



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

VYUŽITÍ PŘÍRODNÍCH ZDROJŮ PRO ZAHRADNÍ SKLENÍK

UTILIZATION OF NATURAL RESOURCES FOR A GARDEN GREENHOUSE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Šplíchal

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Jegla, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav procesního inženýrství
Student:	Bc. Jan Šplíchal
Studijní program:	Procesní inženýrství
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	doc. Ing. Zdeněk Jegla, Ph.D.
Akademický rok:	2023/24

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Využití přírodních zdrojů pro zahradní skleníky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na analýzu dostupných možností a návrh vhodných technických řešení pro efektivní využívání přírodních zdrojů pro zahradní skleníky. Pozornost bude zaměřena především na vhodný systém sběru a následného využití dešťové vody pro potřeby moderního zahradního skleníku a také na vhodný způsob zachytu a využívání sluneční energie pro výrobu a akumulaci elektrické energie pro energetické potřeby zahradního skleníku v ostrovním režimu. Technická řešení budou vyhodnocována na základě meteorologických dat pro zahradní skleníky konkrétní velikosti v konkrétní lokalitě.

Cíle diplomové práce:

1. Seznámit se s provedením, konstrukcí a velikostní řadou konkrétního typu zahradního skleníku, zvolit výchozí velikost skleníku a lokalitu umístění pro niž budou technická řešení na využití přírodních zdrojů posuzovány.
2. Analyzovat možnosti a provedení systémů sběru dešťové vody a způsoby technické realizace využití dešťové vody pro potřeby skleníku a na základě propočtů opírajících se o dostupná meteorologická data navrhnout pro daný skleníky a lokalitu vhodné řešení.
3. Seznámit se s možnostmi a provedením systémů pro zachyt a využití slunečního záření pro energetické potřeby zahradního skleníku v ostrovním režimu. Navrhnout takový systém pro daný skleníky a lokalitu na základě propočtů opírajících se o dostupná meteorologická data
4. Provést zhodnocení a diskusi dosažených výsledků a poznatků.

Seznam doporučené literatury:

DITL, Pavel a NETUŠIL, Michal. Bilancování a simulace systémů v MS Excel. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2018. ISBN 978-80-01-06396-5.

BRUNNER, Paul H a RECHBERGER, Helmut. Handbook of material flow analysis: for environmental, resource, and waste engineers. Second Edition. CRC Press, 2016. ISBN 1498721346.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce provádí analýzu potenciálu využití přírodních zdrojů, konkrétně slunečního záření a dešťové vody, pro zahradní skleníky různých velikostí, pomocí vlastních vytvořených bilančních výpočtových nástrojů a jimi provedených výpočtů s využitím dostupných meteorologických dat. Současně práce podává ucelený přehled technologických možností fotovoltaických a závlahových systémů v kontextu zahradních skleníků. Z výsledků provedených výpočtů vyplývá, že vhodně navržená technologická řešení mohou efektivně zajistit dostatek elektrické energie a vody pro autonomní funkci systému. U menších skleníků postačuje pro běžný sezónní provoz jednoduchý fotovoltaický systém s jedním panelem plochy asi 0,5 m² a baterií s kapacitou 300 Wh. Pro středně velké a větší skleníky je nutné zvážit optimální počet panelů a baterií vzhledem k provozním potřebám a délce sezóny, počet panelů a baterií je ale i v tomto případě přijatelný. U závlahového systému je důležité zohlednit kapacitu sudu, která by měla být přiměřená k způsobu využití vody. Při uvažovaném primárním využití kapénkové závlahy pak provedené analýzy ukazují, že by měla postačovat i pro potřeby větších skleníků kapacita sudu 100 litrů.

Klíčová slova

Fotovoltaický systém, závlahový systém, zahradní skleník, bilanční výpočtový nástroj

ABSTRACT

The thesis performs the analysis of the potential of using natural resources, specifically solar radiation and rainwater, for garden greenhouses of various sizes, using self-created balance calculation tools and calculations made by them using available meteorological data. At the same time, the thesis provides a comprehensive overview of the technological possibilities of photovoltaic and irrigation systems in the context of garden greenhouses. The results of the calculations show that appropriately designed technological solutions can effectively ensure sufficient electricity and water for the autonomous function of the system. For smaller greenhouses, a simple photovoltaic system with one panel of about 0.5 m² and a battery with a capacity of 300 Wh is sufficient for normal seasonal operation. For medium-sized and larger greenhouses, it is necessary to consider the optimal number of panels and batteries with regard to operational needs and the length of the season, but the number of panels and batteries is also acceptable in this case. For the irrigation system, it is important to consider the capacity of the barrel, which should be proportionate to the way the water is used. If the primary use of drip irrigation is being considered, then the performed analyzes show that a barrel capacity of 100 liters should be sufficient even for the needs of larger greenhouses.

Key words

Photovoltaic system, irrigation system, garden greenhouse, balancing calculation tool

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠPLÍCHAL, Jan. *Využití přírodních zdrojů pro zahradní skleníky* [online].
Brno, 2024 [cit. 2024-02-16].

Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/157603>. Diplomová práce.
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství,
Ústav procesního inženýrství. Vedoucí práce Zdeněk Jegla.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem *diplomovou* práci na téma **Využití přírodních zdrojů pro zahradní skleníky** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

23.05.2024

Datum

Jan Šplíchal

Jméno a příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto doc. Ing. Zdeňku Jeglovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování diplomové i bakalářské práce.

Rád bych také chtěl poděkovat své rodině a především svým rodičům za jejich podporu, pomoc a trpělivost nejen při tvorbě této závěrečné práce.

Obsah

Úvod.....	13
1 Sluneční energie pro zahradní skleníky	15
1.1 Sluneční záření.....	15
1.1.1 Stručný popis principu fotovoltaických článků	15
1.1.2 Využitelné vlnové délky a účinnost fotovoltaických panelů	17
1.2 Způsob popisu dopadajícího záření – globální záření	20
1.2.1 Měření globálního záření – pyranometr.....	20
1.2.2 Přístup k historickým datům globálního – archiv ČHMÚ	21
1.2.3 Pozice Slunce ve vztahu k orientaci panelu.....	24
1.3 Elektrické spotřebiče používané v zahradních sklenících	26
1.3.1 Regulace teploty a vzdušné teploty	26
1.3.2 Závlaha rostlin	28
1.3.3 Měření a řízení	29
1.4 Experimentálně získaná data spotřeby elektrické energie	29
1.5 Přístup k návrhu PV systému.....	30
1.5.1 Řešení připojením k síti (on-grid).....	30
1.5.2 Ostrovní řešení (off-grid).....	31
1.6 Možnosti akumulace energie	32
1.6.1 Srovnání dostupných bateriových technologií.....	32
1.7 PV systém v zahradním skleníku: zařízení a jejich umístění.....	33
1.7.1 Fotovoltaický panel.....	33
1.7.2 Baterie.....	34
1.7.3 Měnič proudu a řídicí jednotka.....	35
2 Dešťová voda pro zahradní skleníky	36
2.1 Dešťová voda	36
2.1.1 Způsoby popisu kvality vody.....	37
2.1.2 Nebezpečí spojená s používáním dešťové vody a její kvalitou	39
2.2 Měření množství dešťových srážek	39
2.2.1 Způsoby měření – srážkoměr.....	40
2.2.2 Množství dešťových srážek dostupné v průběhu roku v ČR	41
2.2.3 Vliv změny klimatu na množství dešťové vody	42

2.2.4	Přístup k historickým datům úhrnů srážek – archiv ČHMÚ	43
2.3	Provedení sběru dešťové vody u zahradního skleníku	45
2.3.1	Umístění okapového a svodového systému	45
2.4	Specifika akumulace dešťové vody u zahradního skleníku	46
2.4.1	Umístění akumulční nádrže	46
2.4.2	Druhy akumulčních nádob	47
2.4.3	Zajištění bezporuchového chodu závlahového systému	48
2.4.4	Faktory ovlivňující velikost akumulční nádrže	49
3	Bilanční nástroj pro dimenzování systémů využití přírodních zdrojů	51
3.1	Vybraná zařízení pro bilanční výpočet PV systému	51
3.1.1	PV panely	52
3.1.2	Baterie	52
3.1.3	Spotřebiče	53
3.2	Vybraná zařízení pro bilanční výpočet závlahového systému	53
3.2.1	Akumulční nádrže – sudy	54
3.2.2	Spotřeba vody na závlahu	54
3.3	Příprava a zpracování vstupních dat	54
3.3.1	Způsob zpracování dat	55
3.4	Základní pojmy bilančních výpočtů	55
3.5	Vstupy a výstupy bilančních výpočtů	56
3.5.1	Ustálený vs. neustálený systém	56
3.5.2	Způsoby popisu neustálených systémů	58
3.6	Aplikace diferenčního způsobu – bilanční algoritmus	59
3.6.1	Implementace bilančního algoritmu PV systému v Excelu	59
3.6.2	Implementace bilančního algoritmu závlahového systému v Excelu	64
3.7	Fotovoltaický systém – srovnání konfigurací panelů a baterií	67
3.7.1	Vliv spotřeby a globálního záření na kapacitu baterií (1–1)	67
3.7.2	Vliv zvýšení plochy panelů a kapacity baterií na výslednou bilanci	70
3.8	Závlahový systém – srovnání možných kapacit sudů	73
3.8.1	Vliv průměrných hodnot denních úhrnů spotřeby a srážek	73
3.8.2	Vliv zvýšení kapacity sudu na výslednou bilanci	75
3.9	Možnost extrapolace postupů a výsledků	77
3.9.1	Posouzení PV systému pro extrapolovaná data	77

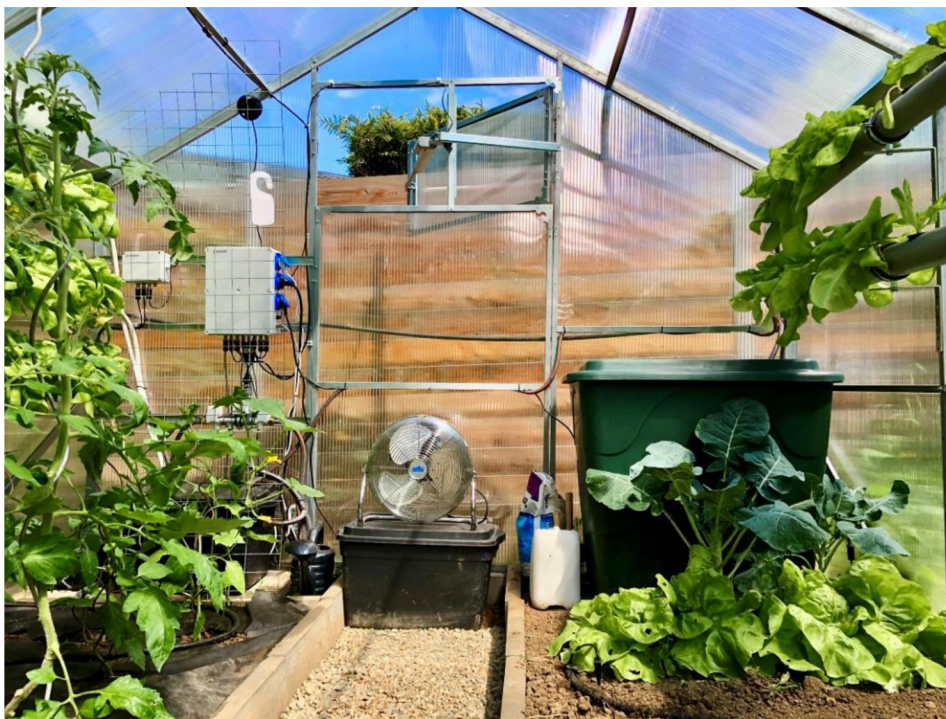
3.9.2 Posouzení závlahového systému pro extrapolovaná data	86
Závěr a diskuse výsledků	94
Seznam použitých zdrojů.....	98
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	102
Seznam obrázků.....	103
Seznam tabulek	106

Úvod

Cílem této práce je vyhodnocení potenciálu a navržení technického řešení využití přírodních zdrojů pro zahradní skleníky, slunečního záření a dešťové vody. Téma diplomové práce je volným pokračováním autorovy bakalářské práce *Výběr systému solárního ohřevu vody pro zahradní skleníky* [1] a navazuje na spolupráci se společnostmi *Limes Litomyšl s.r.o.* (dále jenom *Limes*) [2] a *Sensorie s.r.o.* (dále jen *Sensorie*) [3]. Cílem spolupráce byl mimo jiné právě návrh vhodného řešení využití přírodních zdrojů při ostrovním provozu skleníků *Limes* řízených *Chytrým skleníkem* od společnosti *Sensorie*.

