreby implementáciou inovačných technológií do zabezpečenia potrieb pokrytia staveniskovej prevádzky alebo jej vybranej časti energiou.

2 Tézy práce

- analýza súčasného stavu využívania elektrického zdroja na stavenisku,
- syntéza poznatkov vplyvu napájania na stavebnú prevádzku,
- realizácia meraní a skúmaní stavenísk, ktoré identifikujú vzory spotreby elektriny,
- komparácia miery pokrytia spotreby alternatívnym zdrojom,
- návrh optimalizácie spotreby elektriny na stavenisku.

3 Analýza návrhu potrieb elektrickej energie pre stavenisko

Princíp návrhu napájacieho miesta pre stavenisko je v okolitých krajinách Slovenska a vo svete približne rovnaký. Hlavnou časťou je stanovenie príkonu staveniska na základe špecifik a počtu hlavných elektrických mechanizmov a zariadení vychádzajúc z projektu organizácie výstavby. Nachádzajúce sa rozdiely, odlišnosti pri zabezpečovaní potreby napájania sú v prepočtových vzorcoch, do ktorého vstupujú rôzne koeficienty a tie sú spravidla navrhnuté tamojším podmienkam. Sú to najmä parametre ako účinník, faktor súbežnosti, koeficient rezervy.

Analýza problematiky riešenia - Príklady zo sveta poukazujú na rozmanitosť použitia a mobilné inštalovateľné systémy sa prispôbujú rôznym požiadavkám. Uplatnenie je predovšetkým pre dlhodobé využívanie, sú viditeľné aj v dopravnom staviteľstve, ako napr. vo verejnom osvetlení, osvetlení dopravného značenia priechodov pre chodcov a pod.

Potenciál nasadenia OZE vo výstavbe nemusí byť zanedbateľný. Vychádzajúc z tunajších postupov, na staveniskách sú dostatočné plochy, kde by sa dali inštalovať fotovoltické panely a získať energiu priamo na stavenisku. Aplikácie zo sveta demonštrujú, že zapojeniu na stavenisku nemusí predchádzať zložitá montáž. Riešenie je v modulových systémoch. Technologický rozvoj môže zlepšovať energetickú hospodárnosť výstavby.

Nasadenie elektrických stavebných mechanizmov je ďalším riešením zníženia lokálnych emisií, avšak súčasné riešenie nezohľadňuje prípadné navýšenie napájania pre nabíjanie. Táto

zložka môže výrazne vplývať na dimenzovanie staveniskovej prípojky. Potrebný elektrický výkon zo siete pre nabíjacie stanice sa počíta v desiatkach kWh v závislosti od typu nabíjania. Pokračujúcim technickým rozvojom je ukladanie energie do batérií. Využitie mobilných batérií na stavenisku môže riešiť vyrovnanie rozdielu medzi okamžitou spotrebou a výrobou, elimináciu špičkového zaťaženia, nabíjanie a záložné napájanie.

4 Riešenie vedeckej práce

Návrhom metodiky na optimalizáciu spotrebu elektriny počas výstavby sa môže zvýšiť energetická efektívnosť staveniskovej prevádzky. Dnes patrí elektrina k najzakladenejším zásobovacím médiám staveniska. Na základe analýzy dostupných informácií sa identifikovali štyri kľúčové prvky, ktoré budú v krátkej budúcnosti výrazne vplývať na vnútornú sieť staveniska. Medzi nastupujúce inovácie sú fotovoltaické výrobné, veľkokapacitné batériové zdroje, elektrické stavebné vozidlá a digitalizácia siete.

Analýza informácií a model zberu dát - Pre oblasť výskumu sa uplatnila kombinácia kvantitatívnych a kvalitatívnych metód s cieľom získať komplexné a štruktúrované údaje týkajúce sa potrieb elektriny na stavenisku. Začalo sa s identifikáciou výskumných otázok a cieľov, ktoré následne smerovali k návrhu výskumného rámca a metodológie. Pre zber údajov sa využili meracie zariadenia na monitorovanie spotreby elektriny. Merania prebiehali počas uceleného časového obdobia, pričom údaje boli systematicky zaznamenávané a archivované pre ďalšiu analýzu. Pre spracovanie a analýzu údajov sa využili štatistické metódy a nástroje, ako aj softvérové aplikácie na vizualizáciu dát. Okrem kvantitatívnej analýzy sa tiež uskutočnili kvalitatívne prieskumy a rozhovory s odborníkmi zo stavenísk, aby sa získal hlbší obraz v kontexte interpretácie výsledkov. Celková metodika výskumu umožnila získať podrobné a relevantné informácie týkajúce sa spotreby elektriny na stavenisku a vytvoriť základ pre formuláciu odporúčaní a inovácií v oblasti riadenia a optimalizácie energetických zdrojov v staveniskovej prevádzke.

Stanovenie kritérií staveniska na skúmanie - Navrhnuté zariadenie staveniska s počtom 12 ks mobilných kontajnerov zabezpečí potreby 35 pracovníkom. V experimente sa bude uvažovať pri návrhu solárneho systému s maximálnou možnosťou využiteľnosti plochy strechy na dočasných kanceláriách. Avšak priestorové usporiadanie dočasných objektov sa na stavenisku minimalizuje a pri počte 8 ks buniek a viac sa zväčša realizuje dvojpodlažne. Musia spĺňať tri základné podmienky:

- **konštrukčný systém realizovaného stavebného diela je železobetónový,**
- **minimálny počet umiestnených staveniskových kancelárií musí byť 10 ks,**
- **na stavenisku musí byť nasadený zdvíhací mechanizmus.**

Opis skúmaných stavenísk -Všetky údaje, ktoré sú zhromaždené, uložené a ďalej spracované v priebehu výskumu, sa používajú výlučne na výskumne účely a v práci sú anonymizované. Staveniská sa označili veľkými písmenami abecedy A až E.

