

Mladá veda

Young Science

Parametre neverbálnej komunikácie vybraných štátnych príslušníkov tretích krajín

Analýza využitia veľkokapacitných kontajnerov s obnoviteľným zdrojom energie vo vertikálnych farmách

Mladá veda

Young Science

MEDZINÁRODNÝ VEDECKÝ ČASOPIS MLADÁ VEDA / YOUNG SCIENCE

Číslo 2, ročník 9., vydané v júni 2021

ISSN 1339-3189

Kontakt: info@mladaveda.sk, tel.: +421 908 546 716, www.mladaveda.sk

Fotografia na obálke: Floriánova ulica v Prešove. © Branislav A. Švorc, foto.branisko.at

REDAKČNÁ RADA

doc. Ing. Peter Adamišín, PhD. (Katedra environmentálneho manažmentu, Prešovská univerzita, Prešov)

doc. Dr. Pavel Chromý, PhD. (Katedra sociálnej geografie a regionálneho rozvoje, Univerzita Karlova, Praha)

prof. Dr. Paul Robert Magocsi (Chair of Ukrainian Studies, University of Toronto; Royal Society of Canada)

Ing. Lucia Mikušová, PhD. (Ústav biochémie, výživy a ochrany zdravia, Slovenská technická univerzita, Bratislava)

doc. Ing. Peter Skok, CSc. (Ekomos s. r. o., Prešov)

prof. Ing. Róbert Štefko, Ph.D. (Katedra marketingu a medzinárodného obchodu, Prešovská univerzita, Prešov)

prof. PhDr. Peter Švorc, CSc., predseda (Inštitút histórie, Prešovská univerzita, Prešov)

doc. Ing. Petr Tománek, CSc. (Katedra verejnej ekonomiky, Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Ostrava)

REDAKCIA

PhDr. Magdaléna Keresztesová, PhD. (Fakulta stredoeurópskych štúdií UKF, Nitra)

Mgr. Martin Hajduk, PhD. (Inštitút histórie, Prešovská univerzita, Prešov)

RNDr. Richard Nikischer, Ph.D. (Ministerstvo pro místní rozvoj ČR, Praha)

Mgr. Branislav A. Švorc, PhD., šéfredaktor (Vydavateľstvo UNIVERSUM, Prešov)

PhDr. Veronika Trstianska, PhD. (Ústav stredoeurópskych jazykov a kultúr FSŠ UKF, Nitra)

Mgr. Veronika Zuskáčová (Geografický ústav, Masarykova univerzita, Brno)

VYDAVATEĽ

Vydavateľstvo UNIVERSUM, spol. s r. o.

www.universum-eu.sk

Javorinská 26, 080 01 Prešov

Slovenská republika

© Mladá veda / Young Science. Akékoľvek šírenie a rozmnožovanie textu, fotografií, údajov a iných informácií je možné len s písomným povolením redakcie.

ANALÝZA VYUŽITIA VEĽKOKAPACITNÝCH KONTAJNEROV S OBNOVITEĽNÝM ZDROJOM ENERGIE VO VERTIKÁLNYCH FARMÁCH

ANALYSIS OF THE USE OF LARGE-CAPACITY CONTAINERS WITH RENEWABLE ENERGY SOURCE IN VERTICAL FARMS

Štefan Krištofič¹

Autor pôsobí ako interný doktorand na Katedre technológie stavieb, Stavebná fakulta Slovenskej technickej univerzity v Bratislave a zároveň je študentom na Ústave elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Slovenskej technickej univerzity v Bratislave. Vo svojom štúdiu sa venuje analýze možností využitia premiestniteľných kontajnerov na budovanie vertikálnych fariem priamo v mestách. Výsledky z experimentálneho návrhu zabezpečenia potrieb energie pre vertikálne farmy využije pri výskume aplikácie obnoviteľných zdrojov v staveniskovej výrobe.

The author works as an internal doctoral student at the Department of Building Technologies, Faculty of Civil Engineering of the Slovak University of Technology in Bratislava and is also a student at the Institute of Electrical Power Engineering and Applied Electrical Engineering, Faculty of Electrical Engineering and Informatics of the Slovak University of Technology in Bratislava. In our study, we analyze the possibilities of using movable containers to build a vertical farm directly in the cities. He will use the results from the experimental design of energy needs for vertical farms in research into the application of renewable resources in on-site production

Abstract

The basic idea of the research is an analysis of the possibilities of using portable containers to build a vertical farm directly in the cities. The expected benefit is a reduction in energy and carbon intensity in the food industry. However, a technologically intensive solution also has its risks. The research deals with the assessment of these risks. The main risks of use include the energy balance and the possibility of using renewable energy sources, in a specific location, which depends on the sources of daylight and air currents. The experimental model

¹ Adresa pracoviska: Ing. Štefan Krištofič, Katedra technológie stavieb. Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita, Radlinského 11, 810 05 Bratislava
E-mail: stefan.kristofic@stuba.sk

verifies the assumption of energy consumption. The mutual comparison of the container farm and the model opens a discussion about the efficiency of using containers for such a purpose. The conclusion summarizes the legislative basis and aspects of energy efficiency in the Slovak and European environment.

Key words: vertical farm, use of renewable resources

Abstrakt

Základnou myšlienkou príspevku je analýza možností využitia premiestniteľných kontajnerov na budovanie vertikálne farmy priamo v mestách. Predpokladaným prínosom je zníženie energetickej a uhlíkovej náročnosť v potravinárstve. Technologicky intenzívne riešenie má však i svoje riziká. Príspevok sa zaoberá hodnotením týchto rizík. Medzi majoritné riziká využitia patrí energetická bilancia a možnosť využitia obnoviteľných zdrojov energie, v konkrétnej lokalite, ktorá je závislá od daných zdrojov denného svetla a vzdušných prúdov. Experimentálny model overuje predpoklad spotreby energie. Vzájomné porovnanie kontajnerovej farmy a modelu otvára diskusiu o efektívnosti využitia kontajnerov pre takýto účel. Záver sumarizuje legislatívne východiská a hľadisko energetickej efektívnosti v slovenskom a európskom prostredí.

Kľúčové slová: vertikálna farma, využitie obnoviteľných zdrojov

Úvod

Zvyšovanie podielu mestského obyvateľstva a požiadavka na zásobovanie miest čerstvými potravinami zvyšuje tlak na prepravu z vidieckych fariem na pulty obchodov. Pestovanie čerstvých potravín priamo v mestách umožňuje na malej ploche intenzívnu produkciu v kontrolovaných podmienkach, čím sa maximalizuje celkový výnos, výživová hodnota a zároveň sú eliminované dopravné náklady. Vzniká myšlienka využitia kontajnerových buniek na poľnohospodárske účely.² Vnútorne usporiadanie pestovateľského prostredia je založené na vertikálnom princípe sadenicových plôch, či už vo zvislo na sebe naskladaných vrstvách, alebo na špeciálne prispôbených vertikálnych plochách. V Európe sa označujú ako vertikálne, alebo kryté farmy.

Vertikálne poľnohospodárstvo je mladé, dynamické a neustále sa meniace odvetvie. Počet vertikálnych fariem v Európe je relatívne malý, ale trend poukazuje na skokové zvýšenie počtu.³ Kľúčovým faktorom, ktorý určuje úspech vertikálnej farmy, je zabezpečenie dostatočného rovnomerného a efektívneho svetla pre rastliny. Na vylepšenie fotosyntézy a tým na maximalizáciu produktivity plodín sa využívajú inžinierske riešenia s nízkoenergetickým vstupom, ako sú napríklad svetelné diódy (LED).⁴ Svetelné zdroje spotrebujú najviac elektriny z celej spotreby systému, majú niekoľko násobne väčší podiel na celkovej spotrebe v porovnaní s ostatnými spotrebičmi. Na pokrytie spotreby a dosiahnutie

² Martin, M., & Molin, E. (2019). Environmental assessment of an urban vertical hydroponic farming system in Sweden. *Sustainability (Switzerland)*, 11(15).

³ Butturini, M., & Marcelis, L. F. M. (2019). Vertical farming in Europe: Present status and outlook. In *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production: Second Edition*.

⁴ He, J., Qin, L., Alahakoon, P. K. D. T., Chua, B. L. J., Choong, T. W., & Lee, S. K. (2018). LED-integrated vertical aeroponic farming system for vegetable production in Singapore. *Acta Horticulturae*, 1227.

vysokej energetickej efektívnosti sú vhodné obnoviteľné zdroje energie, napríklad fotovoltické panely.

Uloženie energie v batériách zaisťuje rovnomernosť dodávky elektriny. Automatizované prepínanie napájania z distribučnej sústavy môže tiež zaisťovať zabezpečenie potrebnej energie na prevádzku počas obdobia slabého svitu. Využitie prebytočnej energie zdieľaním s inými farmami optimalizuje spotrebu energie na zníženie nákladov, a podporí kampaň na zníženie uhlíkovej stopy.⁵

Princíp trvalo udržateľnej technológie pestovania

Prepravné kontajnery sa stávajú obľúbenejšou voľbou pre umiestnenie vertikálnych poľnohospodárskych systémov. Mobilné kontajnery slúžia ako štandardizované modulárne kryté priestory pre pestovanie rôznych rastlín. Sú vybavené zariadeniami, ktoré vytvárajú vhodné prostredie pre ich rast. K základným zariadeniam predovšetkým patrí LED osvetlenie, ďalej sú to vodné čerpadlá, ktoré cirkulujú živný roztok, klimatizácie, odvlhčovače, ventilátory, inteligentné ovládacie prvky a monitorovacie senzory.

Koncept pestovania v kontrolovanom prostredí funguje na viacerých princípoch, zaraďuje sa sem hydropónia, akvapónia a aeropónia.