Chytrý skleník [3] je komerčně dostupný produkt vyvíjený společností *Sensorie*, který zajišťuje automatický chod a udržuje optimální podmínky v zahradním skleníku (především teplotu, vlhkost a zavlažování) pomocí řady periférií propojených a ovládaných řídicí jednotkou. Na Obr. 1 je ukázán *Chytrý skleník* umístěný v tzv. *Experimentálním skleníku*.

Experimentální skleník je pro účely této práce označení skleníku, ve kterém byl v roce 2023 umístěn *Chytrý skleník* s probíhajícím sběrem dat o spotřebě elektrické energie perifériemi a vody pro závlahu. Autor zde společně s Ing. Davidem Bažoutem, zakladatelem *Sensorie*, prováděl instalaci a provozní zkoušky nových systémů. *Experimentální skleník* je polykarbonátový skleník (šířka 2,6 m, délka 6 m) s celkovou zastavěnou plochou 15,6 m². Nachází se v zahradě Rozmarýnek v brněnském Jundrově, souřadnice: 49,206298042588145 N, 16,55164467672741 E.



Obr. 1 Experimentální skleník v brněnském Jundrově s instalovaným *Chytrým skleníkem* společnosti *Sensorie* (převzato z [3])

V první kapitole jsou představeny základní prvky a principy tzv. *fotovoltaického systému* (dále také *PV systému*), který má zajistit dostatek elektrické energie pro provoz skleníku především v ostrovním režimu. *Chytrý skleník* používá k regulaci řadu elektrických periférií, jakými jsou otevírače oken, elektrický ohřívač, větrák, čerpadlo, čidla a další. Většina kapitoly je zaměřena právě na technologie fotovoltaických článků a bateriových uložení elektrické energie, pro ucelení přehledu je blíže pospána i sluneční energie, způsoby jejího zachycení, popisu a sběru dat o slunečním záření.

V druhé kapitole jsou představeny základní prvky a principy tzv. *závlahového systému*, jehož hlavním účelem je sběr, akumulace a využití dešťové vody pro zajištění závlahy rostlin. Skleníky *Limes* [2] disponují možností uchycení okapů, které ze střešní plochy mohou odvést srážkovou vodu do nádoby určené k akumulaci vody. *Chytrý skleník* dokáže díky kapénkovému systému závlahy ušetřit množství vody, která pak nemusí být dodávána z externího zdroje, např. z vodovodního řádu. Ve druhé kapitole jsou proto popsány principy popisu, zachycení, akumulace a využití dešťové vody, stejně tak i možnosti získání a využití dat úhrnů srážek.

Třetí kapitola je věnována představení *bilančního nástroje pro dimenzování PV a závlahového systému*. Je představen způsob zpracování a využití měřených dat v Excelu, vyhodnocení získaných výsledků a diskuse různých vlivů. Výstupem je doporučení množství fotovoltaických panelů, kapacity baterií a velikosti nádoby na vodu pro *Experimentální skleník* a vybrané skleníky z nabídky *Limes*.



Obr. 2 Představa možného provedení PV a závlahového systému s panely umístěnými na střeše skleníku *Limes* a vedlejší budovy a možným provedením vnitřní i vnější akumulace vody; foto z archivu autora, upravené generativním nástrojem „AI inpainting“ dostupného na webu *LightX* [4]

1 Sluneční energie pro zahradní skleníky

První kapitola je zaměřena na poskytnutí přehledu o možnostech využití sluneční energie pro malé systémy, jakým je i zahradní skleník. Jsou zde uvedeny základní poznatky o Slunci, slunečním záření, jeho účincích na zemský povrch v průběhu roku a způsoby kvalifikace a kvantifikace slunečního záření.

Pro volbu vhodného přístupu k zachytu a využití energie ze Slunce jsou charakterizovány možné spotřebiče, které lze v zahradním skleníku očekávat. Většina spotřebičů je poháněna elektricky, proto je práce primárně zaměřena na využití PV panelů (otevírání oken ve skleníku lze realizovat i hydraulicky, principem je zvětšení objemu kapaliny v pístu otevírače s rostoucí teplotou a tím vysunutí ramena, které otevře okno. S výhodou lze tento způsob využít u jednoduchých a levných systémů, nevýhodou je necitlivost např. na vlhkost vzduchu nebo přání uživatele). Z důvodu požadavku na funkci i v nočních hodinách a v časech zastínění panelů je nutné v systému uvažovat bateriové uložení elektrické energie. Pro zajištění správné funkce systému jsou představeny i pomocné prvky, řídicí jednotka a střídač [5].

1.1 Sluneční záření

Od Slunce dopadá na hranici zemské atmosféry solární energie o hustotě přibližně $1,4 \text{ kW/m}^2$ (nazýváno *solární konstantou*). Po průchodu zemskou atmosférou, kde je část záření pohlcena, na povrch dopadá přibližně 1 kW/m^2 , při zhoršených podmínkách (je zataženo nebo je Slunce nízko nad obzorem) je pak množství dopadajícího záření výrazně nižší. Pokud je tedy dimenzován systém zachycující solární záření, 1000 W lze uvažovat jako přibližnou horní hranici výkonu, který je možné z metru čtverečního získat [5]. Množství využitelné elektrické energie bude v reálném světě výrazně nižší, příčiny a původ ztrát u PV článků jsou blíže diskutovány v následující kapitole 1.1.1.

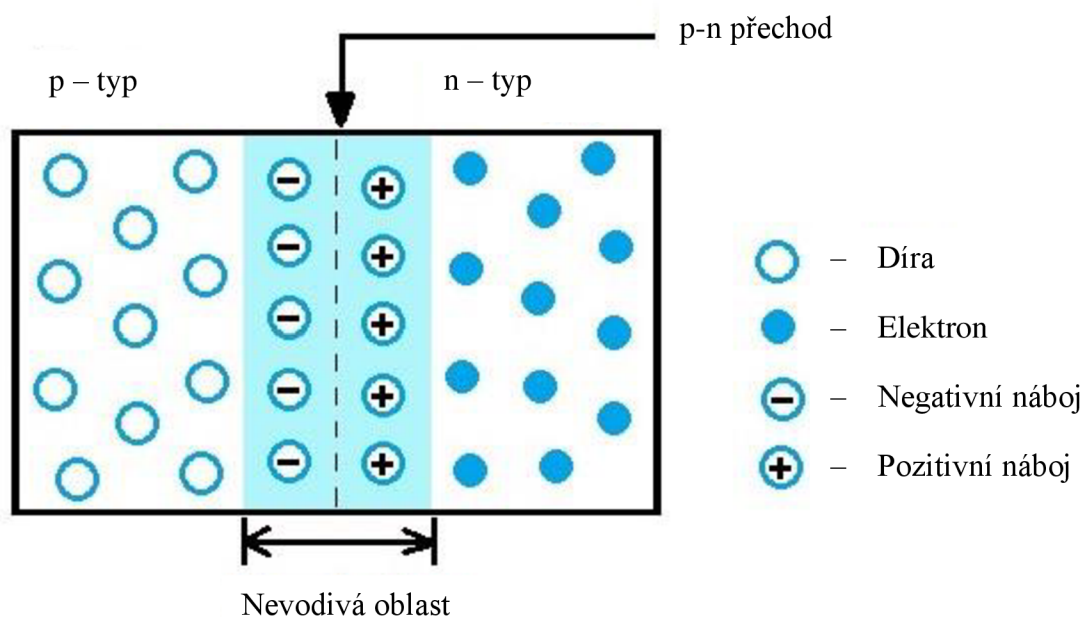
1.1.1 Stručný popis principu fotovoltaických článků

Pro účely této práce je princip fungování PV článků popsán velmi jednoduše, cílem je především poskytnout základní přehled o této technologii, jejích možnostech a potenciálních nedostatcích.

PV články fungují na principu fotoefektu, který poprvé popsal v roce 1887 Heinrich Hertz a v roce 1905 podstatu objasnil Albert Einstein (Nobelovu cenu za tuto práci získal v roce 1921) [6].

Fotony s dostatečnou energií (v případě PV článků přibližně $> 1,1 \text{ eV}$) mohou z mřížky „vyrazit“ elektron, který po sobě zanechá díru – kladný náboj. Literatura [5] uvádí, že pro využití energie fotonů jsou třeba v podstatě jen dvě věci, volné elektrony a elektrický potenciál (pole), který je uvede do pohybu směrem ze zdroje do spotřebiče.

Volné elektrony jsou v kovech běžně přítomné, v polovodičích pak běžně volné elektrony nejsou, lze je ale získat dodáním energie (v podobě tepla nebo jako sluneční záření). Elektron, který je takto v polovodiči vyražen dopadajícím fotonem, je potřeba oddělit od vzniklých děr, aby tam „nezapadnul zpět“ (rekombinace) před tím, než vykoná v obvodu užitečnou práci. K tomu se využívá tzv. p-n přechodu, tedy vhodného spojení polovodičů s nadbytečnými elektrony typu p (křemík dotovaný fosforem) a polovodičů s více dírami typu n (křemík dotovaný borem). Jejich spojením vzniká užitečná vrstva – p-n přechod, kde se projevuje snaha materiálu vyrovnat potenciál – elektrony z typu n proudí k přechodu, díry z typu p taktéž. Jak ukazuje Obr. 3, po chvíli se v okolí přechodu ustanoví rovnováha (počet elektronů a děr putujících na každou ze stran se vyrovná) a oblast přechodu se stává poměrně nevodivou.

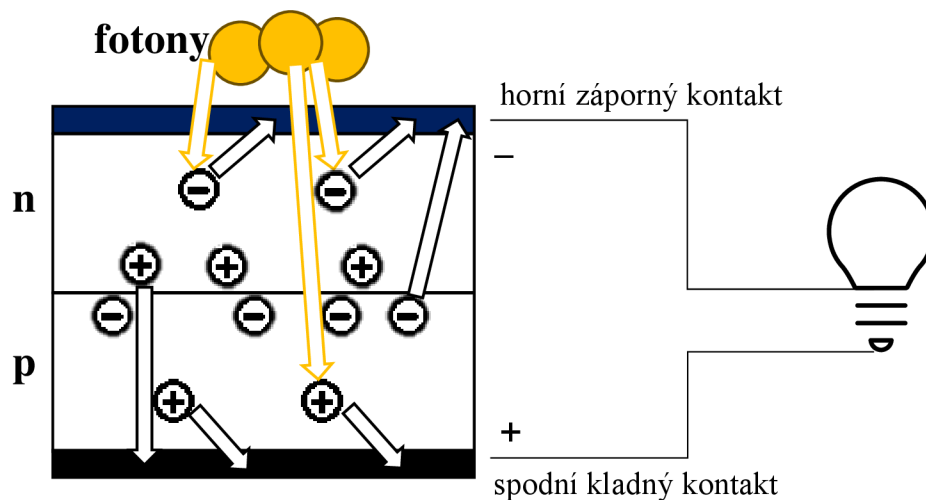


Obr. 3 Znárodnění principu p-n přechodu (převzato a upraveno z [7])

Pokud je na stranu p připojena kladná svorka zdroje napětí (tedy umožní elektronům proudit tímto směrem) a na stranu n připojena záporná svorka (elektrony odtud přitékají), proud prochází. Při otočení polarity svorek zdroje se však množství elektronů v přechodové oblasti n ještě sníží a proud neprochází, což je základním principem diody.

PV článek zjednodušeně funguje jako velká dioda – dopadající fotony vytváří volné elektrony a díry, které putují k pólům – elektrony k hornímu zápornému a díry k zadnímu kladnému kontaktu. Tento princip ilustruje Obr. 4.