Tabuľka.4.1 - Technické údaje stavenísk [autor]

Označenie	Stavenisko A	Stavenisko B	Stavenisko C	Stavenisko D	Stavenisko E	
Krajina	Slovensko	Slovensko	Slovensko	Nemecko	Slovensko	
Mesto	Bratislava	Bratislava	Bratislava	Magdeburg	Lubľana	
Plocha staveniska	1 840,00 m ²	10 974,00 m ²	8 322,00 m ²	6 210,00 m ²	9 650,00 m ²	
Nosný konštrukčný systém	železobetónový	železobetónový	železobetónový	železobetónový	železobetónový	
Konštrukčná výška	3,80 m	2,80 m	3,75 m	4,2 m	3,7 m	
Počet podlaží	podzemných	1	1	4	0	2
	nadzemných	4	2	16	2	6
Výška stavebného objektu	+ 15,9 m	+ 10,3 m	+ 69,2 m	+ 12,6 m	+ 28,67 m	
Obostavaný priestor objektu	13 177,00 m ³	2 772,00 m ³	129 315,00 m ³	4 836,00 m ³	59 360,00 m ³	
Pôdorysná plocha objektu	805,00 m ²	814,00 m ²	2 390,00 m ²	1 190,00 m ²	8 910,00 m ²	

Údaje v tabuľke 1 poskytujú prvotný pohľad na technické parametre hlavného stavebného objektu. Údaje sú dôležité pre porozumenie štruktúry a rozmerov stavebného projektu, pre ktorý sa navrhuje stavebná výroba, nasadenie materiálových, technických, energetických a personálnych zdrojov [2].

Tabuľka.4.2 - Údaje o staveniskovej sieti [autor]

Označenie	Stavenisko A	Stavenisko B	Stavenisko C	Stavenisko D	Stavenisko E
Elektrická sieť	230/400V 50Hz	230/400V 50Hz	230/400V 50Hz	230/400V 50Hz	230/400V 50Hz
Maximálne zaťaženie	125 A	140 A	240 A	160 A	350 A
Maximálna rezervovaná kapacita	86 kW	96 kW	166 kW	110 kW	242 kW
Schéma rozvetvenie siete	vetvová	vetvová	kombinovaná	vetvová	kruhovú

V tabuľke 2 sú hlavné informácie o staveniskových sieťach. Každá stavenisková prevádzka mala inú hodnotu maximálnej rezervovanej kapacity, čo pojednáva o maximálnom odoberanom výkone zariadení v súbehu.

Staveniskové kancelárie - Hlavným ťažiskom výskumu bola identifikácia potrieb elektriny pre staveniskové kancelárie, k nim boli spísané viaceré podrobné informácie pre účely hĺbkového výskumu.

Inštalácia meracích zariadení - Meracie zariadenia typu Shelly 3 EM boli inštalované na staveniskách A, B, C, na stavenisku D boli použité zariadenia novšej generácie Shelly 3 EM pro. Meracie zariadenia Shelly radu 3 EM a 3 EM pro boli vybrané kvôli svojej schopnosti poskytovať dáta o spotrebe elektriny s presnosťou 99 %. Na stavenisku E boli použité Shelly 3 EM a Smart MAIC D103 v závislosti na prúdové zaťaženie v ampéroch. Všetky meracie zariadenia sú trojfázové elektromery s pripojením na Wi-Fi a s možnosťou montáže na DIN lištu. Obojsmerné monitorovanie spotreby energie dokáže zaznamenať každé zariadenie oddelene na jednotlivých fázach.

Časové úseky skúmania - Merania prebiehali na všetkých experimentoch kontinuálne počas uceleného časového obdobia, pričom výsledné údaje boli systematicky zaznamenávané a analyzované.

Získavanie údajov o počasí poskytli - Na Slovensku - Slovenský hydrometeorologický ústav, v Nemecku - Nemecká hydrometeorologická služba, v Slovinsku - Národná Slovinska hydrometeorologická služba.

Získavanie údajov o potencionálnej výrobe FVE - Výroba elektriny z obnoviteľného zdroja z fotovoltickej elektrárne sa modelovala v online nástroji PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM [3].

Priebeh skúmania experimentov - Skúmanie potrieb energie staveniskových prevádzok bolo na základe rovnakej metodiky. Zo všetkých staveniskových prevádzok sa získali hodinové spotreby elektriny staveniskových kancelárií. Na niektorých staveniskách sa vykonali v rámci základného výskumu aj ďalšie pozorovania, ktoré sa v daný moment na základe zdrojov a možností sa dali vykonať.

Boli vykonané doplnujúce skúmania: spotreby staveniskovej prevádzky, spotreby stavebných žeriavov, úniku tepla stavebných kancelárií, špičkového zaťaženia počas nasadenia stavebných mechanizmov na odberné miesto.

Rozdiely medzi experimentami - Každá stavenisková prevádzka má svoje jedinečné charakteristiky a špecifiká, avšak zároveň zdieľa určité spoločné výrobné znaky a princípy riadenia. Rozdiely medzi experimentami sú: región staveniskovej prevádzky, doplnujúce skúmania, nasadená mechanizácia a zariadenia, veľkosť stavebnej výroby, úseky skúmania, energetická efektívnosť zariadení a mechanizmov.