Hydropónia

Hydropónia označuje techniku pestovania rastlín bez využitia pôdy. V hydroponických systémoch sú korene rastlín ponorené do kvapalných roztokov obsahujúcich makroživiny, ako je dusík, fosfor, síra, draslík, vápnik a horčík, tiež niektoré stopové prvky ako napríklad železo, chlór, mangán, bór, zinok, meď a molybdén. Okrem toho sa ako náhrady pôdy používajú tiež inertné (chemicky neaktívne) médiá, ako je štrk, piesok a piliny. Poskytujú podporu koreňom a umožňujú prirodzenejšie zakorenenie.

Medzi výhody hydropónie patrí schopnosť niekoľko násobne znížiť plochu potrebnú na pestovanie a zníženie spotreby vody. Niektoré štúdie poukazujú rozdiel spotrebovanej vody medzi konvenčným a hydroponickým poľnohospodárstvom. Štúdie zaznamenali zvýšenú produkciu šalátu zhruba na 11 násobok, ktorá vyžadovala 13-krát menej vody. Vďaka týmto výhodám je hydropónia prevládajúcou technikou pestovania vo vertikálnom poľnohospodárstve.⁶

Akvapónia

Termín akvapónia je vytvorený kombináciou dvoch slov: akvakultúra, ktorá označuje chov rýb a hydropónia - technika pestovanie rastlín bez pôdy.

Akvapónia posúva hydropóniu o krok ďalej tým, že integruje produkciu rastlín s produkciou vodných organizmov do systému uzavretej slučky, ktorý napodobňuje samotný

⁵ Labrador, C. G., Ong, A. C. L., Baldovino, R. G., Valenzuela, I. C., Culaba, A. B., & Dadios, E. P. (2019). Optimization of power generation and distribution for vertical farming with wireless sensor network. 2018 IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management, HNICEM 2018.

⁶ Resh, Howard M. (2016). Hydroponic food production : a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower (Seventh ed.). Boca Raton,

cyklus prírody. Z akvária sa získa odpadová voda, ktorá je bohatá na živiny a vyfiltrujú sa pevné látky. Potom dôjde k ďalšej filtrácii pomocou biofiltra, kde sa toxický amoniak premieňa na výživný dusičnan. Rastliny pri vstrebávaní živín čistia odpadovú vodu, ktorá sa recykluje späť do akvária. Rastliny navyše spotrebúvajú oxid uhličitý vyprodukovaný rybami a voda v akváriách prijíma teplo a pomáha v skleníku v noci udržiavať teplotu tak, aby šetrila energiu. Keďže sa ale väčšina komerčných vertikálnych poľnohospodárskych systémov zameriava na produkciu rýchlo rastúcich zeleninových rastlín, nie je akvapónia v súčasnej dobe tak široko využívaná.⁷

Aeropónia

Vynález aeropónia bol v 90. rokoch motivovaný iniciatívou NASA k nájdeniu efektívneho spôsobu pestovania rastlín vo vesmíre. Na rozdiel od hydroponie a akvapónie nevyžaduje aeroponické pestovanie rastlín žiadne kvapalné a pevné médium. Namiesto toho sa kvapalný roztok so živinami vyparuje do vzduchových komôr, kde sú rastliny zavesené.

Aeropónia je najudržateľnejším spôsob pestovania bez pôdy, pretože spotrebuje až o 90% menej vody ako najúčinnšie hydroponické systémy a nevyžaduje výmenu rastového média. Absencia rastového média navyše umožňuje aeroponickým systémom lepšie prispôbiť svoju konštrukciu, čo ďalej šetrí energiu, pretože gravitácia automaticky odvádza prebytočnú kvapalinu, zatiaľ čo bežné horizontálne hydroponické systémy často vyžadujú vodné čerpadlá pre odvod prebytočných kvapalín.

V súčasnej dobe nie sú aeroponické systémy široko používané vo vertikálnom poľnohospodárstve, ale začínajú priťahovať významnú pozornosť.⁸

Výhody

Hlavnou výhodou využitia vertikálnych poľnohospodárskych technológií je zvýšená produkcia rastlín. Súvisí to najmä s tým, že na jednu rastlinu je potreba menej priestoru, než je tomu v klasickom poľnohospodárstve. Ďalej to súvisí s vodou, ktorej spotrebované množstvo je tiež oveľa nižšie. Ďalšou výhodou je zvýšená schopnosť pestovať väčšiu škálu rastlín naraz, pretože nezdierajú rovnakú pôdu počas pestovania. Rastliny sú navyše odolné voči výkyvom počasia z dôvodu ich umiestnenia vo vnútorných priestoroch. V neposlednom rade, vďaka menšej ploche pre pestovanie, vertikálne poľnohospodárstvo menej ohrozuje pôvodné rastliny a zvieratá v krajine, čo vedie k ochrane miestnej fauny a flóry.

Umiestnenie fariem bližšie k spotrebiteľom zaručuje, že sa minimalizuje čas prepravy. Dosahuje sa maximálna možná čerstvosť a náklady na najazdené kilometre a potrebné chladenie sa tiež minimalizujú. Zachováva sa viac rastlinnej farby a výživných látok. Dostupnosťou sa odstraňujú účinky podnebia, polohy a sezónnosti. Výhody predstavujú, že teoreticky môžete mať akúkoľvek produkciu, kedykoľvek počas roka a na akomkoľvek

⁷ Kledal, Paul Rye, Hai, Faisal I. Visvanathan, Chettiyappan; Boopathy, Ramaraj (2018). Sustainable Aquaculture. Applied Environmental Science and Engineering for a Sustainable Future. Springer International Publishing.

⁸ Mytton-Mills, H. (2018). Reimagining resources to build smart futures: An agritech case study of aeroponics. In Smart Futures, Challenges of Urbanisation, and Social Sustainability.

mieste. Pestovateľná je teda rukola v Antarktíde alebo jahody vo vesmíre. Tieto riešenia sú vhodné v oblastiach s extrémnym počasím, nedostatkom ornej pôdy a v mestskom prostredí. Spotrebitelia čoraz viac túžia po vysledovateľnosti svojich potravín. Chcú vedieť odkiaľ pochádzajú, kto ich pestoval, ako dlho boli pestované atď. Týmto kupujúcim, zameraným na lokalizáciu sa v zahraničí hovorí „locavores“. Tí majú dôležitý vplyv na popularitu poľnohospodárskych trhov. Keď je farma len na ulici a nie stovky či tisíce kilometrov ďaleko, dopestovanie je „miestne“ a od spoločnosti, ktorej veríte a dôverujete, je to s kúpou oveľa jednoduchšie. Čistota dopestovanej úrody je dosiahnutá samotným uzavretím. Veľkú úlohu tiež zohráva aj dôsledná kontrola celého systému. Na zabránenie napadnutiu škodcami a burinami už nie sú potrebné pesticídy a herbicídy. Fyzickú bezpečnosť v istom zmysle predstavujú aj vertikálne farmy. Zabraňujú stratám spôsobeným živočíšnymi škodcami alebo krádežami ľudí. V inom zmysle podporuje potravinovú bezpečnosť stabilizáciou budúcich množstiev úrody prostredníctvom eliminácie rizík, ako už boli spomenuté.⁹

Nevýhody

Vertikálne poľnohospodárstvo má aj rôzne negatíva. Napríklad ekonomicky má tento spôsob poľnohospodárstva vysoké počiatočné náklady v porovnaní s tradičnými farmami. Rôzne štúdie vytykajú vysokú vstupnú investíciu, ktorá by pri 10-stupňovom systéme stála 850-krát viac na meter kubický ornej pôdy než tradičná farma na vidieku.

Vertikálne farmy tiež čelia veľkým energetickým nárokom vďaka použitiu doplnkového svetla, ako sú LED, ale aj iným technológiám, ktoré vytvárajú vnútorné prostredie. Ak sa na splnenie týchto energetických požiadaviek použijú tradičné zdroje, vertikálne farmy by teoreticky mohli spôsobiť väčšie znečistenie ako tradičné farmy alebo skleníky.

Nízka cena obilnín spôsobuje, že v súčasnosti nie sú kontajnerové farmy ekonomicky životaschopné, ale toto sa môže v budúcnosti zmeniť. Tlak bude zvýšený meniacim sa podnebím, vzácnosťou ornej pôdy a vody.¹⁰

Analýza stavu u nás a v zahraničí

AgriCool - La Courneuve, Francúzsko

AgriCool je spoločnosť zaoberajúca sa výrobou kontajnerov pre poľnohospodárske účely so sídlom v Paríži. V súčasnosti sa predovšetkým špecializuje na jahody. Ich jahody sú k dispozícii na predaj vo viacerých oblastiach mesta a môžu byť dodané aj prostredníctvom partnerskej spoločnosti.¹¹

⁹ Benke, K., & Tomkins, B. (2017). Future food-production systems: Vertical farming and controlled-environment agriculture. *Sustainability: Science, Practice, and Policy*, 13(1).

¹⁰ Tamtiež.

¹¹ <https://www.discovercontainers.com/shipping-container-farms/>



Obr. 1 – Kontajner Agricol

Zdroj: <https://www.discovercontainers.com/shipping-container-farms/>

Urban Farm – Saint Jacques-de-la-Lande, Francúzsko

Urban Farm je tiež francúzska spoločnosť vyrábajúca systémy na pestovanie prepravných kontajnerov s názvom Farmbox. Umiestňujú svoje Farmbox systémy na miesto v obchodoch a sami si zabezpečujú prevádzku a údržbu. Obchody poskytujú iba elektrinu a vodu a späť tak získajú čerstvé produkty.¹²



Obr. 2 – Farmbox ako riešenie plug & play pre maloobchodníka

Zdroj: <https://www.discovercontainers.com/shipping-container-farms/>

Bonbio - Štokholm, Švédsko

Spoločnosť Bonbio praktizuje kruhové poľnohospodárstvo, čo znamená, že potravinový odpad sa nepriamo používa na pestovanie nových potravín. Konkrétne sa recyklovaný potravinový odpad používa na výrobu bioplynu. Vedľajším produktom výroby bioplynu sú organické tekuté živiny rastlín, ktoré sa používajú v ich kontajnerových farmách. Takže majú nielen udržateľné výhody spojené s kontajnerovým poľnohospodárstvom, ale majú tiež schopnosť vytvárať si vlastné rastlinné živiny ekologickým spôsobom.¹³

¹² <https://www.discovercontainers.com/shipping-container-farms/>

¹³ <https://www.discovercontainers.com/shipping-container-farms/>



Obr. 3 – Bonbio s najväčším zákazníkom spoločnosti

Zdroj: <https://www.discovercontainers.com/shipping-container-farms/>

Urban Crop Solutions - Waregem, Belgicko

Urban Crop Solutions je belgický priekopník v rýchlo sa rozvíjajúcej technológii „kontajnerového vertikálneho poľnohospodárstva“. Poskytuje systémy na kľúč, robotizované a schopné integrácie do existujúcich výrobných zariadení alebo jednotiek na spracovanie potravín. Urban Crop Solutions má svoj vlastný rad štandardizovaných produktov. Ich komerčné farmy sa prevádzkujú v celej Európe a Severnej Amerike so zameraním na zeleninu, bylinky, mikrozeleninu pre maloobchod s potravinami, služby v potravinách a na priemyselné použitie.¹⁴



Obr. 4 – jednotka FarmPro Urban Crop Solutions

Zdroj: <https://www.discovercontainers.com/shipping-container-farms/>

Táto spoločnosť poskytla po kontaktovaní informácie v podobe brožúry, kde sú opísané technické parametre a cenové kalkulácie ich riešení.