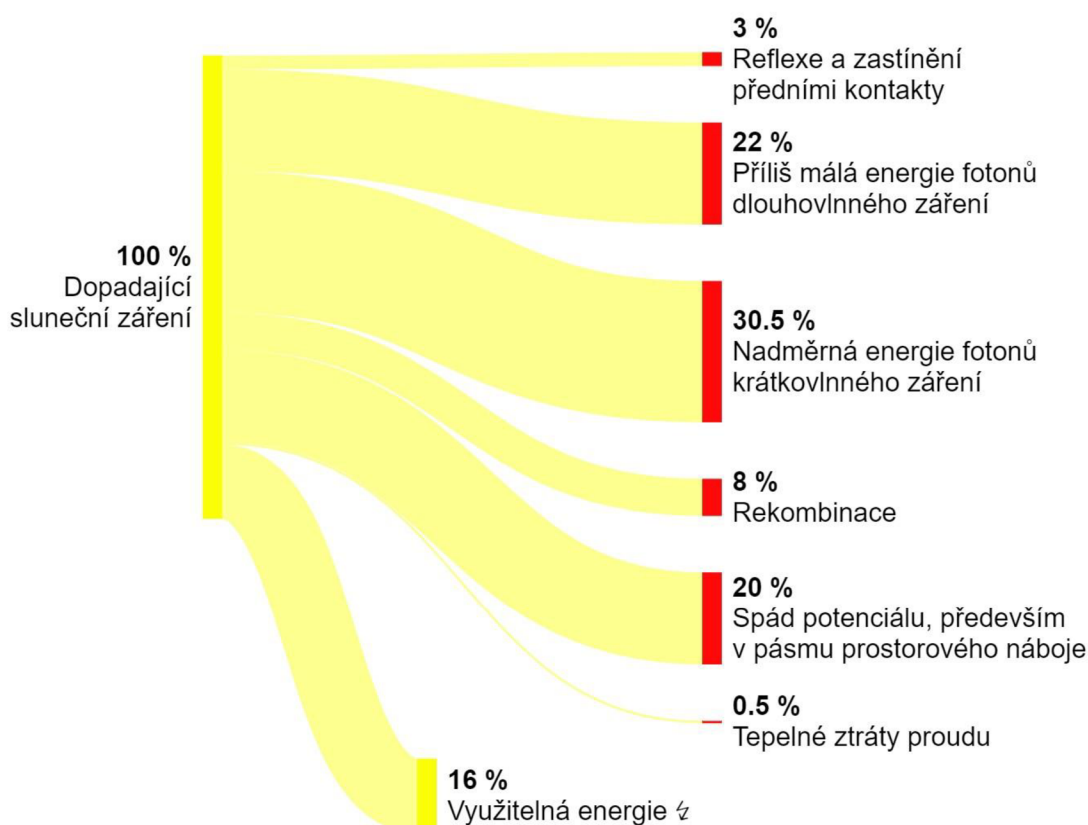
Napětí jednoho PV článku je v závislosti na materiálu různé, pro křemík uvádí literatura [5] hodnotu 0,6 V naprázdno (při zátěži je to asi 0,5 V). Proto jsou články spojovány do série, aby se získaly využitelné hodnoty napětí, 36 článků spojených v PV panel má pak napětí 18 V.



Obr. 4 Schématické zapojení PV článku do obvodu se spotřebičem (převzato a upraveno z [5])

1.1.2 Využitelné vlnové délky a účinnost fotovoltaických panelů

Jak již bylo krátce diskutováno na v kapitole 1.1, ne všechno záření, které na PV panel dopadne, je využito a přeměněno na využitelnou energii – elektřinu. Obr. 5 ukazuje toky energií do různých mechanismů ztrát, jak je ilustruje literatura [8]. V následujících bodech jsou tyto ztrátové mechanismy krátce představeny. Literatura [8] byla publikována v roce 2010, podíly různých mechanismů ztrát tak mohou být v dnešní době (2024) odlišné, zároveň existuje celá řada typů panelů, u kterých mohou být různé mechanismy různě zastoupeny. Pro ilustraci jsou ale tyto hodnoty dostačující a dobře ukazují, proč není snadné jednoduchým (a tak i levným) PV panelem zachytit a využít velkou část sluneční energie.

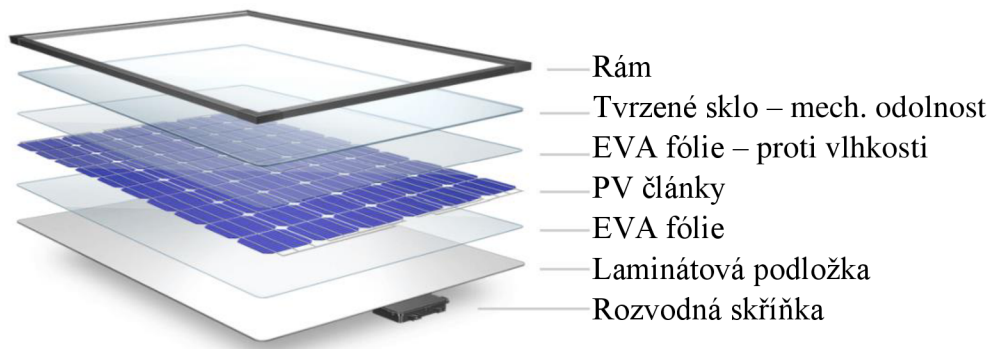


Obr. 5 Diagram toku energie dopadající na solární článek (převzato a upraveno z [8])

Reflexe a zastínění předními kontakty – 3 %

Každý materiál, na který dopadá záření, část odrazí – reflexe. V panelech se tento efekt často řeší antireflexní vrstvou na tvrzeném skle. Aby nebyl PV článek přímo vystaven vlivům okolí, je článek v rámci panelu umístěn mezi několika vrstvami ochranných materiálů – „sandwich“ typického panelu ukazuje Obr. 6.

Oboustranně je kolem PV článků etylvinylacetátová (EVA) fólie, která má především zabránit vniknutí vlhkosti k článkům. Směrem ke Slunci je umístěna vrstva tvrzeného skla, na kterém musí být kromě antireflexní vrstvy i UV filtr, který chrání EVA fólii. Pod panelem je pak umístěna neprůhledná, často laminátová, fólie. Celý panel je opatřen rámem a rozvodnou skříní pro připojení dalších panelů a kabelů [9]. Tyto prvky mohou část záření zastínit [8].



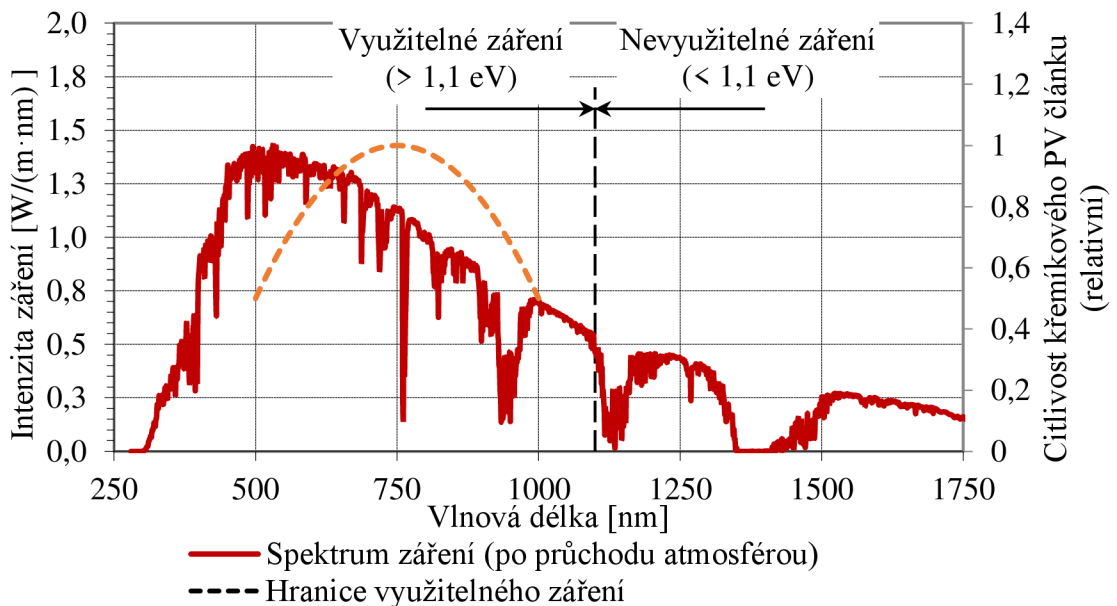
Obr. 6 Vrstvy PV panelu (převzato z [10])

Příliš malá energie fotonů dlouhovlnného záření – 22 %

Dlouhovlnné fotony nad asi 1100 nm nemají dostatek energie (méně než 1,1 eV), aby z křemíku vyrazily elektrony. Toto záření se přemění na teplo nebo panelem projde. Situaci ilustruje Obr. 7 [8].

Nadměrná energie krátkovlnného záření – 30,5 %

Pokud má foton naopak výrazně více energie (krátkovlnné UV záření), je část energie využita na vyrážení elektronu, zbytek energie je přeměněn na teplo. Část UV záření je také pohlcena UV filtrem, aby nebyla poškozena EVA fólie. Situaci ilustruje Obr. 7 (Cílem je ukázat spíše trend než přesná data, různé PV technologie se budou odlišovat; pro speciální použití jsou vyvíjeny články se schopností pohltit více energie z krátkovlnného záření [5; 8]).



Obr. 7 Spektrum slunečního záření dopadajícího na zemský povrch a typická relativní citlivost křemíkového PV článku (převzato a upraveno z [11])

Rekombinace – 8 %

Ztráta energie rekombinací probíhá, když volný elektron „zapadne“ do díry před tím, než mohl v obvodu vykonat práci [8].

Spád potenciálu, především v pásmu prostorového náboje – 20 %

Ztráty způsobené vlastním odporem PN přechodu [8].

Tepelné ztráty proudu – 0,5 %

Při průchodu elektřiny vodičem lze obecně při běžných teplotách očekávat ztráty – s rostoucí teplotou panelů tato ztráta narůstá.

Zbylá energie pak již tvoří **využitelnou energii**, elektřinu (poměr mezi jednotlivými mechanismy a výslednou účinností je různý pro různé technologie, tyto hodnoty uvádí literatura [8]).

1.2 Způsob popisu dopadajícího záření – globální záření

Veškeré záření, které na zemský povrch dopadá, lze souhrnně nazvat *globální záření*. Pro praktické účely je děleno na přímé a difuzní (rozptýlené) záření. Difuzní záření vzniká odrazem slunečního záření a na rozdíl od přímého dopadá na povrch rovnoměrně ze všech směrů, při zatažené obloze je přítomné výhradně difuzní záření.

Uvádí se formou výkonu v jednotkách W/m^2 , případně za časový úsek jako úhrnné množství energie v jednotkách kJ/m^2 .

1.2.1 Měření globálního záření – pyranometr

Pro měření globálního záření je v meteorologii používán tzv. pyranometr (jeho možné provedení ukazuje Obr. 8 vlevo). Princip klasického pyranometru je založen na porovnání teplot povrchů bílého a černého tělesa. Rozdíl těchto teplot je pak úměrný intenzitě dopadajícího záření. V literatuře [5] je uvedeno, že přeměnou sluneční energie na teplo je zaručena nezávislost odezvy na vlnové délce světla. Nově se ale hlavně kvůli příznivější ceně používají v méně klíčových aplikacích pyranometry s křemíkovým PV článkem, kde je již odezva závislá na vlnové délce. Pro účely měření u systému využívajících právě PV panelů jsou naprosto dostačující [5].

Jak bylo již uvedeno v kapitole 1.2, globální záření je děleno na přímé a difuzní, klasickým pyranometrem nelze tyto složky rozlišit. K tomuto účelu je používán tzv. pyrliometr (možné provedení ukazuje Obr. 8 vpravo). Jedná se v principu o úzkou trubici, která se průběžně otáčí, sleduje Slunce na obloze a měří množství dopadajícího záření z nejbližšího okolí slunečního disku. Difuzní záření pak lze získat jako rozdíl hodnot získaných z pyranometru a pyrliometru [5].



Obr. 8 Přístroje pro měření globálního záření, vlevo: pyranometr (převzato z [12]), vpravo: pyrhelimetr (převzato z [13])

1.2.2 Přístup k historickým datům globálního – archiv ČHMÚ

Pro účely zjištění hodnot globálního záření není nevyhnutelně nutné zařízení vlastní měřicí stanice, lze využít i dat z ČHMÚ – českého hydrometeorologického ústavu (informace a data uvedené v následujícím textu pochází přímo z webové stránky ČHMÚ [14]).