Zobrazovanie anomálií Pri meraniach spotreby elektrickej energie sa vyskytli rôzne anomálie, ktoré bolo dôležité identifikovať a analyzovať. Anomálie, ktoré sa výskumom spozorovali, poukazovali na možné problémy a nezrovnalosti v meraní a skúmaní stavenísk. Identifikácia týchto anomálií umožnila podniknúť opatrenia na zlepšenie riadenia a efektívnosti spotreby elektriny na stavenisku.

Medzi spozorované anomálie patria: neobvyklé špičky spotreby, nepretržité vysoké hodnoty spotreby, strata tepla v staveniskových kanceláriách, nekontrolovateľné používanie elektrických spotrebičov, zaznamenaná výroba elektriny, plytvanie elektrickou energiou.

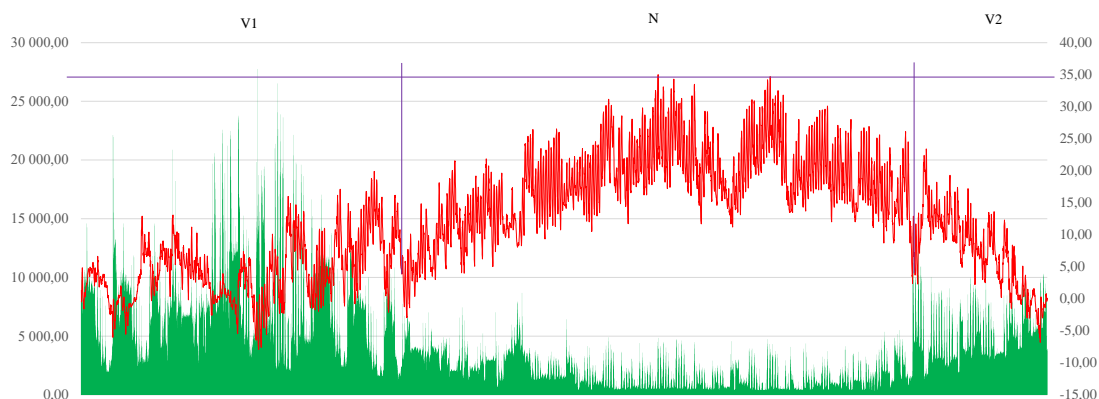
4.1 Zisťovanie energetických nárokov na potreby pokrytia staveniskovej prevádzky

Tabuľka 3 - Základný prehľad spotrieb elektriny na skúmaných staveniskách [autor]

Označenie		Stavenisko A	Stavenisko B	Stavenisko C	Stavenisko D	Stavenisko E
Lokalita	Krajina	Slovensko	Slovensko	Slovensko	Nemecko	Slovinsko
	Mesto	Bratislava	Bratislava	Bratislava	Magdeburg	Ľubľana
Časový interval hodinových meraní	začiatok - koniec	1.12.2022 6.12.2023	1.3.2023 29.2.2024	1.1.2023 8.11.2023	15.6.2023 30.4.2024	1.11.2023 30.4.2024
	počet dní	371	366	312	321	182
Spotreba elektriny za úsek merania	staveniskové kancelárie (kWh)	36 266,96	46 499,93	44 798,86	52 531,70	52 960,71
	stavenisková prevádzka (kWh)	12 672,86	20 618,99	-	153 101,85	35 662,32
	celé stavenisko (kWh)	48 939,82	67 118,92	-	205 633,55	88 623,03

Tabuľka 3 poskytuje prehľad spotreby elektriny na piatich skúmaných staveniskách v rôznych lokalitách a časových intervaloch.

Analýza spotreby elektriny v staveniskových kanceláriách - Je nutné podrobnejšie pochopiť správanie priebehu spotreby elektriny v staveniskových kanceláriách, aby bola identifikácia a optimalizácia čo najviac efektívna. Na základe inštalácie meracích zariadení sa zaznamenali hodinové spotreby elektriny a tie sa ďalej spracovávali.



Graf 1 - Priebeh spotreby staveniskových kancelárií A a vonkajšej teploty [autor]

Z grafu 1 je zrejmé, že spotreba elektriny v staveniskových kanceláriách je výrazne závislá od teploty. Vzhľadom na zistenú súvislosť, sa analyzovalo celé obdobie a tiež rozdelené na dve časti podľa obdobia - vykurovaciú (označovanej ako "V") a nevykurovaciú (označovanej ako "N") sezónu. Na grafoch je vonkajšia teplota znázornená na pravej osi Y a spotreba elektriny vo Wh na ľavej osi Y, os X zobrazuje spotrebu elektriny.

Tabuľka 4 - Opisná analýza [autor]