Obr. 5 – interiér modelu Urban Crop Solutions FarmPro

Zdroj: <https://www.discovercontainers.com/shipping-container-farms/>

¹⁴ <https://www.discovercontainers.com/shipping-container-farms/>

Alesca Life - Peking, Čína

Alesca Life je startup, ktorý stavia farmy v interiéroch a jedinečné riešenia, aby bola výroba potravín viac lokalizovaná a riadená zozbieranými údajmi. Spoločnosť Alesca bola založená v roku 2013 s víziou demokratizovať prístup k čerstvým a výživným potravinám. Spoločnosť Alesca vyvinula hyper-účinné, hydroponické a podnebné hospodárske farmy, ktoré využívajú 20 až 25-krát menej vody, hnojív a pôdy v porovnaní s konvenčnými farmami bez potreby chemických pesticídov.



Obr. 6 – pohľad do kontajnerovej farmy Alesca v Dubaji

Zdroj: <https://www.discovercontainers.com/shipping-container-farms/>

Alesca tiež uviedla na trh zariadenie „IoT“. Zariadenie, ktoré sa vzdialene monitoruje a automatizácia prebieha pomocou IT systému, ktorý agreguje údaje na úrovni výroby, zefektívňuje prevádzkové riadenie, poskytuje úplnú transparentnosť údajov a výsledovateľnosť dodávateľského reťazca pre poľnohospodárov a zákazníkov.



Obr. 7 – kontajnerová farma Alesca s bočnými priehľadnými stenami

Zdroj: <https://www.discovercontainers.com/shipping-container-farms/>

Spoločnosť Alesca recykluje použité prepravné kontajnery na farmy s vysokými výnosmi z niekoľkých kľúčových dôvodov. Prepravné kontajnery sú globálne bohaté, vysoko štandardizované a neuveriteľne odolné. Štandardizácia a modularita umožňuje rýchlu a efektívnu výrobu kontajnerových fariem. Mobilita a životnosť umožňujú kontajnerové farmy nasadiť ako dočasné alebo polo trvalé zariadenia aj v drsných klimatických podmienkach.¹⁵

¹⁵ <https://www.discovercontainers.com/shipping-container-farms/>

Growcer - Ottawa, Ontario, Kanada

Cieľom spoločnosti Growcer je umožniť jednotlivcom mať miestny prístup k čerstvým potravinám. Vďaka výrobe najmodernejších modulárnych systémov môžu komunity na celom svete ročne produkovať až 100 ton úrody. Každý systém je mimoriadne efektívny a využíva o 95% menej vody a o 99% menej pôdy ako tradičné spôsoby pestovania. Tieto systémy sú určené pre existujúcich poľnohospodárov, odľahlé a domorodé komunity, maloobchodníkov a poskytovateľov stravovacích služieb, aby pestovali miestne potraviny v konkurenčnom a v komerčnom meradle. Growcer poskytuje príležitosť pre ekonomický rozvoj v celej Kanade a za menej ako štyri roky fungovania mali systémy Ready-to-use nasadených viac ako 20 fariem v celej Kanade.¹⁶



Obr. 8 – šikmé podnosy spoločnosti Growcer umožňujú neustály tok vody naplnenej živinami s cirkuláciou pod všetkými rastlinami

Zdroj: <https://www.discovercontainers.com/shipping-container-farms/>

GrowBoxCo - Pine Island, New York, USA

GrowBox ponúka kontajnerové farmy v rôznych veľkostiach, vrátane 3-metrových a 6-metrových. To umožňuje majiteľom začať s kontajnerovým poľnohospodárstvom za oveľa nižšie ceny, ak potrebujú menej zozbieranej úrody. Sú k dispozícii s rastovými policami alebo vežami a sú plne automatizované na celoročné pestovanie.¹⁷

V spolupráci so Švajčiarskou spoločnosťou PWR Station sa snažia vyvinúť fotovoltické riešenia pre tento typ kontajnerové farmy. Vhodnosť použitia fotovoltických panelov nezávisí iba od uvažovanej spotreby ale tiež geologická poloha a faktor využitia slnečného svitu.

Ich skúsenosti a inštalácie boli nám prednesené formou mailovej komunikácie a tiež sa výrazne podieľali na návrh obnoviteľných zdrojov. Hlavnou výhodou je, že sa snažia ich produktové rady modifikovať ako stavebnicový systém. Predovšetkým sú ľahko skladateľné, prepojitelné a vyžadujú minimum prípravných procesov.

¹⁶ <https://www.discovercontainers.com/shipping-container-farms/>

¹⁷ <https://www.discovercontainers.com/shipping-container-farms/>



Obr. 9 – vykreslenie GrowBoxu s vertikálnymi rastovými zásobníkmi
Zdroj: <https://www.discovercontainers.com/shipping-container-farms/>

FarmBox Foods - Castle Rock, Colorado, USA

FarmBox Foods spája technológie a poľnohospodárstvo, aby zmenili spôsob, akým hospodárime. V porovnaní s tradičným poľnohospodárstvom sú plne automatické, prepravné vertikálne hydroponické farmy FarmBox Foods a samozrejme, že sú šetrnejšie k životnému prostrediu. Výrazne znižuje spotrebu vody a uhlíkovú stopu spojenú s prepravou potravín. Prepravné kontajnerové farmy použité z globálnych dopravných štandardov a ich vysoko efektívnej izolácie, sú ideálnym základom pre mobilné farmy. Tieto lodné kontajnerové farmy poskytujú celoročne miestne pestované produkty, ktoré môžu zásobovať „potravinárske púšte“ čerstvými potravinami. Použitie systému s riadenou vnútornou klímou umožňuje pôsobiť prakticky na neobmedzených miestach po celom svete, od najhustejších miest po vzdialené a drsné prostredie, bez vplyvu na výrobu potravín.¹⁸



Obr. 10 – rastliny vo FarmBoxe sa pestujú vo zvislých závesných táckach, ktoré je možné pri údržbe a zberu posúvať zo strany na stranu

Zdroj: <https://www.discovercontainers.com/shipping-container-farms/>

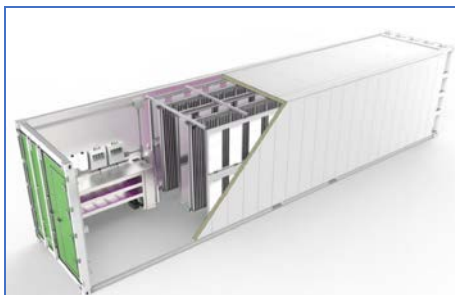
Frieght Farms - Boston, Massachusetts, USA

Freight Farms je popredný svetový výrobca technológie kontajnerového hospodárstva s desiatkami kontajnerových fariem používaných po celom svete.

Špecifikom sú vertikálne sadenicové stojany, ktoré uchytávajú koľajami a umožňujú pohyb celého hydroponického systému zo strany na stranu v kontajneri. Dôvod posunu je zmena vzdialenosti od svetelného panelu pri raste.

¹⁸ <https://www.discovercontainers.com/shipping-container-farms/>

Klíčiacia stanica je súčasťou každého ich kontajnera, k dispozícii sú živné roztoky, dopomáhajú k riadeniu rastového cyklu.¹⁹



Obr. 11 – vizualizácia výrezu zobrazuje pohyblivé stojany
Zdroj: <https://www.discovercontainers.com/shipping-container-farms/>

Najhodnotenejšie informácie sme získali z firmy Frieght Farms prostredníctvom emailovej komunikácie, takpovediac z prvej ruky. Dozvedeli sme sa o ich nastavení pestovateľského plánu, o ich vybavení s technickými parametrami, o ich spotrebe energií pre daný druh pestovanej rastliny a s cenovou kalkuláciou. Základný princíp našej navrhovanej kontajnerovej farmy vychádza práve zo systému firmy Frieght Farms.

Hausnatura – Bratislava, Slovensko

Hausnatura je vertikálna kombinovaná akvaponická a hydroponická farma fungujúca v bratislavskej Petržalke.