Veřejně dostupná data

Jak je na stránkách uvedeno, některá data jsou zpřístupněna: „V souladu se zákonem 123/1998 Sb. o právu na informace o životním prostředí ČHMÚ zpřístupnil denní, měsíční a roční klimatologické charakteristiky naměřené na stanicích ve správě ČHMÚ za období 1961-2023.“ (ČHMÚ – Denní data dle zákona 123/1998 Sb.) Jak ukazuje Obr. 9, pro Jihomoravský kraj jsou data ke stažení dostupná ze stanic Brno Tuřany a Kuchařovice.

Soubory ke stažení			Zpět na seznam krajů
Lokalita	Okres	Období	Soubor ke stažení
Brno, Tuřany	okres Brno-město	2013-2023	B2BTUR01_RGLB_D_SOLAR.csv.zip
Kuchařovice	okres Znojmo	1984-2023	B2KUCH01_RGLB_D_SOLAR.csv.zip

Obr. 9 Příklad dostupných datových setů pro měřicí stanice v Jihomoravském kraji (převzato z webu ČHMÚ [14])

Po stáhnutí souboru a jeho dekomprimaci lze ve vhodném programu (MS Excel, Python, ...) soubor otevřít a dále zpracovat. Soubor kromě samotných dat obsahuje informace o souboru, měřicí stanici, hodnotách buněk samotných dat apod. Samotná data jsou již řazena za sebou, každému dni náleží úhrnná hodnota globálního záření, uvedená v jednotce kJ/m^2 . Obr. 10 a Obr. 11 ukazují podobu souboru pro stanici Brno Tuřany [14].

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	#OPEN_EXPORT: 2023.05.05.1207							
2	#Datum vytvoření souboru: 14.02.2024 23:15							
3	#Stažením publikovaných dat souhlasíte s podmínkami užití těchto dat.							
4								
5	METADATA							
6	Stanice ID	Jméno stanice	Začátek měření	Konec měření	Zeměpisná délka	Zeměpisná šířka	Nadmořská výška	
7	B2BTUR01	Brno, Tuřany	01.01.1961	31.12.1996	16.6956	49.1597	241	
8	B2BTUR01	Brno, Tuřany	01.01.1997	31.12.2023	16.688889	49.153056	241	
9								
10	PŘÍSTROJE							
11	Přístroj	Začátek měření	Konec měření	Výška přístroje [m]				
12	Pyranometr	17.08.2013	31.12.2023	2				
13								
14	PRVEK							
15	Denní úhrn globálního záření [RGLB_D.SUM, kJ/m2]							
16								
17	Popis:							
18	Hodnota - hodnota prvku							
19	Příznak - rozšiřující informace o hodnotě							
20								

Obr. 10 „Hlavička“ souboru denních dat globálního záření pro stanici Brno Tuřany, obsahující informace o souboru, stanici, přístroje, měřené hodnoty apod. (soubor převzat z webu ČHMÚ [14])

20					
21	DATA				
22	Rok	Měsíc	Den	Hodnota	Příznak
3539	2023		3	18	15353
3540	2023		3	19	13998
3541	2023		3	20	9746
3542	2023		3	21	12320
3543	2023		3	22	14154
3544	2023		3	23	13439
3545	2023		3	24	8041

Obr. 11 Typická data denního úhrnu globálního záření pro stanici Brno Tuřany v časovém rozmezí 18.-24. 3. 2023 (soubor převzat z webu ČHMÚ [14])

Neveřejně dostupná data – služba ČHMÚ

Nevýhodou veřejně dostupných dat je jednak jejich relativní neaktuálnost, tedy nejaktuálnější jsou k dispozici z minulého kalendářního roku, druhak jejich dostupnost pouze formou denních úhrnů. Pokud by měla data sloužit jako kontrolní pro ověření výkonu získaného z instalovaných PV panelů v průběhu dne, sloužila by veřejně dostupná denní historická data pouze pro orientační účely.

Pro účely získání dat aktuálnějších a v menších časových intervalech lze využít služby ČHMÚ, které je dle individuální domluvy schopno poskytnout požadovaná data. Jak je uvedeno na webu ČHMÚ v sekci Historická data – základní informace, služba je

ve většině případů placená (zpoplatnění se týká především komerčního využití dat, z autorovy zkušenosti s jednáním s brněnskou regionální pobočkou ČHMÚ byla data pro akademické účely této práce poskytnuta bezplatně (určité právo na bezplatné poskytnutí této služby vyplývá z již zmíněného zákona 123/1998 Sb.))[14].

Metrologická data získaná pro účely této práce

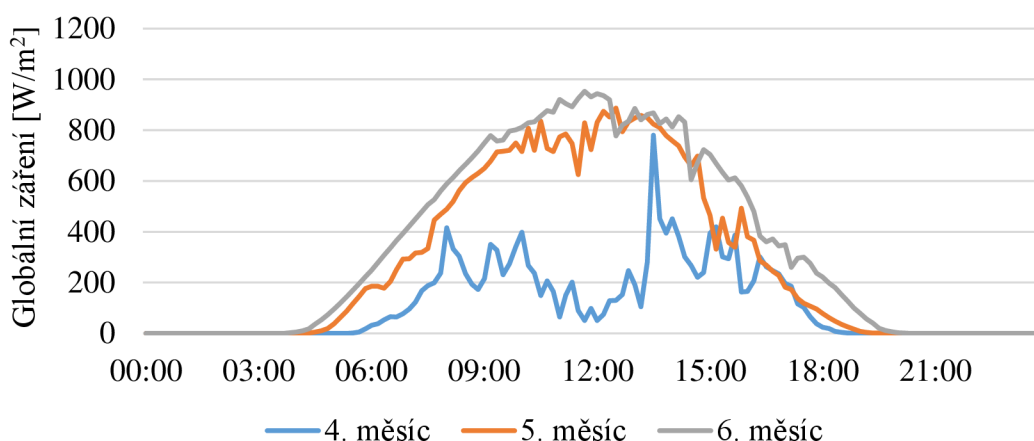
Pro provedení výpočtů prezentovaných v kapitole 3 této práce bylo nutné získat vhodná, poměrně aktuální a časově jemná data globálního záření (v 10. měsíci 2023 bylo třeba získat data za 4. až 9. měsíc 2023 v co nejmenších časových intervalech)

Od brněnské regionální pobočky ČHMÚ byla data globálního záření pro akademické účely této práce poskytnuta bezplatně v následujícím rozsahu: V období 1. 4. až 30. 9. je v desetiminutových intervalech známá hodnota globálního záření z měřicí stanice Brno Tuřany. Příslušná hodnota je uvedena jako průměr globálního záření za desetiminutový interval v jednotkách W/m^2 . Protože takto podrobná data nejsou volně poskytována a jejich šíření třetím osobám je zakázáno, je v Obr. 12 zakryta informace o konkrétním dni měření. Ze stejného důvodu nejsou na Obr. 13, který ukazuje průběh globálního záření v průběhu dne ve 4. až 6. měsíci, uvedeny konkrétní dny.

Tato data lze již pro další účely práce dále upravovat (průměrování nebo získávání trendů) a použít ve výpočtech.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
EG_GH_ID	EG_EL_ABBR	YEAR	DAY	TIME	N4	N5	N6	N7	N8	N9
B2BTUR01	RGLB10	2023		03:10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B2BTUR01	RGLB10	2023		03:20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B2BTUR01	RGLB10	2023		03:30	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0
B2BTUR01	RGLB10	2023		03:40	0,0	0,0	0,7	1,1	0,0	0,0
B2BTUR01	RGLB10	2023		03:50	0,0	0,0	2,6	0,9	0,0	0,0
B2BTUR01	RGLB10	2023		04:00	0,0	0,0	5,6	2,1	0,0	0,0
B2BTUR01	RGLB10	2023		04:10	0,0	0,0	10,5	6,6	0,2	0,0
B2BTUR01	RGLB10	2023		04:20	0,0	1,4	18,0	12,1	0,6	0,0
B2BTUR01	RGLB10	2023		04:30	0,0	4,8	36,8	13,0	0,3	0,0
B2BTUR01	RGLB10	2023		04:40	0,0	9,8	53,1	14,9	1,2	0,0
B2BTUR01	RGLB10	2023		04:50	0,0	19,4	73,5	20,7	4,6	0,2
B2BTUR01	RGLB10	2023		05:00	0,0	37,5	95,5	24,0	10,8	1,6
B2BTUR01	RGLB10	2023		05:10	0,0	61,4	119,1	27,7	18,1	3,4
B2BTUR01	RGLB10	2023		05:20	0,0	87,5	143,7	33,5	20,3	4,6

Obr. 12 Ukázka dat desetiminutových úhrnů globálního záření v konkrétní den (získáno od brněnské pobočky ČHMÚ [14])



Obr. 13 Graf denního průběhu získaných dat globálního záření ve 4. až 6. měsíci (získáno od brněnské pobočky ČHMÚ [14])

1.2.3 Pozice Slunce ve vztahu k orientaci panelu

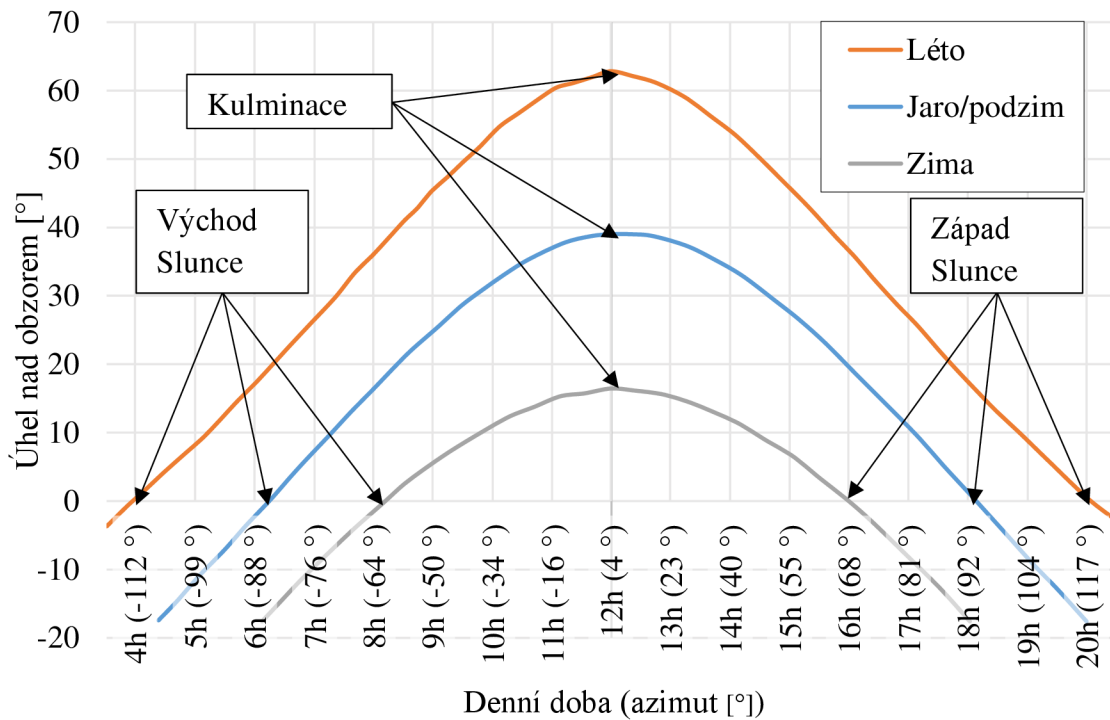
Příkon, který dokáže PV panel v daný moment přeměnit na elektrickou energii, závisí z velké části na vzájemné orientaci plochy panelu a Slunce na obloze. Optimální je, aby záření na panel dopadalo kolmo, to však mimo panelů s aktivním sledováním slunce není po celý den možné. Pro účely výpočtů podobných tomu, co je uveden v této práci, je vhodné seznámit se se způsoby popisu polohy Slunce na obloze v průběhu dne ve vztahu k orientaci panelu.