Časová charakteristika	Staveniskové kancelárie A			Staveniskové kancelárie B			Staveniskové kancelárie C		
	371 dní			366 dní			312 dní		
	36 266,96 kWh			46 499,93 kWh			44 798,86 kWh		
	74 % zo staveniskovej spotreby			69 % zo staveniskovej spotreby			18 % zo staveniskovej spotreby		
	V1	N	V2	V1	N	V2	V1	N	V2
	1.12.2022 - 6.4.2023	7.4.2023 - 15.10.2023	16.10.2023 - 6.12.2023	1.3.2023 - 19.5.2023	20.5.2023 - 15.10.2023	16.10.2023 - 29.2.2024	1.1.2023 - 20.4.2023	21.4.2023 - 15.10.2023	16.10.2023 - 8.11.2024
	127 dní	192 dní	52 dní	127 dní	149 dní	52 dní	110 dní	178 dní	24 dní
Priemerná denná teplota (°C)	4,31	18,14	7,15	9,35	20,17	5,44	5,4	18,95	11,58
Počet mobilných kontajnerov (ks)	10	10 - 11	6 - 10	10	10 - 11	6 - 10	15 - 17	14 - 17	14 - 18
Priemerná denná spotreba (kWh)	171,72	42,81	119,97	148,19	40,68	208,64	258,77	56,64	260,54
Priemerná denná spotreba v prepočte na jednu sta. kanceláriu (kWh)	17,17	4,18	17,58	12,35	3,26	14,92	13,96	5,97	15,92
Najvyššia spotreba za deň (kWh)	399,18 pondelok 30.1.2023	-	-	-	-	406,39 pondelok 8.1.2023	627,95 nedeľa 29.1.2023	-	-
Najnižšia spotreba za deň (kWh)	-	10,51 nedeľa 3.9.2023	-	-	16,66 nedeľa 9.7.2023	-	-	22,81 nedeľa 7.5.2023	-
Priemerná spotreba za deň (kWh)	všetky dni 371 dní 97,75	pracovné dni 253 dní 105,97	sviatky a víkendy 118 dní 80,15	všetky dni 366 dní 127,05	pracovné dni 248 dní 132,98	sviatky a víkendy 118 dní 114,58	všetky dni 312 dní 143,59	pracovné dni 213 dní 152,10	sviatky a víkendy 99 dní 124,24
Priemerná denná spotreba v prepočte na jednu sta. kanceláriu (kWh)	10,52	11,39	8,56	9,61	10,09	8,62	9,32	9,11	8,05

V tabuľka 4 sú významné dáta z opisnej analýzy spotrieb, ktoré budú použité pri návrhu pomôcky pre predikovanie potreby za rok. Dôležitou informáciou sú priemerné denné spotreby

v prepočte na jednu staveniskovú kanceláriu. Tabuľka 4 udáva priemery spotreby za rôzne obdobia a sezóny. Šedé riadky analyzujú spotrebu v jednotlivých sezónach, pre vykurovaciu a nevykurovaciu. Nevykurovacía sezóna neznáči, že sa v danej sezóne nevyužívajú vykurovacie elektrické telesá ale štatisticky počet dní kedy sa vykurovalo bolo pod 3 %.

Štatistická analýza spotrieb staveniskových kancelárií - Pre analýzu časových radov sa využil jazyk R v prostredí R Studio, čo je prostredie pre štatistickú analýzu dát a ich grafické zobrazenie. Využitie týchto prostriedkov umožňuje presnejšiu predikciu a porozumenie dátam v rôznych oblastiach a úsekoch pre staveniskové kancelárie [4].

Vyhodnotenie dát pre návrh vybraného obnoviteľného zdroja pre staveniskové kancelárie - Metodika simulácie výroby vychádzala zo stanovených podmienok pre veľkosť zdroja, lokalizáciu a spotrebu elektriny. Vstup značí charakterizovanie fotovoltickej výroby, následne ďalší krok predstavuje model dát výroby a spotreby. V treťom kroku je výstup ako komparácia výroby a spotreby. Analýza hodnotí komparáciu dát na základe stanovenej podmienky. Z analýzy vyplýva, že veľkosť efektívneho alternatívneho zdroja je 3,12 kWp s optimálnym sklonom a azimutom 0° . Vyhodnotenie ukazuje, že navrhovaný systém dosiahne maximálnu výkonnosť pri danom sklone a azimute, čo je kľúčové pre efektívne využitie slnečného žiarenia a optimalizáciu energetických zdrojov.

Vyhodnotenie dát pre návrh riadenia vykurovania v staveniskových kanceláriách

Vykurovaním priestorov v staveniskových kanceláriách sa zabezpečuje tepelný komfort personálu staveniska, avšak ich aktivita v nich je ovplyvnená pracovným časom. Dôvodom na riadenie vykurovania je vysoká spotreba elektriny počas nočných hodín, kedy sa na stavenisku pracovníci nenachádzajú. Táto analýza podčiarkuje potrebu prehodnotiť existujúce postupy a implementovať inteligentné riadiace systémy, ktoré by optimalizovali spotrebu energie a eliminovali zbytočné straty.

Vyhodnotenie ďalších optimalizácií zo skúmania pre staveniskové kancelárie - Efektívnosť využívania elektrického zdroja závisí od rôznych faktorov. Medzi ďalšie spozorované zistenia, ktoré by znížili spotrebu elektriny v staveniskových kanceláriách, patria: využívanie energeticky efektívnejších zariadení, rovnomerné zaťaženie fáz, kvalita prevedenia staveniskovej elektroinštalácie, zlepšenie teplo technických vlastností.

4.1.1 Návrh na využívanie energeticky efektívnejších zariadení

V stavebných kanceláriách boli používané aj energeticky málo efektívne elektrospotrebiče ako napríklad chladničky, ohrievače vody, varné kanvice, mikrovlnky, svietidlá, variče. Tieto zariadenia vykazovali vysokú spotrebu elektriny a neefektívne využívali dostupný zdroj elektrickej energie.

4.1.2 Návrh na riešenie rovnomerného zaťaženia fáz

Rovnomernosť zaťaženia fáz je ďalším faktorom pre optimalizáciu využitia elektrickej energie v stavebných kanceláriách. Zabezpečuje ju premeranie vyťažiteľnosti jednotlivých fáz L1, L2, L3 a prípadné úpravy zapojenia elektrických spotrebičov a prístrojov podľa normových požiadaviek.