Obr. 12 – systém plôch pre vertikálne pestovanie
Zdroj: <https://www.hausnatura.sk/>

Lokálna mestská farma pestujúca ekologicky nezávadnú zeleninu v Bratislave. Využíva skúsenosti s pestovaním zeleniny bez hnojív a umelých látok priamo tam, kde sa aj spotrebúva. Ich produkty necestujú dlhé trate, aby sa dostali k zákazníkom a preto zostávajú dlhšie čerstvé. Farma produkuje zeleninu celoročne bez ohľadu na sezónu, či počasie.²⁰

¹⁹ <https://www.discovercontainers.com/shipping-container-farms/>

²⁰ <https://www.hausnatura.sk/>

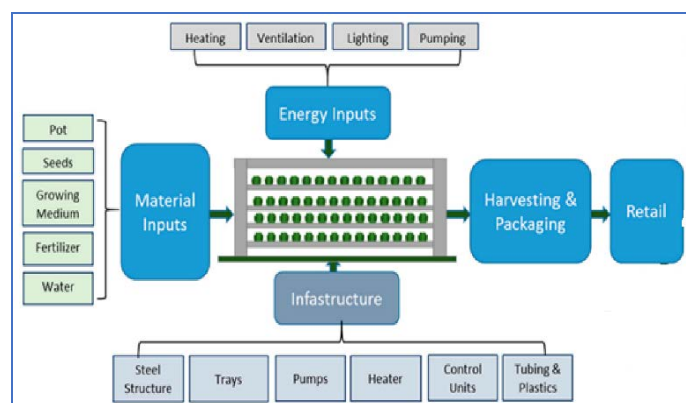
Experimentálny návrh kontajnerovej farmy s využitím obnoviteľných zdrojov

Rozhodnutie pre výber kontajnerového prevedenia bolo na základe viacerých faktov. Takéto riešenia majú vysokú štandardizáciu, unifikáciu systému. Čo z dlhodobého hľadiska znamená, pomerne ľahko odstrániteľné prípadné nedostatky z pilotného riešenia.

Ako už bolo spomínané, sú ľahko inštalovateľné na rôzne miesta a mobilita je rozhodujúcim prvkom. Vytvorenie pestovateľského prostredia v budovách nemá kľúčové vlastnosti, pre ktoré sme sa rozhodli.

Riešenia v budovách majú svoje výhody, ale i svoje nevýhody. Predovšetkým medzi nevýhodami vidíme rozsiahlu byrokráciu vo vybavovaní povolenia, súhlas vlastníkov, splnenie hygienických štandardov atď. V prípade kontajnerového prevedenia nie je až taká nutnosť sledovania širších vzťahov.

Návrh kontajnerovej farmy vychádza z obrázku č. 13, určuje vstupujúce a vystupujúce prvky.



Obr. 13 – vstupujúce a vystupujúce prvky v rámci systému kontajnerovej farmy
Zdroj: <https://doi.org/10.3390/su11154124>

Na strane vstupu máme tri základne zložky: energetická, materiálová a infraštruktúrna. Každá z nich predstavuje časť, ktorá sa priamo podieľa na pestovaní.

Energetický vstup pod sebou nesie energiu vynaloženú na kúrenie, ventiláciu, osvetlenie a čerpanie. Je to spotrebovaná elektrina v závislosti od typu systému a druhu pestovanej úrody.

Materiálový vstup uvádza nádoby, semenka, rastové prostredie, živiny a vodu. Uvažujeme s materiálom potrebným na jeden pestovateľský cyklus.

Infraštruktúrnym vstupom je myslená oceľová konštrukcia, pestovacie bloky, čerpadlá, zariadenia na úpravu vnútornej teploty, riadiaca jednotka, potrubie a plasty. Konštrukcie a zariadenia vytvárajú fyzickú podobu kontajnerovú farmu a slúžia počas celej životnosti farmy.

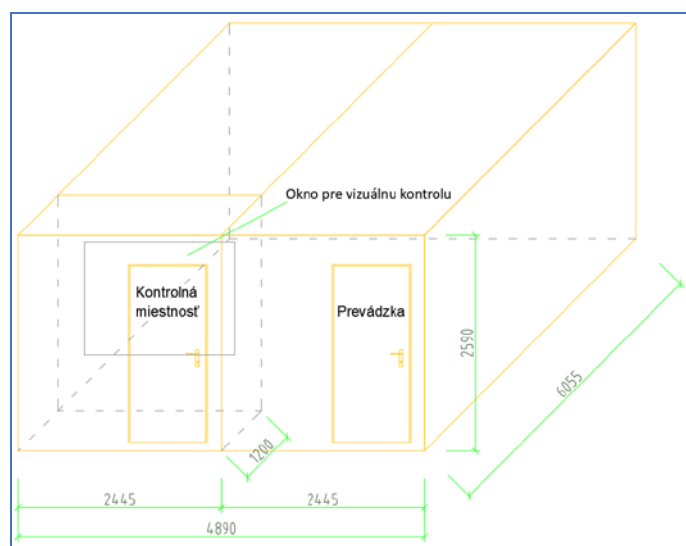
Na strane výstupu je uvedený zber úrody a balenie, následne distribuovanie do predaja. Tento výstup je výsledkom pestovateľského cyklu.²¹

²¹ Martin, M., & Molin, E. (2019). Environmental assessment of an urban vertical hydroponic farming system in Sweden. *Sustainability (Switzerland)*, 11(15).

Technické parametre

Kontajnerová farma je postavená z dvoch vedľa seba uložených klasických kontajnerových buniek bez susediacich stien. Vytvárajú tak viac štvorcový pôdorys ako podlhovastý. Typ výberu kontajnera, tzv. DUO. Tento typ sme si zvolili na základe spomínaných faktov, ale k rozhodnutiu prispeli aj moje osobné skúsenosti v stavebnom priemysle. Rozmer typu DUO 4890 mm × 6055 mm × 2590 mm (š,d,v), rozmer jedného kontajnera STANDART 2435 mm × 6055 mm × 2590 mm (š,d,v) s hmotnosťou 1,70 tony.

Na izoláciu vodorovných a zvislých konštrukcií je použitá kvalitná minerálna vlna s nízkou hodnotou súčiniteľa teplotnej vodivosti. Hrúbka izolácie v stropnej konštrukcii je 100 mm s parotesnou zábranou. Hrúbka izolácia stien a podlahy 80 mm. Vnútorne rozmery vytvárajú plochu $4,6 \times 4,5 = 20,7 \text{ m}^2$ a výšku 2,3 m. Z dôvodu eliminácie narušania vnútornej klímy pri vstupovaní do pestovateľského prostredia pre vizuálnu kontrolu bola vytvorená kontrolná miestnosť. Tá je priestorovo oddelená od prevádzky, má priehľadnú plochu na vizuálnu kontrolu a tiež výpočtovú techniku pre spracovanie elektronických dát.



Obr. 14 – schéma DUO bunky

Zdroj: vlastný návrh

Stanovenie energetických nárokov

Energetické nároky vychádzajú z pokrytia energie spotrebovanej na vytvorenie vnútorných podmienok pre účely pestovania.

Najväčší podiel spotreby elektriny tvoria svetelné zdroje. V druhom slede z hľadiska odberu elektriny nasleduje klimatizácia, ventilácia a odvlhčovanie vzduchu.

Medzi spotrebiče zaraďujeme:

- LED osvetlenie,
- klimatizačný systém,
- zvlhčovače a sušička vzduchu,
- čerpadlá živného roztoku,
- ovládače a automatizačné systémy,

- pracovné osvetlenie farmy,
- počítač a modem na spravovanie farmy na diaľku,
- webkamery.

Typ zariadenia	príkon [kW]	čas chodu za deň [h]	spotreba elektriny za deň [kWh]	percentuálny podiel na celkovej spotrebe [%]
LED diódy	0,45	14	6,30	42
Klimatizačná jednotka	1,20	3,5	4,20	28
Odvlhčovače a zvlhčovače	0,90	2	1,80	12
Čerpadlo	0,25	5	1,25	8
Ovládače a automatizácia	0,04	10	0,40	3
Osvetlenie farmy	0,03	2	0,06	< 1
Počítač a modem	0,02	24	0,48	3
Webkamery	0,02	24	0,48	3
Spolu			14,97	

Tab. 1 – denná spotreba energie
Zdroj: vlastný výpočet

Pri výpočte energií zistíme, že podiel LED osvetlenia predstavuje okolo (42%), klimatizácia (28%) a odvlhčovače vzduchu (12%). Tvorí 82% spotreby energie, zatiaľ čo zvyšné zariadenia spotrebujú iba 18% z celkovej spotreby.

K energetické hospodárnosti sú pripočítavajú aj teplotné straty kontajnerového prevedenia. Keďže sa jedná o prevádzku a nie obytné alebo kancelárske prostredie, požiadavka na vnútornú teplotu je nižšia, uvažujeme s teplotou okolo 20°C. Teplotné straty sú 1,12 kWh na deň, z toho steny 66% - 0,74kWh, strecha 25% - 0,29 kWh a podlaha 8% - 0,09kWh.

Vstup	denná spotreba [kWh]	počet dní v mesiaci [deň]	mesačná spotreba [kWh]
Farma	14,97	30	449,10
Straty	1,12	30	33,60
Spolu			482,70

Tab. 2 – Mesačná spotreba energie
Zdroj: vlastný výpočet

Mesačná spotreba projektovanej farmy je vypočítaná na 482,70 kWh za jeden mesiac, čo energeticky vôbec nie je málo. Pre správnosť odhadovanej hodnoty uvádzam poskytnuté informácie o spotrebe od troch nezávislých fariem.

iFarm

Farma uvádza spotrebu energie na svoju jednotku pestovateľskej plochy, v ktorej má cca 660 sadeníc. Mesačne v závislosti od pestovanej úrody majú spotrebu okolo 52,51 – 66,37 kWh.

Freight Farms

Má odsledovanú mesačnú spotrebu 178,00 kWh pri jednom pestovateľskom cykle na 1800 sadeníc listovej zeleniny.

GrowBoxCo

Spotrebovanú energiu má v rozmedzí 14,45 – 19,02 kWh za deň pre kontajnerovú farmu, kde maximálna kapacita pestovateľskej plochy je 5500 sadeníc. Mesačná spotreba od 433,5 kWh do 507,60 kWh.

eQw Farm

Pre rýchlosť orientácie a porovnanie sme navrhovanú kontajnerovú farmu pomenovali eQw Farm. Určenie počtu je z konceptu Freight Farms, kde vysadené rastliny boli umiestnené na vertikálnych plochách.