Slunce

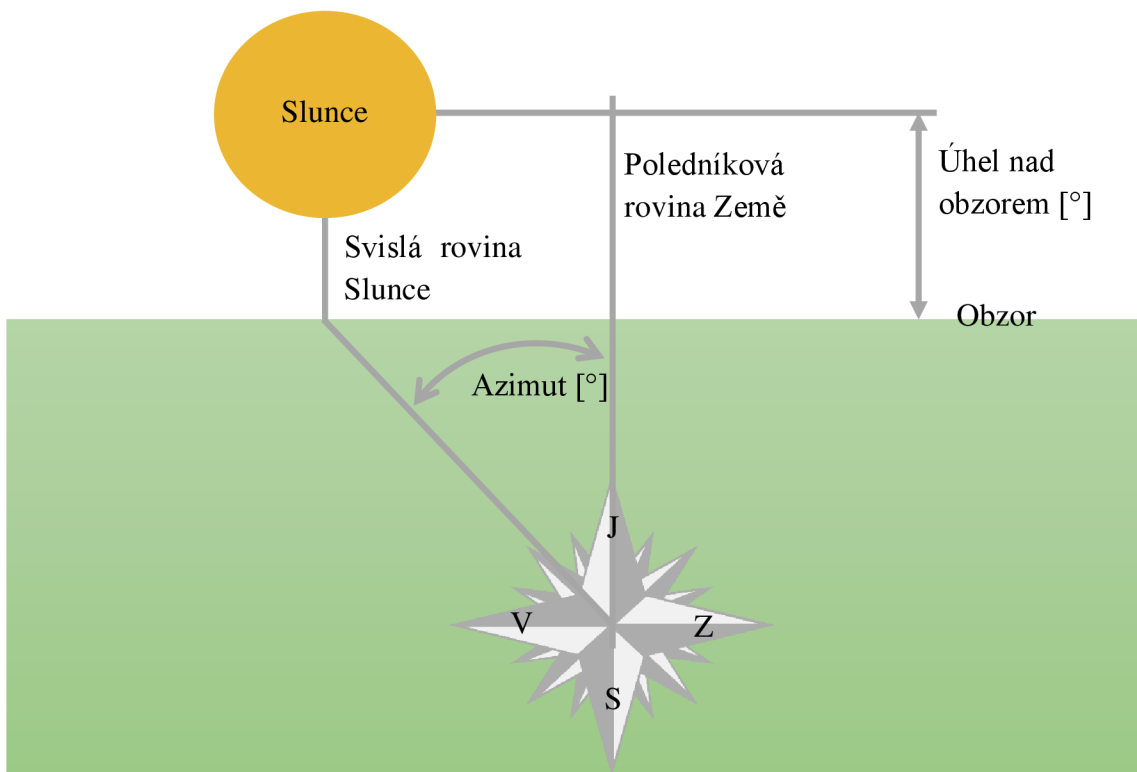
- Azimut (také horizontální úhel) je úhel, který svírá svislá rovina slunce a poledníková rovina (jih). Jih představuje hodnotu azimutu 0° , východ -90° , západ 90° a sever 180° . Situaci ilustrují Obr. 14 a Obr. 15.
- Úhel nad obzorem je úhel mezi horizontem a středem Slunce. Situaci ilustrují Obr. 14 a Obr. 15.
- Kulminace je okamžik, kdy je Slunce v daný den nejvýše nad obzorem. Situaci ilustruje Obr. 14.
- Východ, resp. západ Slunce je okamžik, kdy se horní okraj dotkne obzoru při zvyšování, resp. snižování úhlu nad obzorem. Situaci ilustruje Obr. 14 [15].

Panel

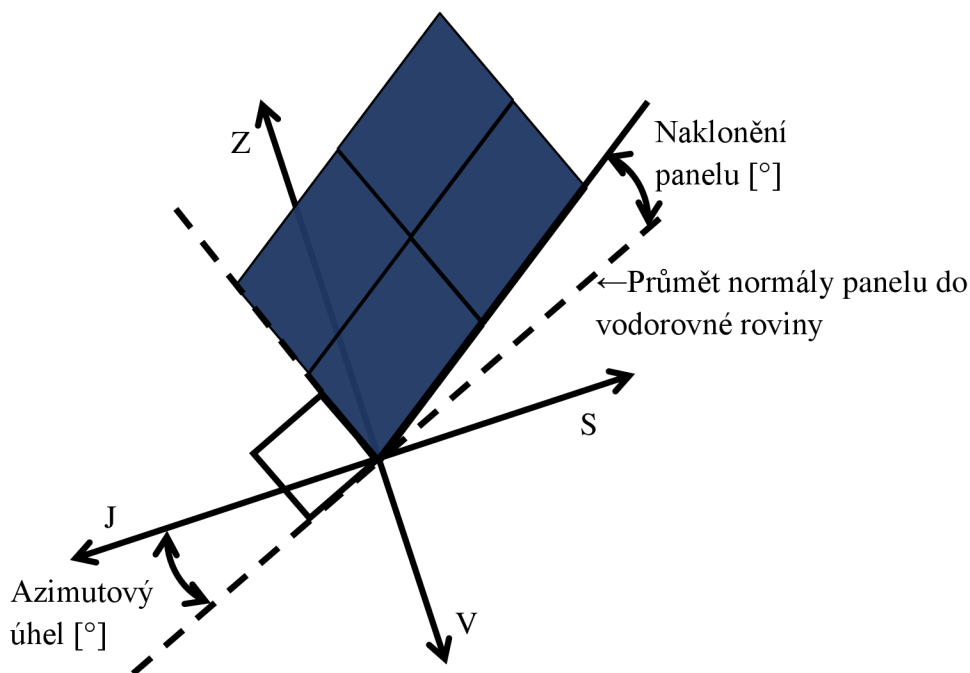
- Azimutový úhel panelu je úhel, který svírá průmět normály panelu do vodorovné roviny s poledníkovou rovinou (jih). Situaci ilustruje Obr. 16.
- Sklon panelu představuje úhel, který mezi sebou svírá rovina panelu a vodorovná plocha, pro vodorovný panel má tak hodnotu 0° , pro svislý panel 90° .



Obr. 14 Pozice Slunce na obloze v průběhu dne v ročních obdobích (převzato a upraveno z [15])



Obr. 15 Ilustrace azimutu a úhlu Slunce nad obzorem



Obr. 16 Vizualizace azimutového úhlu a naklonění panelu

1.3 Elektrické spotřebiče používané v zahradních sklenících

Pro účely ulehčení práce, ušetření času a zlepšení podmínek lze v zahradním skleníku instalovat řadu zařízení a spotřebičů. Typickým příkladem jsou otevírače oken, závlahové systémy a ohřívače. Tyto, většinou elektrické, spotřebiče mohou být dále spojeny s řídicí jednotkou, která je dokáže efektivně využívat s cílem udržování optimálního klimatu v zahradním skleníku.

Takovým komplexním systémem je právě *Chytrý skleník*. Regulované veličiny, které jsou v zahradním skleníku svázané se spotřebou elektřiny, lze zařadit do následujících kategorií: 1) regulace teploty a vzdušné vlhkosti, 2) závlaha rostlin a 3) měření a řízení (spotřebiče, tedy kategorie 1 a 2 jsou souhrnně uvedeny s jejich příkony v Tab. 1; Autor se podílel na realizaci Experimentálního skleníku vybaveného Chytrým skleníkem se společností Sensorie. Popis funkce jednotlivých zařízení tak vychází z autorovy osobní zkušenosti).

1.3.1 Regulace teploty a vzdušné teploty

V rámci pěstební sezóny je ve skleníku vhodné pro zvýšení výnosu a kvality pěstované zeleniny udržovat dobré tepelné a vlhkostní klima. V chladných měsících je snaha předejít zamrznutí půdy ve skleníku, v horkých letních měsících je naopak snaha zabránit přehřívání skleníku. Zároveň může dojít při prudkém ochlazení vzduchu k nechtěné kondenzaci vzdušné vlhkosti, která může u některých rostlin zapříčinit šíření plísní [3].

Elektrický přímotop (ohřívač)

V chladných měsících může být výrazně prodloužena pěstební sezóna, klíčově pokud je zamezeno zamrznutí půdy ve skleníku. Elektrický ohřívač nabízí možnost právě v kritických chvílích zvýšit teplotu ve skleníku, nebo ji i na přání uživatele udržovat na vyšší teplotě pro komfort pobytu.

V ostrovním režimu (bez připojení na vnější elektrickou síť) je ale efektivní využití ohřívače spíše nereálné, problémem je nejen velmi vysoký příkon (v závislosti na uvažovaném modelu 500-2000 W) v porovnání s ostatními spotřebiči. Při přímém napájení z PV panelů umístěných na střeše skleníku by bylo z pohledu účinnosti přeměny slunečního záření na elektřinu lepší nechat teplo přestoupit do skleníku přímo. Pro napájení z bateriového uložení by bylo třeba velmi vysoké kapacity, která by pravděpodobně neúměrně výsledku zvyšovala pořizovací náklady celého systému. Ohřev je ve skleníku potřeba hlavně na začátku a konci sezóny, v letních měsících by tak zařízení nebylo využíváno, dále zhoršující ekonomiku investice.

Otevírače oken

Otevřít okna nebo dveře ve skleníku a „vyvětrat“ je velmi jednoduchý způsob, jak předejít přehřátí skleníku v horkých a slunečných dnech. Běžně okna musí obsluha skleníku otevřít ručně, způsobem automatizace je instalace hydraulického otevírače oken. Výrobce skleníků *Limes* nabízí otevírače [16] pro svoje produkty (viz. Obr. 17 vlevo), které fungují na principu vysunutí pístu tlakem parafinu, který se roztahuje vlivem zvyšující se teploty. Nevýhodou hydraulických otevíračů může být necitlivost na jiné proměnné, jako je pokyn uživatele nebo zvýšená relativní vlhkost vzduchu. Tyto nedostatky řeší motorizované elektrické otevírače oken v kombinaci se senzory teploty a relativní vlhkosti, které v rámci *Chytrého skleníku* nabízí *Sensorie* [3].

Přes vyšší cenu nabízejí plnou kontrolu nad dobou otevření a řídicí algoritmus může vzít v úvahu vliv více faktorů než jenom teploty. S příkonem přibližně 20 W při změně polohy (asi 25 s) není provoz i více těchto otevíračů energeticky náročný. Otevírač pro *Chytrý skleník* ukazuje Obr. 17 vpravo.



Obr. 17 Zleva: automatický hydraulický otevírač z nabídky společnosti LIMES (převzato z [16]); elektrický otevírač okna z nabídky společnosti Sensorie (převzato z [17])

Ventilátor

V některých horkých a slunečných dnech nemusí ani otevření oken a dveří skleníku stačit pro dostatečné snížení teploty. Větší výměnu vzduchu ve skleníku může zajistit ventilátor. Řešení od *Sensorie* nabízí ventilátor s příkonem 30 W.

Rozprašovače vodní mlhy

Pro další snížení teploty může *Chytrý skleník* využít rozprašovačů vodní mlhy. Na několika místech v horní části skleníku lze umístit trysky, které vodu rozpráší v podobě mlhy. Tyto kapičky se následně vypaří a odeberou teplo z okolí, čímž se sníží teplota. Problémem může být nadměrné zvýšení vlhkosti, které by mohlo vést k již diskutovaným neblahým účinkům. Tento problém ale dokáže vyřešit delší větrání i po poklesnutí teploty vně skleníku, které dokáže *Chytrý skleník* s pomocí elektrických otevíračů oken zajistit. Řešení od *Sensorie* nabízí rozprašovač s příkonem 5 W.

1.3.2 Závlaha rostlin

Pro správný růst rostlin ve skleníku je nutné je pravidelně zalívat vodou. Podobně jako u otevírání oken je zalévání u běžných skleníku prováděno ručně obsluhou, v horkých dnech i vícekrát denně.

Kapénková závlaha

Jedním ze způsobů automatizace zalévání je tzv. kapénková závlaha. Jedná se o perforovanou gumovou hadici, která je po půdě zavedena mezi rostliny (ve větším skleníku lze instalovat více okruhů). Voda postupně vytéká z otvorů v trubce a pravidelně dodává ke kořenům rostlin závlahu. Tento způsob je navíc násobně efektivnější a využívá tak pouze minimum vody – spotřeba je asi 500 ml/min pro každý okruh, při provozu má příkon 5 W [3].