Tabuľka 5 - Zaťaženie fáz v staveniskových kanceláriách [autor]

Charakteristika	Stavenisko A	Stavenisko B	Stavenisko C	Stavenisko D	Stavenisko E
Zaťaženie fáz L1	36%	32%	25%	19%	33%
L2	27%	37%	36%	32%	22%
L3	37%	31%	39%	49%	45%

Tabuľka 5 poukazuje na nerovnomernosť zaťaženia fáz v jednotlivých staveniskových kanceláriách. Hodnota zaťaženia fáz by mala byť rovnomerná, čo znamená, že každá fáza by mala byť zaťažená približne rovnakou mierou. Ideálne by bolo, ak by boli všetky fázy zaťažené rovnomerne na 33.33 % celkovej kapacity. Tento stav by maximalizoval využitie elektrickej siete a minimalizoval riziko preťaženia alebo nerovnováhy v systéme.

4.1.3 Návrh na zlepšenie kvality prevedenia elektroinštalácie

Zlepšenie kvality prevedenia elektroinštalácie v staveniskových kanceláriách je kľúčové pre bezpečnosť, efektivitu a spoľahlivosť systému. Medzi problémy patria napríklad prehrievanie káblov, skraty, slabé spojenia a kontakty, opotrebovávanie, čo zvyšuje riziko úrazu elektrickým prúdom alebo požiaru.

Sporované najzásadnejšie nedostatky:

- nevhodné káblovanie napájania mobilných kontajnerov,
- nedostatočné alebo žiadne uzemnenie,
- nedostatočné označenia a ochránenie káblových trás,
- nedostatočný stupeň krytia elektrických zariadení používaných v exteriéry.

4.1.4 Návrh na zlepšenie teplotných vlastností

Na dvoch skúmaných staveniskách sa vykonalo posúdenie úniku tepla termokamerou pre staveniskové kancelárie. Termografické vyšetrenie odhalilo významné tepelné úniky na viacerých miestach, čo potvrdilo nedostatočnú tepelnú izoláciu a zlé konštrukčné riešenia.

4.1.5 Porovnanie výsledkov pre návrh ďalších optimalizácií

Medzi ďalšie hodnotené optimalizácie bolo zaradené využívanie energeticky efektívnejších svietidiel a zlepšenie teplotných vlastností.

Tabuľka 4.3 – Vyhodnotenie ďalších potencionálnych optimalizácií [autor]

Charakteristika	Stavenisko A	Stavenisko B	Stavenisko C	Stavenisko D	Stavenisko E
Využívanie energeticky efektívnejších svietidiel (kWh)	- 432,00	-518,40	-604,50	-460,80	-748,80
Zlepšenie teplotných vlastností (kWh)	-1 238,67	-957,28	-798,24	-519,26	-906,22
Spolu	-1 670,67	-1 475,68	-1 402,74	-980,06	-1 655,02

4.2 Verifikácia funkčnosti získaných dát vo výpočtovom vzťahu potrieb elektriny na stavenisku

Výpočtový vzťah pre určenie potrieb elektriny na stavenisku ako bol opísaný je jednak podľa neplatnej normy a taktiež nezohľadňuje súčasný vývoj. Vo výpočtovom postupe absentujú:

- navýšenie spotreby pre nabíjanie elektrických stavebných vozidiel,
- určenie príkonu pre lokálny zdroj,
- odhadovaná hodnota príkonu pre staveniskové kancelárie.

Návrh postupu pre výpočet potrieb elektriny na stavenisko

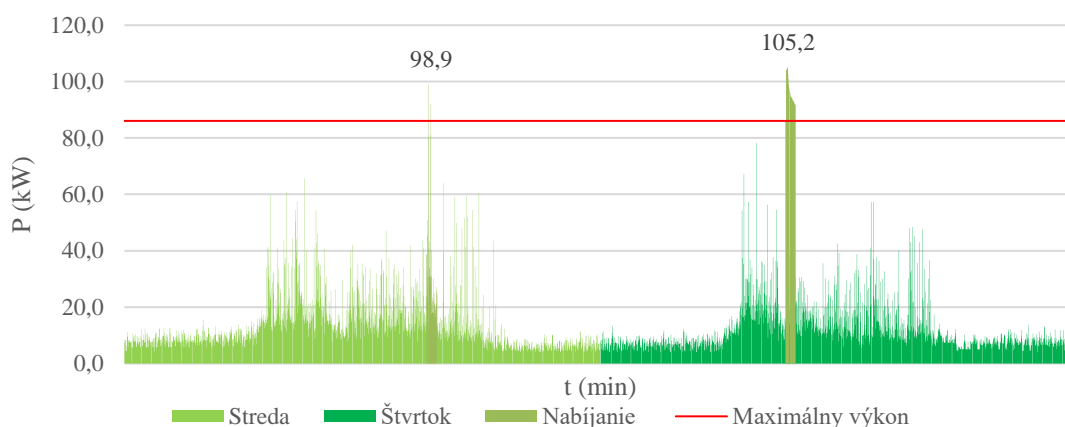
Aktualizácia postupu prichádza na základe prevzatia postupov riešenia potrieb v Nemecku. Vo výpočtovom postupe prichádza k flexibilitě vzťahu na rozmanitosti stavenísk. Výpočtový postup zohľadňuje viaceré špecifické požiadavky stavenísk. Zdanlivý výkon je výkon, ktorým je sieť zaťažená a podľa ktorého musí byť navrhnutá [173].

$$S = \sqrt{(P^2 + Q)^2} \text{ (kVA)} \quad (4.4)$$

$$S = \sqrt{(P_{\check{c}L} + P_{\check{c}O})^2 + (P_{\check{c}I} * tg\varphi)^2} \text{ (kVA)} \quad (4.5)$$

Modelovanie zaťaženia staveniska s nabíjacou stanicou - Aktualizovaný výpočtový vzťah potrieb elektrickej energie pre stavenisko nezohľadňuje inovačnú príležitosť a to záměny

stavebných mechanizmov so spaľovacím motormi za elektrický motor. Vplyvom zámény sa musí vytvoriť nabíjacia infraštruktúra priamo na stavenisku, aby sa dali mechanizmy používať.