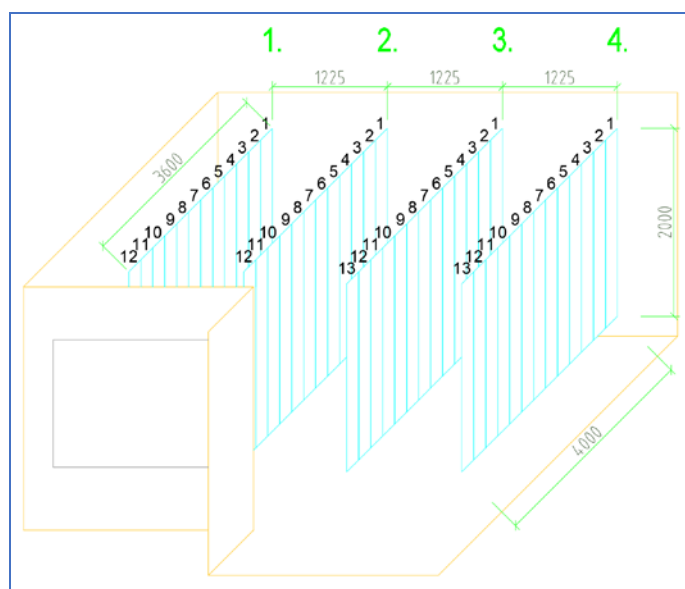
Obr. 15 – päťkanálový panel s plodinami
Zdroj: <https://www.freightfarms.com>

Jeden panel je široký 30 cm a je možné na ňom vypestovať 100 ks sadeníc. V DUO bunke vieme umiestniť 2-krát 3,7m dlhé 2-krát 4m dlhé plochy naskladané z päťkanálových panelov. Umiestnenie plôch je na obrázku č. 17 a mali by sme dosiahnuť výsadbu 5000 ks sadeníc.



Obr. 16 – päťkanálové panely naskladané do jednej 6m dlhej vertikálnej plochy a škôlka na vyklíčenie

Zdroj: <https://www.freightfarms.com>



Obr. 17 – rozmiestnenie pestovateľských plôch

Zdroj: vlastná tvorba

Nasledujúca tabuľka vysvetľuje a porovnáva spotreby. Každá farma firma má svoje vlastné know-how a ich spotreba energií závisí od vložených špecifik, ale v princípe na jednu sadenicu spotrebujeme v pestovateľskom cykle tých 70 až 110 Wh.

Možno sa bude zdať, že hodnoty nie sú aplikovateľné na kontajnerovú farmu. To avšak ani netvrdíme, ale chceme navrhnúť také riešenie, ktoré najviac môže odrážať skutočnosť v energetickom smere. Skúsenosti s energetickou bilanciou v tomto odvetí sú nedostatočné. Riešenia, kde dochádza k zníženiu spotreby energie môžu byť v inteligentom riadení vnútorného prostredia. Napríklad využívaním kompaktnosti, čo znamená chod viacerých kontajnerov súčasne a v súčinnosti. Najmodernejšie technológie v oblasti osvetľovacích zdrojov výrazne posúvajú energetickú efektívnosť vyššie.

Kontajnerová farma firma	spotreba za mesiac [kWh]	počet sadeníc [ks]	koefficient násobku [k]	prepočet spotreby na 5000 ks [kWh]
iFarm	52,51-66,37	660	7,5	393,82 - 497,75
Freght Farms	178,00	1 800	2,8	480,60
GrowBoxCo	433,50 - 507,60	5 500	1	433,50 - 507,60
eQw Farm	482,70	5 000	1	482,70

Tab. 3 – porovnanie energetických nárokov fariem s využitím kontajnerov

Zdroj: vlastný výpočet

V poslednom riadku eQw Farm máme hodnotu spotreby za mesiac. Tá nám bude určovať akú výrobu musíme plánovať z obnoviteľných zdrojov energie na pokrytie.

Riešenie obnoviteľných zdrojov energie

Obnoviteľné zdroje energie predstavujú ekologickú cestu vo výrobe elektriny. Týmto zdrojmi môžeme dosiahnuť maximálnu energetickú efektívnosť aj v oblasti poľnohospodárstva a konkrétne pre kontajnerové farmy. Obnoviteľná energia môže byť vyrobená z viacerých prírodných zdrojov akými sú vietor, slnko, voda, geotermálne pramene, či biomasa. Energia z týchto zdrojov je čistá, bezpečná a nevyčerpatelná. V našom návrhu budeme pracovať so zdrojmi elektriny zo slnečného žiarenia a z vetra. Zariadenia, ktorými sa získava elektrina sa pomenúvajú ako fotovoltické panely a veterné turbíny.

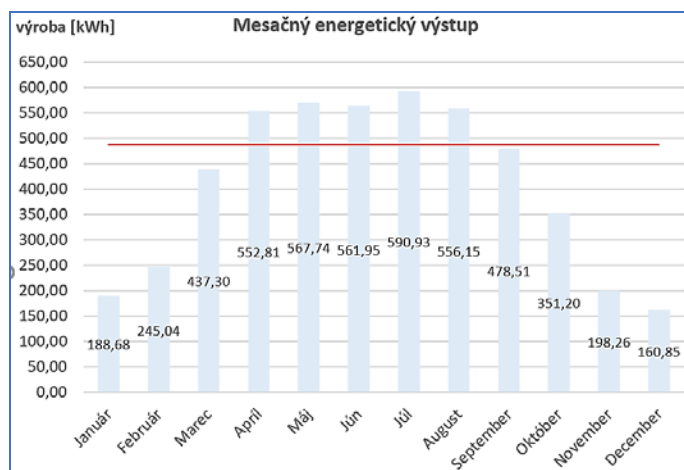
Fotovoltická elektrárň

Pre návrh fotovoltickej elektrárne použijeme webovú stránku, ktorá sa nazýva PVGIS. Je to fotovoltický geografický informačný systém. Pomocou neho vieme určiť prvotné parametre elektrárne a odhadovanú výrobu v kWh za rok, ale aj v jednotlivých mesiacoch v závislosti od slnečného ožiarenia. V jednom mesiaci potrebujeme pokryť spotrebu 482,70 kWh.

Bežne panely majú rozmer 1 600×1 000 mm a v závislosti od výrobcu sa uvádza špičkový výkon (pri plnom osvetlení slnkom) vo Wp. Na naše riešenie navrhujeme monokryštalický panel značky Q Cells, model Q.PEAK DUO so špičkovým výkonom 350Wp. Ich vybraného panelu je 1 700×1 000 mm.

Vstupné parametre sú: zemepisná šírka/dĺžka 48,182/17,130 (bývalý výrobný areál Palma Tumys v Bratislave), sklon 38°, straty systému 14%. Po zadaní parametrov v PVGIS sme zistili aký inštalovaný výkon fotovoltickej elektrárne nám pokryje mesačnú spotrebu. Hodnota sa pohybovala okolo 4 kW. Uvažovaný panel má výkon 350Wp, na výrobu 4 kW potrebujeme 12 ks panelov. 350Wp x 12ks = 4,2 kW.

Celkový inštalovaný výkon fotovoltickej elektrárne je 4,2 kW a následne sme už iba s touto hodnotou pracovali v systéme. Ten nám vyhodnotil výsledky v mesačnom energetickom grafickom výstupe, obrázok č. 18.



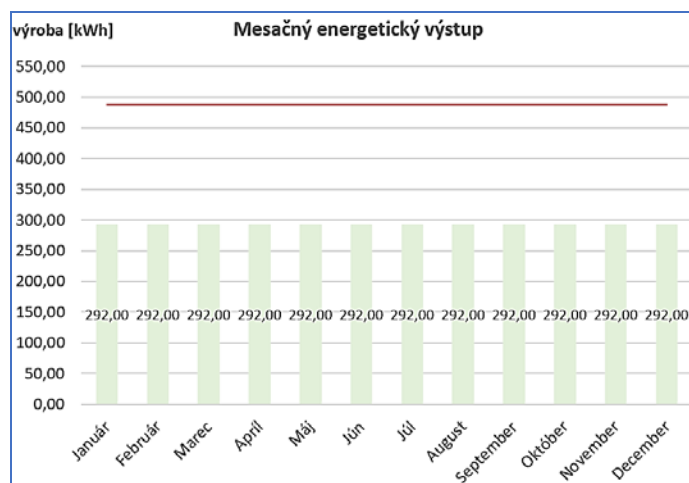
Obr. 18 – mesačná výroba FVE

Zdroj: vlastná tvorba

Veterná elektrárň

Pre návrhu veternej elektrárne uvádzame vertikálnu turbínu ECOROTE s generovaným výkonom 2,0 kW, ktorá je aplikovateľná v malej výške nad povrchom. Priemer turbíny je 2,2m, osadenie v 10m výške a rozbehová rýchlosť vetra 1,2m/s.

Výpočet uvažuje s rovnomernosťou sily vetra počas 12 mesiacov, čo je 8 760 h v roku. Do výpočtu musíme zahrnúť faktor využitia veternej turbíny nízko na povrchom, hodnota v strednej Európe je 20 %. Generovanie energie za rok činní $8\,760\text{ h} \times 2,0\text{ kW} \times 0,20 = 3\,504\text{ kWh/r}$, čiže 292kWh/mes.