Čerpadlo

Pro činnost ostatních systémů je vhodné mít ve skleníku ponorné čerpadlo pro přepravu vody na místo potřeby nebo pro přímé zalévání hadicí. Příkon čerpadla se pohybuje kolem 500 W, tedy poměrně hodně, na druhou stranu není užíváno velmi často.

Cirkulační čerpadlo pro hydroponické kanály, dávkovač živin a vzduchování

Hydroponie je velmi moderní a ke spotřebě vody šetrný způsob pěstování rostlin, kdy jsou kořeny rostlin umístěny ve speciálních košičkách uvnitř hydroponického kanálu, bez přítomnosti zeminy. Kanálem proudí provzdušněná voda obohacená o živiny, které by rostlina běžně získala ze zeminy, voda se tak ztrácí ze systému hlavně odparem z kanálů. Obr. 18 ukazuje instalované hydroponické kanály v *Experimentálním skleníku*. K zajištění proudění vody v kanálech je třeba vodu čerpat cirkulačním čerpadlem (podle výkonu příkon až 15 W), dávkování živin má příkon 5 W a provzdušňovací kompresor má příkon do 5 W v závislosti na jeho velikosti [3].



Obr. 18 Hydroponické kanály (převzato z nabídky společnosti Sensorie [17])

1.3.3 Měření a řízení

Měření vnitřní a vnější teploty, vlhkosti vzduchu a půdy a monitorování celého systému je velmi důležité pro jeho správnou funkci a regulační schopnosti. Spotřeba energie těchto měřících přístrojů je již zahrnuta do vlastní spotřeby řídicí jednotky.

Vlastní spotřeba řídicí jednotky

Dle aktivních periférií a jejich možností je vlastní spotřeba jednotky do 5 W.

1.4 Experimentálně získaná data spotřeby elektrické energie

Pro účely této práce byla společností *Sensorie* [3] laskavě poskytnuta provozní data spotřebičů z *Experimentálního skleníku*. Jedná se o měřené teploty uvnitř a vně, relativní vlhkost uvnitř a vně a klíčově provozní doba/úroveň provozu jednotlivých spotřebičů diskutovaných v kapitolách 1.3.1 a 1.3.2. Se znalostí jejich příkonů, které jsou souhrnně uvedeny v Tab. 1, tak lze v měřených intervalech určit spotřebu elektrické energie v čase.

Tab. 1 Souhrn příkonů spotřebičů v Experimentálním skleníku

Název	Příkon	Název	Příkon
Cirkulace hydroponie	Dle výkonu až 15 W	Vyhřívání	500 W
Dávkovač hydroponických živin	5 W	Vodní mlha	5 W
Ventilátor	30 W	Zavlažování	5 W
Čerpadlo	550 W	Otevírač okna	20 W (při změně polohy)

Formát dat

Data z experimentálního skleníku jsou rozdělena pro každý ze spotřebičů zvlášť. Pro vzájemnou podobnost je forma dat ilustrována na zavlažovacím okruhu. Z důvodu ochrany obchodního tajemství je bližší podstata dat diskutována na obecné rovině, pro účel této práce naprosto dostačující.

Data jsou vedena ve formátu *.csv* – „*comma separated value*“ – běžně používaný formát pro práci s velkým množstvím dat, se kterým lze pracovat v řadě programů na zpracování dat (Excel, Python, ...).

Obecný formát:

id,name,value,date

Konkrétní formát pro okruh závlahy (označení *V_IRR1*):

97642,V_IRR1,3,2023-06-29 12:01:22.588719

- id je pořadové identifikační číslo měření, v příkladu 97642
- name je název měřené veličiny, na příkladu *V_IRR1*
- value je hodnota sledované veličiny, na příkladu 3
- date je přesná časová známka ve formátu rok-měsíc-den hodina:minuta:vteřina, na příkladu 2023-06-29 12:01:22.588719

Měření poskytnuté pro výpočet probíhalo od 29.3 do 18. 9. 2023 v asi 90sekundových intervalech, celkově se tak jedná o více jak 160 000 záznamů za 173 dní.

1.5 Přístup k návrhu PV systému

V zásadě lze systémy, které využívají elektrickou energii z PV panelů, rozdělit do dvou kategorií, *připojené k síti (on-grid)* a *ostrovní (off-grid)*. Volba většinou závisí právě na dostupnosti připojení k elektrické síti.

1.5.1 Řešení připojením k síti (on-grid)

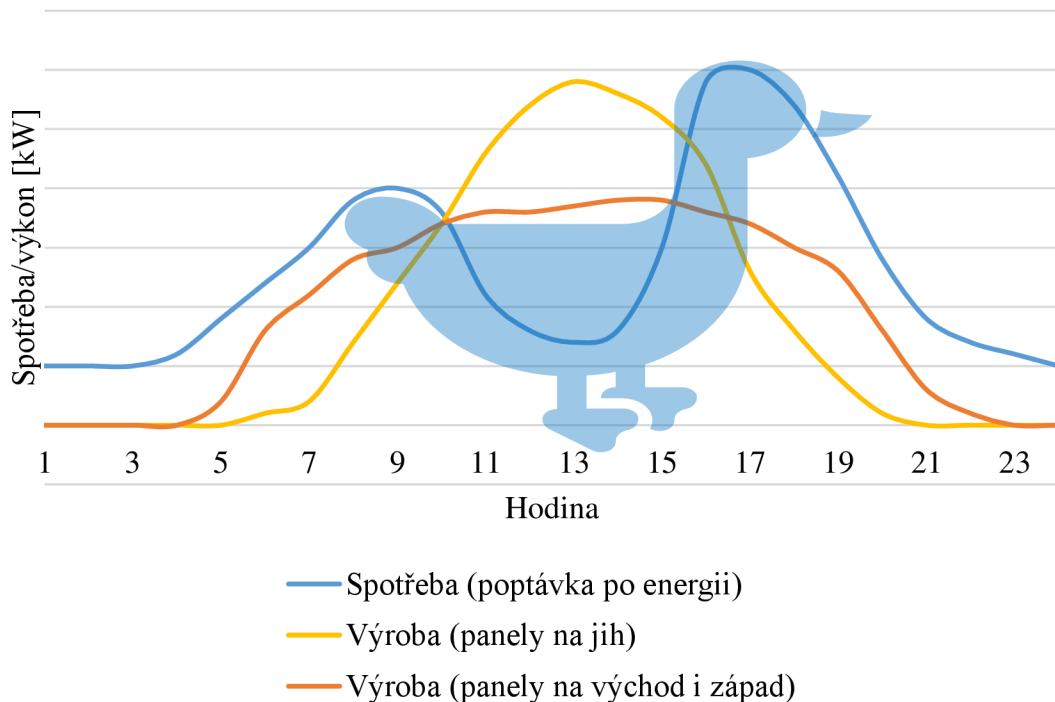
Na zjednodušeném příkladu rodinného domu s PV elektrárnou v městské zástavbě lze ilustrovat podstatu fungování v režimu připojení k síti. Spotřebiče v domě využívají vyrobenou elektřinu z PV panelů a v případě nedostatečné výroby lze čerpat elektrickou energii ze sítě. U takového systému lze ještě uvažovat nad možností akumulace.

Systém bez akumulace

V této konfiguraci lze využít pouze v energii, kterou právě panely vyrábí. Výhodou je menší investice do systému, protože bateriové uložení je velmi podstatnou, často

největší finanční položkou. Pokud je dostatečný výkon slunečního záření, lze tak přímo napájet domácí spotřebiče.

Jak ilustruje Obr. 19, u rodinných domů ale existuje problém s nepříliš velkým překrytím křivky spotřeby (tzv. „Duck Curve“, svým tvarem připomíná kachnu) a výroby energie, především u jižně orientovaných panelů. Částečným zlepšením může být orientace panelů na východ i západ, dojde tak k rovnoměrnější produkci elektrické energie, lépe pokrývající křivku spotřeby [18].



Obr. 19 „Duck curve“ – graf typické denní poptávky po elektřině v porovnání s výrobou různě orientovaných PV panelů

Systém s akumulací

Pokud je do systému přidána možnost akumulace energie, lze energii, která by byla jinak nevyužita, použít v době, kdy je po ní poptávka. Pokud je cílem pokrýt velkou část spotřeby, investice do bateriového uložení může být poměrně významná. Zajímavou alternativou je ukládání energie do vody v podobě tepla, kterou lze využít jako teplou užitkovou vodu – TUV.

1.5.2 Ostrovní řešení (off-grid)

V místech, jako jsou odlehlé zahrádkářské kolonie nebo rozlehlé zahrady, nemusí být možné, nebo praktické, zavedení elektrické sítě až k zahradnímu skleníku. V takovém případě je pro bezporuchový provoz *Chytrého skleníku* nutné vyřešit akumulaci elektrické energie.

1.6 Možnosti akumulace energie

Obecným požadavkem na systém akumulace je to, aby mohla být nadbytečná vyrobená elektřina uložena a v pozdějším čase, kdy ji bude potřeba, mohla být opět využita. Na to jsou vhodné elektrochemické zdroje – umožňují *přímou* přeměnu chemické energie v energii elektrickou. Základním prvkem elektrochemického zdroje je galvanický článek, jež je tvořen kladnou a zápornou elektrodou [19].

Primární článek, baterie a sekundární článek (akumulátor)

Označením *primární článek* (lidově baterie) byl původně označen článek, který má jen omezené množství aktivních materiálů a je tak vyroben na 1 použití – produkty reakce nelze přivedením externího elektrického proudu přeměnit zpět na aktivní [19].

Označení *sekundární článek* neboli *akumulátor* je správně používáno pro takové články, ve kterých lze přivedením vnějšího proudu přeměnit produkty zpět na aktivní materiály. Právě tuto technologii většinou v dnešní době označuje termín *baterie*, i když původně označoval *primární články*. V následujícím textu je termín *baterie* používán právě pro *akumulátory* [19].

1.6.1 Srovnání dostupných bateriových technologií

Pro výběr vhodné technologie bateriového systému pro zahradní skleníky lze porovnat různá kritéria technologií: cenu, životnost, vhodný režim provozu a měrnou energii (Wh/kg nebo Wh/m³). Smyslem následujícího výčtu technologií není uvést všechny možnosti a jejich přesné vlastnosti, ale představit v dnešní době ty nejpoužívanější – olověné, alkalické a lithiové baterie (v Tab. 2 jsou souhrnně tyto parametry uvedeny).

Olověné baterie

Existují dva hlavní typy olověných baterií: zalité a ventilově regulované. Zalité baterie vyžadují pravidelné doplňování destilované vody kvůli ztrátám vodíku, zatímco ventilově regulované baterie tento problém nemají, jsou ale dražší a mají kratší životnost. Olověné baterie mohou velmi rychle dodávat plný výkon, což je ideální pro použití tam, kde je rychle třeba dodat velký výkon (např. v dukovanské jaderné elektrárně se používají jako záložní zdroj na vykrytí času, než jsou nastartovány diesel generátory (autor se zúčastnil letní stáže v JE Dukovany)). Jejich cena je nejnižší mezi dobíjecími bateriemi, ale mají krátkou životnost, jsou velké, těžké a citlivé na změnu teploty. Poměrně trpí na samovybíjení (3-20 % měsíčně) a nejsou ideální pro hluboké vybíjení, i když typy používané pro PV systémy jsou k tomuto účelu více optimalizovány [19; 20].

Alkalické akumulátory

Alkalické dobíjecí baterie zahrnují několik typů, jako jsou nikl-železné (NiFe) a nikl-kadmiové (NiCd) baterie. NiFe baterie mají dvojnásobnou specifickou (měrnou) energii oproti olověným bateriím a dobrou životnost, ale horší výkon při nízkých

teplotách a vysokou míru samovybití. NiCd baterie jsou spolehlivé, mají stálé napětí při vybíjení, jsou ale drahé, trpí paměťovým efektem (postupné snižování kapacity, pokud občas nedojde k úplnému nabití a vybití) a problémem je i ekologická likvidace kadmia.

Nikl-metal-hydridové (NiMH) baterie nabízejí vyšší výkon a menší paměťový efekt než NiCd baterie, ale vyžadují časté vybíjení, aby se předešlo paměťovému efektu. Alkalické baterie jsou citlivé na teplotu a jejich napětí je stabilnější než u olověných baterií [19; 20].