Graf 2 - Priebeh zaťaženia s nabíjacou stanicou na stavenisku A [autor]

Navrhovanie vybraného obnoviteľného zdroja - Navrhovanie fotovoltaickej výrobné obnoviteľného zdroja energie, pre staveniskové kancelárie, sa vykonalo na základe rozboru získaných dát z experimentov. Určil sa efektívny počet staveniskových kancelárií pre výrobu, pri ktorej dochádza k splneniu podmienok pripojiteľnosti. Stanoveným limitom bolo, že minimálne 90 % výroby elektriny musí byť spotrebovanej na stavenisku.

$$P_{FVE} = (2,294 * \eta * k_s) * N_s [kWp] \quad (4.9)$$

Návrh odhadovanej hodnoty príkonu pre staveniskové kancelárie - V súčasných výpočtových postupoch chýba odhadovaná hodnota príkonu pre staveniskovú kanceláriu, ktorá by vstupovala do výpočtu. Preto sa zo získaných dát skúmali priebehy spotreby a hľadali sa najvyššie odoberané výkony pre staveniskové kancelárie.

Na základe získaných údajov a analýzy možno odporučiť priemerný odberaný výkon pre staveniskové kancelárie v rozsahu od 2,09 kW do 3,30 kW na jednu kanceláriu. Pre bezpečné dimenzovanie energetických potrieb sa odporúča použiť konzervatívny odhad v hornej časti tohto rozsahu a započítanie rezervy 15 %. Odporúčaná hodnota je 4,0 kW na jednu staveniskovú kanceláriu.

5 VÝSLEDKY

Prezentácia dosiahnutých výsledkov z meraní - Vizualizácia meraní je kľúčovým nástrojom pre pochopenie a interpretáciu výsledkov meraní spotreby elektriny na stavenisku. Pomáha

prezentovať komplexné údaje v zrozumiteľnej forme a identifikovať vzory, trendy a anomálie v správaní sa spotreby elektriny.

Prezentovanie dosiahnutých optimalizácií - Ak by sa zobralo do úvahy modelovanie návratnosti optimalizácií pre stavenisko A, môže sa vychádzať z porovnania finančných úspor a nákladov na inštaláciu.

$$\text{Doba návratnosti} = \frac{\text{Vstupné investície}}{\text{Ročné úspory}} [\text{rok}] \quad (5.1)$$

$$\text{Doba návratnosti} = \frac{8\,986,06 \text{ €}}{2\,206,69 \text{ €}} [\text{rok}]$$

$$\text{Doba návratnosti} = 4,07 [\text{rok}]$$

To znamená, že investície do obnoviteľného zdroja energie a riadiaceho systému by sa mali vrátiť približne za 4,07 roka.

Návrh pomôcky pre riešenie napájania staveniska - Na základe výskumu bola vytvorená pomôcka pre riešenie problematiky napájania, ktorá môže byť využiteľná vo fáze plánovania projektu organizácie výstavby. Predikcia viacerých parametrov veľmi napomáha k zvoleniu optimálnej stratégie, avšak riešenie napájania staveniska sa nezaobíde bez odborníkov z oblasti elektrotechniky. Skúmal sa elektrický zdroj na stavenisku, modelovali sa optimalizácie a počítali sa ich vplyvy.

6 Diskusia

Stanovené tézy práce boli výskumom naplnené. Bola vykonaná analýza súčasného stavu využívania elektrického zdroja na stavenisku, kde sa poukázalo na problémy a inovačné postupy. Syntéza poznatkov vplyvu napájania na stavebnú prevádzku u nás a v zahraničí. Na základe meraní a skúmaní stavenísk boli identifikované vzory spotreby elektriny, ktoré pomohli pochopiť energetickú náročnosť staveniskových kancelárií. Na základe reálnych dát bol vykonaná komparácia miery pokrytia spotreby alternatívnym zdrojom, ktorá poukázala na potencionálne vysoké úspory. Návrhom postupov optimalizácie spotreby elektriny na stavenisku sa dosiahlo naplnenie poslednej tézy.

Prínosy pre vedu Možnosti pokračovania výskumu: skúmanie opísaných optimalizácií systémov pre maximalizáciu energetickej efektívnosti, vývoj pokročilých senzorov a algoritmov pre lepšiu predikciu a riadenie energetických potrieb, empirické štúdie na overenie

efektívnosti implementovaných opatrení a technológií na znižovanie spotreby energie, komparatívne analýzy medzi rôznymi projektmi a technológiami.

Prínosy pre prax Medzi kľúčové prínosy patria: pochopenie energetického správania staveniska, stavebných kontajnerov, stavebnej prevádzky, vežových žeriavov, (výkyvy, špičky, denný priemer...) najzásadnejšie vplyvy na spotrebu staveniska (vykurovanie a v budúcnosti to môže byť nabíjanie), využitie pomôcky pre projektových manažérov stavieb na priame určenie plánovania energetických potrieb.