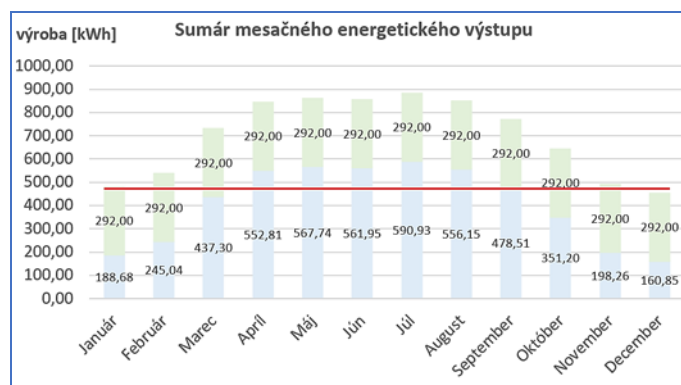


Obr. 19 – mesačný energetický výstup VT

Zdroj: vlastná tvorba

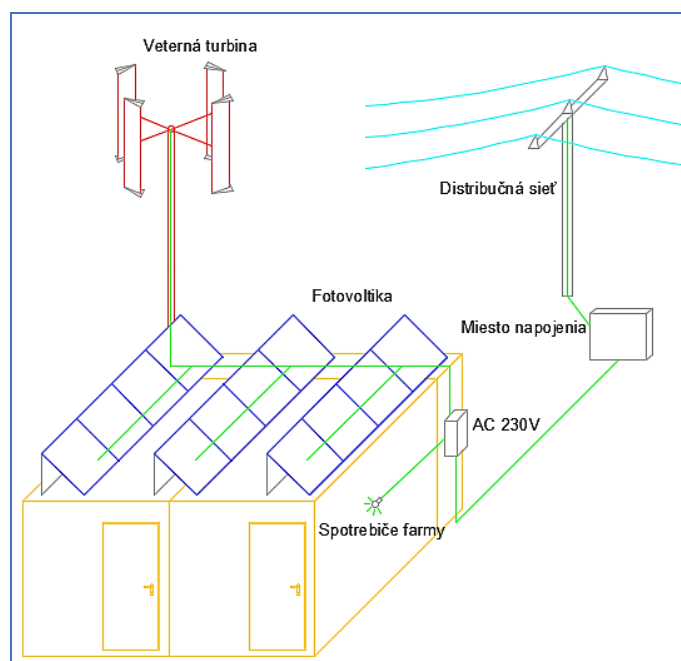
Pokrytie spotreby obnoviteľnými zdrojmi energie

Očakávaná kombinovaná výroba elektriny z OZE je uvedená na obrázku č. 20, z ktorého je vidieť, že približne 8 mesiacov v roku bude elektrina prebytková a 4 zimné mesiace viacej presne pokryje plánovanú spotrebu.



Obr. 20 – spoločné pokrytie výroby v mesiacoch
Zdroj: vlastná tvorba

Na preklenutie výkyvov spôsobených nerovnomernou výrobou elektriny z vlastného zdroja je možné využiť akumulčný systém s batériami, alebo sa spoľahnúť na odber z distribučnej sústavy. Je možné zväziť aj krátkodobé vypínanie niektorých systémov na prechodný čas, aby sa odľahčil odber v čase nedostatočnej výroby (napríklad zníženie intenzity osvetlenia, vypnutie ventilácie). Predovšetkým aby vertikálna farma nezostala bez dodávky elektriny, môže sa zapojiť ako ON-GRID systém. Mať tak distribučnú sieť ako záložný zdroj.



Obr. 21 – schéma zapojenia ON-GRID
Zdroj: vlastný návrh

Navrhovaný systém eventuálne môže pracovať ako microgrid. Zaoberá sa zabudovaním a vyvážením zdrojov generátora veternej turbíny, fotovoltického systému a systému skladovania batérií pre optimalizáciu súčasných čistých nákladov.²² Ide o vyšší stupeň oproti on-grid, procesne riadi obnoviteľné zdroje.

²² Adefarati, T., & Bansal, R. C. (2019). Application of renewable energy resources in a microgrid power system. The Journal of Engineering, 2019(18). <https://doi.org/10.1049/joe.2018.926>

Vizualizácia návrhu

3D model nám dáva najlepšiu predstavu o rozložení, tvare, veľkosti a umiestnení riešenia. Model vychádza z navrhovaných systémov a hlavne upriamuje pozornosť na koncepciu fotovoltických panelov a veternej turbíny.

Jeden z dôvodov presadzovania štvorcového tvaru je úmysel riešiť obnoviteľné zdroje na streche buniek. Existujú mnohé iné aplikácie ako sú integrácia fotovoltických článkov do obalovej konštrukcie, osadenie na samostatných konštrukciách, čo by ale nevystihovalo myšlienku kompaktnosti.

Zadná šedá prídavná konštrukcia slúži jednak k zväčšeniu pôdorysu strechy, ale aj k skrytiu vonkajších technických jednotiek. Pre kultiváciu vo farme sa v prídavnej konštrukcii nachádzajú vonkajšie zariadenia: klimatizačná jednotka, regulátor na odvod a prívod vzduchu, čerpadlo, prípojné body vody a elektriny, zásobník živného roztoku.

Pri obnoviteľných zdrojoch musíme uvažovať nie len s umiestnením panelov a turbíny, ale tiež aj so strieďačom, s batériovým úložiskom, s rozvádzačom a s drobným elektrotechnickým vybavením. Tieto zariadenia môžeme schovať do zadnej prídavnej konštrukcie. Konštrukcia nám vytvorila nie len väčšiu plochu strechy a prispela k vyššiemu počtu panelov, ale aj poslúži k schovaniu technického vybavenia farmy.



Obr. 22 – vizualizácia návrhu farmy s využitím obnoviteľných zdrojov zo slnečnej a veternej energie

Zdroj: Grafický návrh Ľubomír Mako

Cenová kalkulácia hybridného systému obnoviteľných zdrojov energie (OZE)

Výpočet nákladov hodnotí hybridný systém zapojenia (3-fázová sústava), ktorý umožňuje uskladnenie prebytočnej energie a v prípade nedostatku energie je jej získanie z distribučnej siete.

Inštalovaný výkon je 6,2kW (FV 4,2kW a VT 2kW), asymetrický hybridný striedač 7,1 kW, Akumulátor 8,6 kWh, elektroinštalačný materiál (AC/DC rozvádzač, výzbroj, kabeľáž).

Zariadenia a materiál	Cenová kalkulácia				
	životnosť [rok]	vstupná investícia [Eur]	ročné náklady na údržbu		
			[%]	[Eur]	[Eur]
Fotovoltaika [4kW]	20	5 460,0	3,0	163,8	622,29
Veterná turbína [2kW]	25	6 250,0	2,5	156,3	
Hybridný striedač	15	1 240,0	2,0	24,8	
Batériové úložisko	10	4 200,0	2,0	84,0	
Elektroinštalačný materiál	25	2 967,0	1,0	26,67	
Celková vstupná investícia		20 117,0			

Tab. 4 – vstupná investícia a náklady na údržbu
Zdroj: vlastný výpočet

Vstupné náklady hybridného systému na navrhovanú farmu sú 20 117,0 eur a ročné náklady na údržbu sú 622,29 Eur.

LED osvetlenie

Značný podiel na spotrebe energie majú práve LED svetelné zdroje. S problematikou efektívnosti, intenzity, veľkosti LED diód na pestovateľské účely sa zaoberali viaceré výskumy.

Technológie LED osvetlenia v poľnohospodárskom sektore sa rýchlo rozvíjajú. Hlavným hnacím motorom je zlepšenie produktivity listovej zeleniny. Úrodou z listovej zeleniny sú samotné listy na ktorých prebieha fotosyntéza. Tu si treba uvedomiť akú úrodu chceme získať z kontrolovaného pestovania. Sú tu dve rozdelenia úrod, pre ktoré platí, či na nich prebieha fotosyntéza alebo nie.

Pre príklad si uvedieme rímsky šalát, listy sú brané ako úroda a na nich sa vykonáva fotosyntéza. Ďalším druhom úrody sú napríklad jahody, kde jahoda je plod a na nich neprebieha fotosyntéza. Pri listovej zelenine môžeme naraziť pri konzumácii na problém s pálením záhy. Podstatný vplyv na to má intenzita umelého osvetlenia, okrem pálenia záhy spôsobuje zvyšovanie rýchlosti rastu rastlín, čo znižuje kvalitu produktu a jeho predajnú hodnotu. Špičky, spálené časti zeleniny, sa musia pri zbere odstrániť ručne, čo spôsobí väčšie

straty z výnosu. Výskumy tvrdia, že k páleniu záhy dochádza počas 23 až 26 dňa po zasiatí a jeho výskyt pozitívne koreloval s intenzitou svetla a relatívnou rýchlosťou rastu.²³

Intenzita svetla v typických aplikáciách vertikálnych fariem sa pohybuje 85 ~ 160 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Vždy to závisí od pestovanej rastliny. Udržateľnosť je možné dosiahnuť optimalizáciou všetkých kultivačných faktorov podieľajúcich sa na výrobnom procese. Účinky rôznych fotoperiódových podmienok pri rôznom načasovaní počas vývoja rastlín - od výsevu po klíčenie a zrelosť vytvára možnosti optimalizovanej fotoperiódovej pre rastliny a zníženie energetickej náročnosti kultivačnej jednotky. Výsledky zo štúdie ukázali, že kratšia fotoperiódová nemala negatívny vplyv na množstvo a kvalitu rastlín. Vyhodnocovanie bolo na základe teploty listu, veľkosti koreňov, miera chlorofilu.²⁴

Vo vertikálnych farmách s umelým osvetlením je optimálne riadenie svetla rozhodujúcim činiteľom ekonomickej aj environmentálnej životaschopnosti. Aplikácia LED technológií na pestovanie rastlín je nová a výskum sa doteraz zameriava na stanovenie optimálnych spektrálnych a svetelných intenzít. Napriek dopadom na výrobné náklady sú však informácie o optimálnom riadení fotoperiód zatiaľ obmedzené. Počet hodín za deň koreluje s celkovým svetlom dodávaným na plodiny a tiež s energetickými nákladmi. Svetlo ovplyvňuje ako rastové výkony tak aj efektívnosť využívania. Vo všeobecnosti platí vhodnosť nastavenia fotoperiódovej od 14 do 16 hodín za deň. Niektoré štúdie skúmali dlhšiu fotoperiodu a chceli dosiahnuť maximalizáciu úrody. Pri sledovaných rastlinách sa však spozorovali abnormálne rasty, spáleniny, ovädnutie listov, vysoké povrchové teploty pri dlhých fotoperiodách nad 18 hodín.²⁵