Lithiové baterie

Lithiové baterie jsou atraktivní nejen díky nízké hmotnosti a vysoké měrné energii, mají také vysoké napětí (až 4 V), nízkou samovybíjecí rychlost a žádný paměťový efekt. Jejich nevýhodou je vyšší cena a citlivost na přebíjení a přehřátí. Lithiové baterie jsou běžné v malých spotřebních zařízeních a dnes i v automobilovém průmyslu. Výzkum se zaměřuje na náhradu drahých kovů (kobalt, nikl), problematičtější je také získávání lithia a jeho následná recyklace [19; 20].

Tab. 2 Srovnání dostupných bateriových technologií [19; 20; 5]

Technologie	Cena	Životnost	Režim provozu	Měrná energie
Olověné baterie	Příznivá	Malá	Vhodnější pro režim trvalého dobíjení	Malá
Alkalické akumulátory	Střední	Dobrá	Vhodné pro plné cykly	Střední (dvojnásobná od olověných)
Lithiové baterie	Vysoká	Vysoká	Vhodné pro plné cykly i trvalé dobíjení	Vysoká

1.7 PV systém v zahradním skleníku: zařízení a jejich umístění

Pro správnou funkci fotovoltaického systému je třeba věnovat pozornost a dobře navrhnout potřebné komponenty a jejich umístění v rámci skleníku a jeho okolí.

1.7.1 Fotovoltaický panel

Specifika výběru fotovoltaického panelu byla blíže diskutována v kapitole 1.1.1, v této kapitole je věnována pozornost umístění fotovoltaického panelu. Obr. 2 ilustruje různá provedení představená v následujícím textu.

Panel umístěný na střeše okolní stavby

Tuto konfiguraci lze ilustrovat na příkladu skleníku u chaty v zahrádkářské kolonii, do které není zavedená veřejná elektrická síť. Panel(y) lze umístit na střechu chaty a elektřina je do skleníku vedena vhodnými kabely. Výhodou je jistě možnost využití elektrické energie pro i účely chaty a pohodlné umístění dalších zařízení solárního systému (baterie atd.) do zázemí chaty.

Panel umístěný na střeše skleníku

Pro případ, kdy není skleník v blízkosti okolních budov a vedení kabelů by tak bylo obtížné nebo nepraktické, lze umístit panel(y) přímo na střechu skleníku. Problematickým místem tohoto provedení může být částečné stínění slunečního záření a tím zhoršený růst rostlin – tento aspekt by bylo jistě vhodné před potenciálním komerčním nasazením blíže prozkoumat a důsledky vyhodnotit. Z technického pohledu je ale plocha, kterou panel zakrývá v porovnání s celkovou plochou, velmi malá. Zastíněné místo se bude také v průběhu dne měnit, a tak by nemělo být ovlivněno po celý den. V nejteplejších letních dnech také někteří majitelé skleníků dokonce úmyslně část skleníku zakrývají nebo snižují prostupnost stěn tak, aby zabránili přehřívání skleníku.

Z estetického a marketingového hlediska může být tato varianta pro část potenciálních zákazníků nelákavá, pro jiné ale naopak s rostoucí popularitou obnovitelných zdrojů zajímavá. Výrobce skleníků se může také odlišit od konkurence tak, že bude nabízet skleníky, jejichž volitelnou částí konstrukce je právě PV panel.

Panel umístěný na externí konstrukci

V případě, kdy by nebyla vyhovující ani jedna z předchozích možností, lze uvažovat o zřízení externí konstrukce pro umístění panelu. Výhodou tohoto řešení je prakticky neomezená možnost natočení panelu a zamezení stínění rostlinám ve skleníku. Zároveň není řešení limitované velikostí a nosností existujících střešních konstrukcí. Naopak nevýhodou jsou investiční náklady spojené s výrobou a instalací takové konstrukce, stejně jako nároky na prostor v okolí skleníku a otázka vzhledu této konstrukce v kontextu zahrady.

1.7.2 Baterie

Jednou z priorit by u bateriového systému mělo být zajištění příznivých podmínek pro provoz a skladování – zdroj [19] uvádí pro uskladnění suchých akumulátorů v běžných podmínkách následující základní zásady:

- skladování v uzavřených prostorách bez prachu a s co nejnižší relativní vlhkostí ovzduší (nemá přesáhnout 80 %)
- teplota v rozmezí +5 až +30 °C (někteří výrobci připouštějí -25 až +45 °C), denní výkyvy teploty do 10 °C jsou přijatelné.

Baterie umístěné v prostorách okolní budovy

Umístění baterií do zázemí okolní budovy může být výhodné v případě, že jsou v rámci této budovy realizovány i PV panely a řídicí jednotka solárního systému. Mělo by tím také být zajištěno dobré skladovací prostředí s nízkou relativní vlhkostí a stálými teplotami.

Baterie umístěné ve skleníku

Umístění baterií do skleníku je výhodné zejména, když je na skleníku umístěný i PV panel. Nevýhodou může být vysoká relativní vlhkost ve skleníku, pravděpodobné kolísání teplot a prostorové nároky. Tyto problémy by u komplexního ostrovního řešení musely být řešeny, např. uzavřením celého systému do boxu/krytu.

1.7.3 Měnič proudu a řídicí jednotka

Pro dodání střídavého proudu (AC) z PV systému a baterií, který běží na proudu stejnosměrném (DC), je potřeba mít v systému střídač napětí (DC → AC). Otázkou u ostrovního systému je nutnost střídače napětí, většinu elektrických spotřebičů lze pořídit i v provedení na stejnosměrný proud. V rámci *Chytrého skleníku* je instalován usměrňovač napětí (AC → DC), kterým je měněno napětí ze sítě pro stejnosměrné spotřebiče.

K provozu, měření vyrobené a spotřebované elektřiny a řízení je potřeba mít v PV systému „mozek“ – řídicí jednotku. Ta bývá u PV systémů často integrována právě s měničem napětí. *Chytrý skleník* má řídicí jednotku, která je pro integraci PV systému částečně připravena, takže by se příslušnými úpravami mohl o provoz PV systému starat.

2 Dešťová voda pro zahradní skleníky

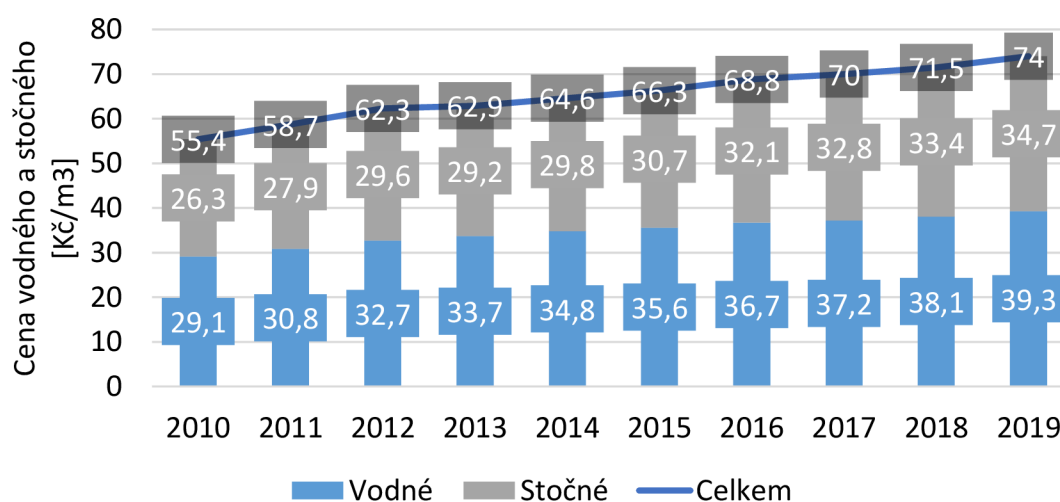
Druhá kapitola je věnována využití dešťové vody pro závlahu zahradního skleníku. Diskutována je vhodnost a možná úskalí využití dešťové vody, metody sběru, akumulace i distribuce k rostlinám.

Struktura této části je částečně paralelou k první kapitole – v obou případech je diskutován přírodní zdroj (slunce a dešťová voda), který lze při vhodném přístupu s výhodou využívat pro potřeby zahradního skleníku. Pro částečnou podobnost k předchozí kapitole budou detailněji popisovány části, které nejsou společné (proto je také tato kapitola textově kratší než předchozí).

2.1 Dešťová voda

Vedle dobrého zdroje pro zajištění vody v ostrovním systému uvádí zdroj [21] několik důvodů pro využívání dešťové vody. Tyto myšlenky doplněné o kontext zahradního skleníku jsou shrnuty v následujícím seznamu:

- Zásoby pitné vody jako takové jsou omezené a voda tak zdražuje – získávání a příprava podzemní nebo povrchové vody se se změnou klimatu stává stále složitější, hlavně v obdobích sucha. Voda může být také významně zanesena (a tím pro konzumaci znehodnocena) pesticidy a dusičnany v zemědělsky intenzivně využívaných oblastech. Jak na Obr. 20 ukazuje vývoj cen vodného a stočného [22], pitná voda nemusí být do budoucna levně dostupná. Na místě je tak pro účely nevyžadující takovou kvalitu nahradit spotřebu vodou dešťovou, čímž je zároveň tvořena i finanční úspora.



Obr. 20 Průměrná vodné a stočné v ČR za období 2010-2019 v Kč/m³ bez DPH (data převzata z [22])

- b) Z globálního pohledu je lokální využití dešťové vody energeticky méně náročné – pohledem komunitní vodovodní sítě, která pro svůj provoz kvůli rozlehlosti a tlakovým ztrátám často využívá energeticky náročných čerpadel, je výhodnější čerpat lokálně získanou dešťovou vodu v rámci domu a zahrady. I když je takto dopravovaná voda většinou pod nižším tlakem a tím i s menší spotřebou, jedná se o zařízení, které má svoje investiční a provozní náklady pro lokálního provozovatele.
- c) Dešťová voda je měkká a není tak pro praní třeba užívat vyšší množství změkčovadel – v dešťové vodě není obsažen vápník a je tak možné použít méně změkčovacích prostředků než při praní v relativně tvrdší pitné vodě. To s sebou přináší i benefit menšího zatěžování toků fosfáty a podobnými látkami.
- d) Zachycení vody snižuje potřebu retenčních nádrží, ochran před záplavami a předchází vzniku velkého množství odpadních vod při větších srážkách – zachytáváním většího množství dešťové vody lze předcházet nejen bleskovým povodním. Při velkém množství deště je tak objem vody, které musí protipovodňová infrastruktura (retenční nádrže) zadržet, podstatně menší. Tím klesá nutnost jejich výstavby a šetří tak veřejné prostředky.
- e) Zalévání nevápenatou dešťovou vodou je výhodné – dešťovou vodu přijímají rostliny dobře a zvláště výhodné je zalévání květin v květináčích, na kterých nezanechává vápenatý povlak běžný u zalévání tvrdou vodou.

2.1.1 Způsoby popisu kvality vody












K popisu kvality nejenom dešťové vody lze užít celou řadu kritérií, kterými je hlavně tvrdost vody a kyselost, resp. zásaditost. Dalšími důležitými parametry jsou obsahy chloru, sloučenin dusíku, amonných iontů, chloridů, železa, TOC (organického uhlíku), stejně jako konduktivita (vodivost) a množství koliformních bakterií a E. Coli [23]. Klíčové ukazatele jsou v následujícím textu blíže představeny.

Jak ukazuje Obr. 21, v lokalitě Brno Černá Pole (ulice Merhautova) uvádí *Brněnské vodárny a kanalizace, a.s.* [23] aktuální a limitní hodnoty těchto parametrů.

Tvrdost vody je ukazatelem obsahu solí (sloučeniny vápníku a hořčíku) ve vodě, jejichž koncentrace se uvádí v jednotkách milimolu na litr (mmol/l). Jak ukazuje Tab. 3, pro účely kategorizace tvrdosti v kontextu pracích prostředků lze vodu rozdělit do 4 pásem – od měkké až po velmi tvrdou. Dešťová voda je měkká voda [21].

V lokalitě Brno Černá Pole (ulice Merhautova) je tvrdost pitné vody 3,04 mmol/l (k dubnu 2024) [23]. Podle Tab. 3 tak voda spadá do pásma 3 – *tvrdá*.