Prínosy pre pedagogiku Hlavné prínosy pre pedagogiku: odhadovanie nákladov pre elektrický zdroj v staveniskovej prevádzke, predikovanie spotreby elektriny za staveniskovú prevádzku, využívanie vytvoreného nástroja pri projektovaní POV v rámci predmetov technológie stavieb, interdisciplinárne vzdelávanie v spojení znalostí z oblasti stavebníctva a energetiky.

7 ZÁVER

Výskum poukazuje, že analýza spotreby elektriny v staveniskovej prevádzke je nesmierne dôležitým nástrojom na zvýšenie efektívnosti stavebnej výroby. Pochopenie energetického správania na stavenisku predurčuje účinnosť navrhovaných optimalizácií.

Závery z výskumu a verifikácie modelu optimalizačných opatrení vo viacerých staveniskových prevádzkach v rámci Európskych krajín vyústili do metodickéj pomôcky pre projektových manažérov staveniska vo fáze plánovania projektu organizácie výstavby. Jednoduchým zadávaním základných parametrov staveniska a staveniskovej prevádzky, najmä nárokov na zdvíhacie prostriedky a nárokov na objekty zariadenia staveniska a schémy vnútorného rozvodu elektrickej staveniskovej siete je možné zistiť zníženie nárokov na požadovanú potrebu pri využití modelovaných alternatívnych zdrojov. Návrhom metodickéj pomôcky a jej verifikáciou na skúmaných a analyzovaných staveniskách považujem ostatné ciele a hlavný cieľ práce za splnený.

Monitorovanie a analýza spotreby elektriny na identifikáciu a odstránenie neefektívnych procesov počas výstavby je aj v súlade taxonómie EÚ. Európska taxonómia je klasifikačný systém, ktorý určuje, ktoré investície sú environmentálne udržateľné. Preto by bolo vhodné vo výskume potrieb elektriny pokračovať a rozširovať ciele taxonómie EÚ.

8 Zoznam požitej literatúry

- [1] Lima, L., Trindade, E., Alencar, L., Alencar, M., & Silva, L. Sustainability in the construction industry: A systematic review of the literature. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 289. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125730>
- [2] SCHACH, Rainer a kol. Kalkulácia nákladov na zariadenie staveniska. *Vybavenie staveniska: základné plánovanie, praktické rady, predpisy a pravidlá*, 2017, 377-385.
- [3] Photovoltaic Geographical Information System. *Nástroj Európskej komisie(online)*, Dostupné na: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
- [4] ZHANG, Tao; SIEBERS, Peer-Olaf; AICKELIN, Uwe. Modelling electricity consumption in office buildings: An agent based approach. *Energy and Buildings*, 2011, 43.10: 2882-2892.

Zoznam publikačnej činnosti

V2 Vedecký výstup publikačnej činnosti ako časť editovanej knihy alebo zborníka

- V2_01 ANTOŠOVÁ, Nad'a - KRIŠTOFIČ, Štefan - MAKÝŠ, Peter. Impact of human resource deployment on electricity consumption at temporary site facilities. In *Juniorstav 2024 [elektronický zdroj] : proceedings of the 26th International Scientific Conference of Civil Engineering. Brno, ČR, 25. 1. 2024*. 1. vyd. Brno : ECON publishing, 2024, online, [10] s. ISBN 978-80-86433-83-7. V databáze: DOI: 10.13164/juniorstav.2024.24142.
Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: AFC
- V2_02 KRIŠTOFIČ, Štefan - ANTOŠOVÁ, Nad'a. Renewable energy design methodology for on-site operations. In *CTM 2021 - Construction Technology and Management [elektronický zdroj] : International Scientific Online Conference. Bratislava, November, 26-27th, 2021*. 1. vyd. Brno : Tribun EU, 2021, CD-ROM, s. 82-90. ISBN 978-80-263-1688-6.
Kategória publikácie do 2021: AFD
- V2_03 KRIŠTOFIČ, Štefan. Využitie obnoviteľných zdrojov pri využívaní mobilných kontajnerov v prostredí prevádzkových budov zariadenia staveniska. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering [elektronický zdroj] : 31st Annual PhD Student Conference on Applied Mathematics, Building Technology, Geodesy and Cartography, Landscaping, Theory and Environmental Technology of Buildings, Theory and Structures of Buildings, Theory and Structures of Civil Engineering Works, Water Resources Engineering. October 13th 2021, Bratislava, Slovakia*. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2021, CD-ROM, s. 97-103. ISBN 978-80-227-5150-6.
Kategória publikácie do 2021: AFD
- V2_04 KRIŠTOFIČ, Štefan. Implementation of electric construction vehicles and machinery. In *Young Scientist 2022 (YS22) : proceedings of the 14th Conference of Civil and Environmental Engineering for PhD Students and Young Scientists. Slovak Paradise, Slovakia, 27-29 June 2022*. 1. vyd. Melville, NY : AIP Publishing, 2023, online, [5] s., art. no. 020055. ISSN 0094-243X. ISBN 978-0-7354-4600-7. V databáze: DOI: doi.org/10.1063/5.0158387.
Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD
- V2_05 KRIŠTOFIČ, Štefan. Propozícia nabíjacej infraštruktúry pre elektrické mechanizmy z hľadiska prevádzkových potrieb zariadenia staveniska. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering [elektronický zdroj] : 32nd Annual PhD Student Conference on Applied Mathematics, Building Technology, Geodesy and Cartography, Landscaping, Theory and Environmental Technology of Buildings, Theory and Structures of Buildings, Theory and Structures of Civil Engineering Works, Water Resources Engineering. October 26th 2022, Bratislava, Slovakia*. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2022, CD-ROM, s. 83-90. ISBN 978-80-227-5251-0.
Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD
- V2_06 KRIŠTOFIČ, Štefan. Návrh prevádzkových potrieb nabíjacej stanice v prostredí zariadenia staveniska. In *Juniorstav 2023 [elektronický zdroj] : sborník příspěvků. 25. mezinárodní doktorská konference stavebního inženýrství. Brno, ČR, 26. 1. 2023 = Juniorstav 2023, proceedings of the 25th International Scientific Conference of Civil Engineering for Ph.D.*