Rôzne parametre intenzity, kvality a fotoperiódovej svetla ovplyvňujú rast aj akumuláciu biozlúčenín v rastlinách. Pre experimentálne výsledky sú dôležité rastové indexy: čerstvá hmotnosť, suchá hmotnosť, dĺžka koreňa a povrchová teplota. Fotoperiódová je najvplyvnejším faktorom, druhá je intenzita svetla a najmenší vplyv na vývoj má kvalita svetla. Nie je jednoduché nájsť rovnováhu a kompromis pri pestovaní medzi výnosovosťou a kvalitou rastliny. Ak chcú poľnohospodári zbierať napr. špenát s väčšou listovou plochou a vyššou úrodou, je potrebné upraviť fotoperiódovej a používať nižšiu intenzitu svetla s dlhším časom osvetlenia. Pokiaľ sa nekladie dôraz na výnosovosť, ale na zlepšenie chuti a výživových látok špenátových výrobkov, je potrebné upraviť vyššiu a kratší čas svietenia.²⁶

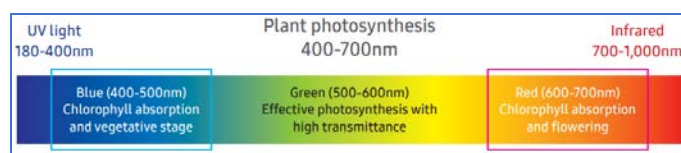
Treba dávať pozor aj na svetlo, ktoré slúži na orientáciu. V mnohých prípadoch je umelé svetlo v nočnom prostredí dostatočne jasné na to, aby vyvolalo fyziologickú reakciu rastlín, ktorá ovplyvňuje ich fenológiu, formu rastu a alokáciu zdrojov, fyziológiu, správanie a ekológiu bylinožravcov a opel'ovačov. Pochopenie ekologických následkov umelého svetla v noci je teda rozhodujúce pre určenie úplného vplyvu ľudskej činnosti na ekosystémy.

²³ Xu, W., Nguyen, D. T. P., Sakaguchi, S., Akiyama, T., Tsukagoshi, S., Feldman, A., & Lu, N. (2020). Relation between relative growth rate and tipburn occurrence of romaine lettuce under different light regulations in a plant factory with LED lighting. *European Journal of Horticultural Science*, 85(5).

²⁴ Avgoustaki, D. D. (2019). Optimization of photoperiod and quality assessment of basil plants grown in a small-scale indoor cultivation system for reduction of energy demand. *Energies*, 12(20).

²⁵ Pennisi, G., Orsini, F., Landolfo, M., Pistillo, A., Crepaldi, A., Nicola, S., Fernández, J. A., Marcelis, L. F. M., & Gianquinto, G. (2020). Optimal photoperiod for indoor cultivation of leafy vegetables and herbs. *European Journal of Horticultural Science*, 85(5).

²⁶ Zou, T., Huang, C., Wu, P., Ge, L., & Xu, Y. (2020). Optimization of artificial light for spinach growth in plant factory based on orthogonal test. *Plants*, 9(4).



Obr. 23 – účinky vlnovej dĺžky na rast rastlín

Zdroj: https://images.samsung.com/is/content/samsung/p5/led/lighting/applications/horticulture-lighting/White_Paper_Samsung_Horticulture_LED_181121.pdf

Dôležitou vlastnosťou LED svetiel sú ich vyžarované vlnové dĺžky. Účinky vlnovej dĺžky vplýva na rast rastlín a vyjadruje efektivitu fotosyntetickej reakcie. Fotosyntéza prebieha ideálne pri vlnových dĺžkach 400-700nm. Na obrázku č. 23 môžeme vyčítať pri ktorých vlnových dĺžkach je vegetatívne obdobie, efektívna fotosyntéza a kvitnutie.

Experimentálny model

Zaobstaranie kontajnerovej vertikálnej farmy na odbornovo-vedecké účely je takmer nedosiahnuteľné a preto sme vytvorili zmenšený model. Pomocou experimentálneho modelu sme vyhodnotili spotreby v malom množstve a určili energetickú efektivitu. Zrealizovali sme modul, na ktorom bol odskúšaný princíp farmárčenia a pozorovaná spotreba počas jedného cyklu. Použitá bola hydroponická farma značky Blumfeldt a zásuvkový merač spotreby značky Solight.



Obr. 24 – Hydroponická farma Blumfeldt
Zdroj: www.blumfeldt.sk



Obr. 25 – zásuvkový merač spotreby elektrickej energie Solight DT27
Zdroj: www.solight.sk

V uzávere na nádrž sa nachádza 12 otvorov na sadenicové košíky s penami, do ktorých sme zasiali 4 druhy rastlín a to: paprika, petržlen, šalvia a tymian. Z každého druhu sme zasiali tri semená a naplnili nádrž vodou v koncentracii so živnými roztokmi. Pripojili sme adaptér cez zásuvkový merač spotreby do elektrickej siete a 27.3.2021 sme začali s pestovaním. Hydroponická farma má dve elektrické zariadenia v podobe LED doskového osvetlenia, kombinácia červených a bielych diód, a vodného čerpadla. Obe zariadenia sú napájané cez jeden spoločný adaptér. Zariadenia, ktoré spotrebúvajú elektrickú energiu, LED doskové

osvetlenia a vodné čerpadlo, pracuje v cykloch. Pomocou mini inteligentného riadiaceho systému červené a biele diódy pracujú v cykle 14 hodín zapnuté a 10 hodín vypnuté. Cirkulácia vody sa striedavo zapína a vypína počas 15 minút. Keď sa osvetlenie systému automaticky vypne, vodné čerpadlo zostane cyklicky zapnuté a pokračuje v činnosti. Spotrebu elektrickej energie sa zaznamenávala každých 8 hodín, ráno o 6:00, poobede 14:00 a večer o 22:00.

Medzi pozorované údaje patria: spotrebovaná elektrická energia v kWh, okamžitá spotreba elektrickej energie vo W, hodnota napätia vo V, hodnota prúdu v A, frekvencia v Hz, účinník a teplota prostredia v °C. Pre široký rozsah hodnôt sme uvádzali iba grafické znázornenie. Začiatok výsadby 27.3.2021 o 18:30, prvé zapnutie zariadenia 28.3.2021 o 6:00. Predpokladaný koniec pozorovania je naplánovaný na 27.4.2021 o 18:00.

Od výrobcu máme technické údaje o napájaní: DC12 V/1,5 A prostredníctvom sieťového zdroja 220 - 220 V ~ a 50/60 Hz s príkonom 24 W. Zásuvkový merač spotreby elektriny má v technických parametroch udanú odchýlku merania $\pm 2\%$.

Záznam z experientu

Z pozorovania bola vykonaná fotodokumentácia sledovania rastu rastlín. Ich záznam vývinu je dôležitý, nakoľko našou úlohou je vytvorenie mobilnej kontajnerovej vertikálnej farmy na podobnom princípe kontrolovaného prostredia.



Obr. 26 – Sledovanie rastu 1. deň
Zdroj: súkromný archív



Obr. 27 – Sledovanie rastu 17. deň
Zdroj: súkromný archív

Z obrázku č. 26 a 27 môžeme pozorovať vyklíčenie všetkých semienok a pomerne zdravý rast rastlín. V košíkoch sa vytvára pevný koreňový systém, ktorý drží rastlinku.

Vyhodnotenie

Priemerná hodnota teploty okolitého prostredia sa počas pestovania pohybovala okolo 23,8 °C. Je to v rozmedzí optimálneho rastu, ktorá sa pohybuje od 20 až 28 °C. Príkony LED osvetlia, čerpadla sú zapísané v tabuľke č. 5.

Zariadenie	príkon [W]	odoberaný prúd [A]
čerpadlo	1,3	0,015
LED	10,6	0,088
čerpadlo + LED	11,6	0,099

Tab. 5 – priemerné okamžité hodnoty spotrebičov

Zdroj: vlastná tvorba

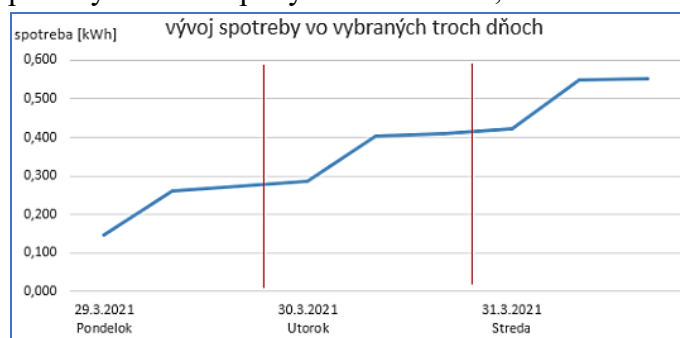
V technických parametroch od výrobcu je uvedený maximálny príkon 24W. Z meraní sme zistili, že udaný príkon nebol dosiahnutý, ba bol o polovicu menší. Trieda presnosti zaznamenaných hodnôt je v rozmedzí $\pm 2\%$. Pri odpise meraní vplyvom presnosti sa vyskytli odchýlky pri príkone $\pm 0,02\text{W}$ a pri prúde $\pm 0,002\text{A}$.

Zariadenie	zaznamenané hodnoty spotreby v dňoch (28.3.2021 - 13.4.2021) [kWh]															
	0,146	0,140	0,137	0,142	0,139	0,141	0,144	0,141	0,139	0,146	0,140	0,141	0,144	0,144	0,142	0,141

Tab. 6 – denná spotreba energie

Zdroj: vlastná tvorba

Priemerná hodnota spotreby za deň sa pohybovala okolo 0,142 kWh/deň.



Obr. 28 – spotreba energií v dňoch

Zdroj: vlastná tvorba

Graf na obrázku č. 28 zobrazuje spotrebu elektriny v priebehu troch dní merania. Z grafu je možné vyčítať, že spotreba nestúpala lineárne, ale odráža zvýšené oblasti spotreby vplyvom LED osvetlenia. Červená čiara vymedzuje jednotlivé dni.

Diskusia výsledkov

Priemerná denná spotreba bola 0,142kWh a zároveň je možné predpokladať, že mesačná spotreba sa bude pohybovať 4,26kWh. Navrhovaná kontajnerová farma ráta s dennou spotrebou 16,09kWh/d, s mesačnou 482,70kWh/m, ktorá slúži na kultiváciu 5 000 rastlín. S porovnaním môžeme zistiť, že experimentálny model je s kontajnerovou farmou približne 3,6 násobne menej efektívny. Keby sme mali dosiahnuť kultiváciu 5 000 sadeníc, predstavovalo by to mesačnú spotrebu okolo 1 775kWh/m. V tejto hodnote ešte nie je

zarátaná spotreba na temperovanie alebo udržiavanie teploty pre rast. Čo by len znižovalo energetickú efektívnosť.

Po 18 dňoch je možné konštatovať, že vykličenie je 100% a začiatok kultivácie prebiehalo podľa plánu. Sú isté zásady sadenia semienok, zásady správnej kultivácie a rôzne iné podmienky, ktoré vieme ovplyvňovať a nastaviť ich tak čo na najväčšiu produkciu. Nízku klíčivosť semien však na prvý pohľad nevidíme. Tento faktor tiež zohráva významnú úlohu pri výslednej produkcii úlohu, čo znamená že aj pri perfektne nastavených okrajových podmienkach výroby energie je možné dosiahnuť nízku produkciu.

Graf na obrázku č. 28 nám zobrazuje ako sa pohybuje príkon spotrebičov. V porovnaní s vertikálnymi farmami, princíp spotreby je rovnaký. Vertikálna farma napodobňuje prirodzený stav, cez deň sa svieti, napodobňuje sa slnečné žiarenie a v noci je rastlina bez prirodzeného osvetlenia. V predchádzajúcich častiach bol popísaný výrazný podiel spotreby LED osvetlenia na celkovej spotrebe energie. Tento jav je čitateľný aj z grafu na obr. č. 28, keď logicky pri činnosti osvetlenia rýchlejšie stúpala spotreba. Využívanie fotovoltickej elektrárne ako súčasť farmy je opodstatnené, nakoľko najvyššia potreba výroby elektriny je počas dňa, pri simulovaní denného osvetlenia vo farme a tú je možné zabezpečiť práve využívaním slnečného žiarenia.

Zásadnou podmienkou pre návrh obnoviteľných zdrojov je preto predikcia spotreby. Potom aj implementácia potrieb výroby energie je jednoduchšia. V poľnohospodárskych riešeniach je možné pomerne presne stanoviť dennú spotrebu ako aj intenzitu. V iných odvetviach, ako je napríklad stavebníctvo, je spotreba energie závislá najmä od ročného obdobia a požiadaviek na vykurovanie alebo chladenie priestorov a od denného režimu, kedy sa napríklad potreba výroby teplej vody pomocou obnoviteľných zdrojov presúva na koniec pracovných smien. Využitie technických parametrov a výsledkov z experimentálneho modelu v iných odvetviach preto vyžaduje ďalšie štúdium, najmä pre pochopenie a analýzu potrieb a nastavenie okrajových podmienok pre skúmanie energetickej efektívnosti.

Záver

Európsky parlament prijal uznesenie o tzv. Európskej zelenej dohode, zdôrazňujúc potrebu ambicióznejších opatrení na riešenie problému klimatických zmien a stretávajú sa s nimi v environmentálnom svetle. V tom je opodstatnenosť návrhu zdrojov na sebestačnú činnosť.²⁷ Energetická stránka vertikálnych fariem v súčasnosti nie je konkurencieschopná voči tradičným farmárskym technikám. Napriek tomu je predpoklad, že v budúcnosti ich hlavnou výhodou podpora lokálneho pestovania úrody v danom mieste a odstránenie nákladov a časových prestojov spôsobených dopravou. Žiadané zníženie uhlíkovej stopy je možné voči tradičným farmám napríklad ich umiestnením do sústredených distribučných centier a až odtiaľ k zákazníkom. Rozvoj inteligentných mikrosietí s možnosťou predávať prebytky z vlastného zdroja prináša ďalšiu perspektívu zvýšenia ekonomickej návratnosti takejto investície.

Koncepcia decentralizovanej výroby potravín sa spája aj koncepciou decentralizovanej výroby elektriny. Preto je prirodzená snaha o napájanie rôznych technológií z lokálneho

²⁷ Zygierevicz, A. (2021). *Renewable Energy Directive*.

zdroja elektriny, hoci by bolo jednoduchšie využiť priame napájanie z distribučnej sústavy. Lokálne zdroje predstavujú využité obnoviteľných zdrojov priamo v mieste situovania.

Podľa Akčného plánu energetickej efektívnosti s výhľadom nasledujúcich rokov by mali úsporné opatrenia v priemysle zabezpečiť viac ako 45% z celkových plánovaných úspor na tradičné zdroje energie.²⁸ Poľnohospodárstvo na Slovensku zrejme nebude závisieť od rozvoja mestských kontajnerových fariem. Princíp experimentálneho návrhu sebestačnosti potrieb elektrickej energie kontajnerovej farmy je však možné využiť vo viacerých odvetviach. Princíp kontajnerových stavieb je využívaný napr. v stavebníctve ako dočasné stavby zariadenia staveniska, ako dočasné alebo stále kancelárske objekty, vrátnice či sociálne zariadenia priemyselných, výrobných či skladových areáloch a v neposlednom rade ako sme boli svedkom posledných období aj ako dočasné objekty zdravotníctva.

Inovatívnymi opatreniami zameranými na efektívne využívanie energie a zvýšenie využívania obnoviteľných zdrojov, by bolo možné prispieť pri prechode Slovenska na nízkouhlíkové hospodárstvo.

*Tento článok odporúča na publikovanie vo vedeckom časopise Mladá veda:
doc. Ing. Nad'a Antošová, PhD.*

Použitá literatúra

1. Adefarati, T., & Bansal, R. C. (2019). *Application of renewable energy resources in a microgrid power system*. [online]. *The Journal of Engineering*, 2019(18). [cit. 27. marca 2021]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1049/joe.2018.9261>
2. Avgoustaki, D. D. (2019). *Optimization of photoperiod and quality assessment of basil plants grown in a small-scale indoor cultivation system for reduction of energy demand*. *Energies*, 12(20). [online]. [cit. 28. marca 2021]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/en12203980>
3. Benke, K., & Tomkins, B. (2017). *Future food-production systems: Vertical farming and controlled-environment agriculture*. *Sustainability: Science, Practice, and Policy*, 13(1). [online]. [cit. 26. marca 2021]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/15487733.2017.1394054>
4. Butturini, M., & Marcelis, L. F. M. (2019). Vertical farming in Europe: Present status and outlook. In *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production: Second Edition*. [online]. [cit. 27. marca 2021]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816691-8.00004-2>
5. Discover cointainers [online]. [cit. 28. marca 2021]. Dostupné z: <https://www.discovercontainers.com/shipping-container-farms/>
6. Hausnatura [online]. [cit. 1. apríla 2021]. Dostupné z: <https://www.hausnatura.sk/>
7. He, J., Qin, L., Alahakoon, P. K. D. T., Chua, B. L. J., Choong, T. W., & Lee, S. K. (2018). LED-integrated vertical aeroponic farming system for vegetable production in Singapore. *Acta Horticulturae*, 1227. [online]. [cit. 1. marca 2021]. Dostupné z: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1227.76>
8. Kledal, Paul Rye, Hai, Faisal I. Visvanathan, Chettiyappan; Boopathy, Ramaraj (2018). *Sustainable Aquaculture. Applied Environmental Science and Engineering for a Sustainable Future*. Springer International Publishing.
9. Labrador, C. G., Ong, A. C. L., Baldovino, R. G., [online]. Valenzuela, I. C., Culaba, A. B., & Dadios, E. P. (2019). Optimization of power generation and distribution for vertical farming with wireless sensor network. *2018 IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management, HNICEM 2018*. [cit. 27. marca 2021]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/HNICEM.2018.8666237>

²⁸ Zygiereicz, A., & Sanz, L. (2021). *Energy Efficiency Directive*.

10. Martin, M., & Molin, E. (2019). Environmental assessment of an urban vertical hydroponic farming system in Sweden. *Sustainability (Switzerland)*, 11(15). [online]. [cit. 23. marca 2021]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/su11154124>
11. Mytton-Mills, H. (2018). Reimagining resources to build smart futures: An agritech case study of aeroponics. In *Smart Futures, Challenges of Urbanisation, and Social Sustainability*. [online]. [cit. 29. marca 2021]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-74549>
12. Pennisi, G., Orsini, F., Landolfo, M., Pistillo, A., Crepaldi, A., Nicola, S., Fernández, J. A., Marcelis, L. F. M., & Gianquinto, G. (2020). *Optimal photoperiod for indoor cultivation of leafy vegetables and herbs. European Journal of Horticultural Science*, 85(5). [online]. [cit. 24. marca 2021]. Dostupné z: <https://doi.org/10.17660/eJHS.2020/85.5.4>
13. Resh, Howard M. (2016). *Hydroponic food production : a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower (Seventh ed.)*. Boca Raton,
14. Xu, W., Nguyen, D. T. P., Sakaguchi, S., Akiyama, T., Tsukagoshi, S., Feldman, A., & Lu, N. (2020). *Relation between relative growth rate and tipburn occurrence of romaine lettuce under different light regulations in a plant factory with LED lighting. European Journal of Horticultural Science*, 85(5). [online]. [cit. 28. marca 2021]. Dostupné z: <https://doi.org/10.17660/eJHS.2020/85.5.7>
15. Zou, T., Huang, C., Wu, P., Ge, L., & Xu, Y. (2020). *Optimization of artificial light for spinach growth in plant factory based on orthogonal test. Plants*, 9(4). [online]. [cit. 25. marca 2021]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/plants9040490>
16. Zygierewicz, A. (2021). *Renewable Energy Directive*. [online]. [cit. 25. marca 2021]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/350458371_Renewable_Energy_Directive
17. Zygierewicz, A., & Sanz, L. (2021). *Energy Efficiency Directive*. [online]. [cit. 26. marca 2021]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/350072426_Energy_Efficiency_Directive