Students. 1. vyd. Brno : ECON publishing, 2023, online, s. 168-173. ISBN 978-80-86433-80-6.

Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: AFC

V2_07 KRIŠTOFIČ, Štefan. Analyzovanie vývoja spotreby elektriny na staveniskovej prevádzke v Nemecku. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering (AACEE 2023) [elektronický zdroj] : 33rd Annual PhD Student Conference on Applied Mathematics, Building Technology, Geodesy and Cartography, Landscaping, Theory and Environmental Technology of Buildings, Theory and Structures of Buildings, Theory and Structures of Civil Engineering Works, Water Resources Engineering. October 25th 2023, Bratislava, Slovakia.* 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2023, CD-ROM, s. 85-91. ISBN 978-80-227-5378-4.
Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: AFD

V2_08 KRIŠTOFIČ, Štefan - ANTOŠOVÁ, Nad'a. Optimising electricity consumption on construction site using a monitoring system. In *Juniorstav 2024 [elektronický zdroj] : proceedings of the 26th International Scientific Conference of Civil Engineering. Brno, ČR, 25. 1. 2024.* 1. vyd. Brno : ECON publishing, 2024, online, [7] s. ISBN 978-80-86433-83-7.
V databáze: DOI: 10.13164/juniorstav.2024.24107.
Typ výstupu: príspevok z podujatia; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: AFC

V3 Vedecský výstup publikačnej činnosti z časopisu

V3_01 ANTOŠOVÁ, Nad'a - ŠŤASTNÝ, Patrik - PETRO, Marek - KRIŠTOFIČ, Štefan. Application of additional insulation to ETICS on surfaces with biocorrosion. In *Acta Polytechnica*. Vol. 61, no. 5 (2021), s. 590-600. ISSN 1210-2709 (2021: 0.261 - SJR, Q3 - SJR Best Q). V databáze: WOS: 000718126000002 ; DOI: 10.14311/AP.2021.61.0590 ; SCOPUS: 2-s2.0-85121030669.
Kategória publikácie do 2021: ADM

V3_02 ANTOŠOVÁ, Nad'a - KRIŠTOFIČ, Štefan - MAKÝŠ, Peter. Potenciál využitia energie z obnoviteľných zdrojov pre prevádzku a objekty zariadenia staveniska. In *Mladá veda [elektronický zdroj]*. Roč. 11, č. 5 (2023), online, s. 171-180. ISSN 1339-3189.
Typ výstupu: článok; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: ADF

V3_03 KRIŠTOFIČ, Štefan. Analýza využitia veľkokapacitných kontajnerov s obnoviteľným zdrojom energie vo vertikálnych farmách. In *Mladá veda [elektronický zdroj]*. Roč. 9, č. 2 (2021), online, s. 127-154. ISSN 1339-3189.
Kategória publikácie do 2021: ADF

V3_04 KRIŠTOFIČ, Štefan. Analýza možnosti uskladnenia energie z obnoviteľných zdrojov energie na stavenisku. In *Buildustry [elektronický zdroj]*. Roč. 5, č. 2 (2021), CD-ROM, s. 109-114. ISSN 2454-0382.
Kategória publikácie do 2021: ADF

V3_05 KRIŠTOFIČ, Štefan. Vplyv dočasných objektov na spotrebu elektrickej energie v staveniskovej prevádzke. In *Mladá veda [elektronický zdroj]*. Roč. 11, č. 2 (2023), online, s. 260-266. ISSN 1339-3189.
Typ výstupu: článok; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: ADF

- V3_06 KRIŠTOFIČ, Štefan - ANTOŠOVÁ, Naďa - MAKÝŠ, Peter. Analysis of electricity supply to construction site operations in Slovakia. In *Mladá veda [elektronický zdroj]*. Roč. 11, č. 5 (2023), online, s. 218-224. ISSN 1339-3189.
Typ výstupu: článok; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: ADF
- V3_07 KRIŠTOFIČ, Štefan - ANTOŠOVÁ, Naďa - MAKÝŠ, Peter. Reducing the carbon footprint of temporary site structures. In *Waste Forum [elektronický zdroj]*. Č. 1 (2024), online, s. 39-47. ISSN 1804-0195 (2022: 0.148 - SJR, Q4 - SJR Best Q). V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85187718747.
Typ výstupu: článok; Výstup: zahraničný; Kategória publikácie do 2021: ADM

O3 Odborný výstup publikačnej činnosti z časopisu

- O3_01 KRIŠTOFIČ, Štefan. Skúmanie potenciálu elektrických stavebných vozidiel na Slovensku. In *Buildustry*. Roč. 6, č. 1 (2022), online, s. 72-77. ISSN 2454-0382.
Typ výstupu: článok; Výstup: domáci; Kategória publikácie do 2021: BDF