Brno, Černá Pole, Merhautova

UKAZATEL	HODNOTA	LIMIT
 Tvrdost [mmol/l]	3,04	2-3,5
 pH	7,45	6,5-9,5
 Volný chlor [mg/l]	0,05	0,3
 Dusičnany [mg/l]	35,07	50
 Dusitany [mg/l]	<0,01	0,5
 Amonné ionty [mg/l]	<0,03	0,5
 Chloridy [mg/l]	19,88	100
 Železo [mg/l]	0,04	0,2
 TOC [mg/l]	1,66	5
 Koliformní b. [KTJ/100ml]	0	0
 E. coli [KTJ/100ml]	0	0

Obr. 21 Parametry určující kvalitu vody v lokalitě Brno, Černá Pole, Merhautova, (převzato z [23])

Tab. 3 Čtyři pásma charakterizující tvrdost vody na základě jejího obsahu solí (převzato z [21])

Pásma tvrdosti	Označení tvrdosti	Obsah solí [mmol/l]
1	měkká	0 – 1,3
2	středně tvrdá	1,3 – 2,5
3	tvrdá	2,5 – 3,8
4	velmi tvrdá	nad 3,8

Kyselost/zásaditost vody, jejímž ukazatelem je pH hodnota, závisí vedle obsahu rozpuštěných solí i na rozpuštěném oxidu uhličitém. *Brněnské vodárny a kanalizace, a.s.* uvádí jako obecně přijatelnou hodnotu pro pitnou vodu pH 6,5 – 9,5 (lehce kyselá, spíše zásaditá). Čistá dešťová voda má hodnotu pH kolem 5,6, váže na sebe totiž vzdušné CO₂. Hodnotu PH mohou ale silně ovlivnit znečišťující látky jako jsou sloučeniny dusíku a síry, které se dostávají do ovzduší při spalování fosilních paliv. Vodní kapky pak tyto sloučeniny pohltí a hodnota pH této vody může klesnout pod 4,0 – kyselý déšť [21]. Hodnota pH dešťové vody může být ovlivněna i kontaktem s betonem – dle [21] bylo pozorováno že hodnota PH vzroste na hodnoty 7 (neutrální), nebo mírně více (alkalické).

V lokalitě Brno Černá Pole (ulice Merhautova) je pH pitné vody 7,45 – mírně zásadité (k dubnu 2024) [23].

Dusičnany a dusitany a jejich zvýšená koncentrace ukazuje primárně na znečištění anorganickými dusíkatými hnojivy (z hnojení polí apod.). U dusičnanů je pro pitnou vodu limit 50 mg/l, u dusitanů pak 0,5 mg/l [23].

Vysoké množství těchto látek může způsobit nežádoucí obohacování vod o živiny – eutrofizaci. Důsledkem eutrofizace je v počáteční fázi přemnožení planktonu a sinic, které způsobí nedostatek kyslíku ve vodě a tím v další fázi vymírání ryb a organismu žijících zejména u dna vodního ekosystému [24].

Koliformní bakterie a Escherichia coli (E. coli) jsou v pitné vodě silně nežádoucí, proto je jejich limit v obou případech 0 KTJ/100ml (KTJ – kolonie tvořících jednotek). Tyto bakterie většinou představují znečištění fekálního původu, kdy se může jednat o průsak ze žumpy, kanalizace apod. [23].

2.1.2 Nebezpečí spojená s používáním dešťové vody a její kvalitou

Mezi hlavní nebezpečí při užívání dešťové vody je kontaminace vodovodního řádu. Proto je nutné pečlivé oddělení systému dešťové a pitné vody. Potrubí rozvádějící dešťovou vodu tak nesmí být přímo napojeno na potrubí s pitnou vodou. Pro doplnění zásoby dešťové vody může být použit například volný výtok umístěn bezpečně nad maximální hladinou nádrže.

Se sběrem dešťové vody ze střešních konstrukcí přichází i nevyhnutelná kontaminace vody částicemi jako je prach, ptačí trus, plody stromů a listů. Někdy může být zdrojem škodlivých látek i samotná střešní krytina (eternitové tašky, dehtová lepenka, ...). Proto může být v některých případech kvalita vody nedostačující, na druhou stranu je dle rozborů koncentrace těchto nežádoucích látek nízká a na většinu použití mimo konzumaci je dešťová voda vhodná.

V případě zahradního skleníku je sběrná plocha často právě střecha skleníku, dominantně skleněná nebo polykarbonátová. Tyto materiály by měly být vyrobeny tak, aby byly časově stálé a neznečišťovaly dešťovou vodu.

Problémem může být také růst bakterií v nádržích, který je urychlen zvýšenou teplotou a přímým slunečním zářením, vhodné je proto neskladovat dešťovou vodu dlouhodobě a mít nádobu vždy zakrytou [21].

2.2 Měření množství dešťových srážek

Množství srážek spadlých na území se běžně měří v milimetrech za daný časový úsek – za 1 hodinu, 24 hodin, měsíc, rok, atd. 1 mm srážek, který spadne na plochu 1 m², představuje 1 litr. Dle ČHMÚ [14] spadne na území ČR ročně přibližně 680 mm srážek – 680 l na každý m².

2.2.1 Způsoby měření – srážkoměr

Pro měření množství srážek se v meteorologii používá tzv. srážkoměr. Na rozdíl od měření globálního záření není velký problém zřízení jednoduché domácí stanice na měření dešťových srážek. V odřádkách jsou uvedeny 3 příklady měření, od jednoduchého zahradního nádobového srážkoměru, přes domácí meteorologickou stanici až k robustním srážkoměrným sestavám.

- **Zahradní nádobový srážkoměr** – pro většinu účelů zahrádkářům postačí pro sledování a měření množství srážek jednoduchý zahradní srážkoměr. Na Obr. 22 (vlevo) je ukázán příklad běžně dostupného provedení, jehož hlavní předností je nízká cena (cena 85 Kč s DPH (k 2024) [25]). Nevýhodou je nutnost manuálního odečtu množství i zaznamenání časového intervalu od posledního vyprázdnění. Právě nutnost vylévat vodu s sebou nese riziko v chladných měsících roku, kdy může dojít k zamrznutí vody ve srážkoměru a k jeho zničení [25].
- **Domácí meteorologická stanice** – nejen pro vášnivé zahrádkáře existuje možnost pořízení domácí měřicí stanice. Na Obr. 22 (uprostřed) je ukázáno typické provedení, jehož funkce mohou zahrnovat automatický sběr dat o vnější a vnitřní teplotě, rychlosti a směru větru, relativní vlhkosti, barometrického tlaku a množství srážek. Sledování množství dešťové vody často funguje na tzv. člunkovém principu, kde je voda sbírána do mističky a při dosažení určitého naplnění se překlápí. Toto překlápění je zaznamenáno a množství vody dle velikosti mističky přičteno (v konkrétním provedení je rozlišení 0,4 mm). Tato data pak může uživatel sledovat na přenosném displeji, v dnešní době i v rámci mobilní aplikace. Konkrétní provedení z Obr. 22 (uprostřed) je dostupné na internetu za 2989 Kč s DPH (k 2024) [26].
- **Robustní srážkoměrné stanice** – spolehlivé a přesné měření srážek pro účely varování před záplavami nebo pro užití v síti stanic jsou využívány větší, robustnější srážkoměrné stanice, konkrétní zařízení je ukázáno na Obr. 22 (vpravo). Fungují, podobně jako domácí meteorologické stanice, na člunkovém principu – dle provedení poskytují citlivost 0,1-0,2 mm/puls. Tyto stanice mohou být vybaveny vytápěním, které umožní i sledování množství sněhových srážek. Dalším benefitem může být varovné zasílání SMS zpráv specifikovanému okruhu osob v případě nadměrného množství srážek. Konkrétní provedení Fiedler TS-200 (na Obr. 22 (vpravo)) má katalogovou cenu 33 200 Kč za zařízení s příplatkem 4 030 Kč za vytápění (katalog z roku 2016) [27].

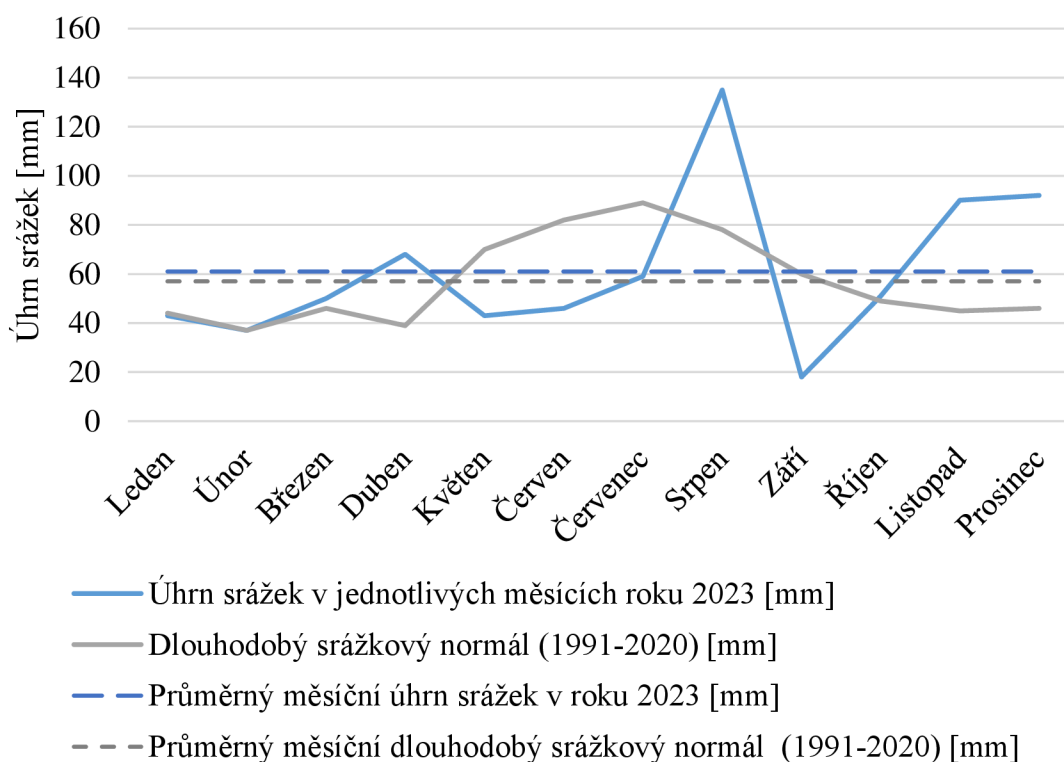


Obr. 22 Vlevo: zahradní nádobový srážkoměr (převzato z [25]); uprostřed: domácí meteorologická stanice GARNI 835 Arcus (převzato z [26]); vpravo: srážkoměrná stanice Fiedler TS-200 (převzato z [27])

2.2.2 Množství dešťových srážek dostupné v průběhu roku v ČR

V průběhu roku se množství dešťových srážek mění – jak ukazuje Obr. 23 – křivka „dlouhodobý srážkový normál (1991–2019)“, v letních měsících lze očekávat obecně více deště než v zimě (červen až srpen jsou nejdeštivějšími (~83 mm/měsíc), nejméně deštivými pak leden až březen (~42 mm/měsíc)). To je obecně pro účely využití této suroviny v kontextu zahradního skleníku příznivé, kdy právě v těchto měsících je nutnost nejen závlahy nejvyšší.

Dlouhodobá průměrná data ale mohou pro účel návrhu zařízení sloužit pouze omezeně – na Obr. 23 je vedle dlouhodobého měsíčního normálu (z let 1991 až 2020) ukázán i měsíční úhrn srážek v ČR pro rok 2023. V tomto srovnání je vidět poměrně velký rozdíl mezi dlouhodobými hodnotami a daty z roku 2023–srpen byl v ČR poměrně deštivý, v září bylo naopak více sucho než obvykle [28]. Pro účely systému využívajícího dešťovou vodu je tedy důležité navrhnout dostatečnou kapacitu nádoby tak, aby dokázala v rozumné míře pokrýt potřebu po vodě v obdobích sucha bez velkého množství externě dodané vody, s ohledem na investiční a prostorové nároky.



Obr. 23 Porovnání dlouhodobého měsíčního srážkového normálu z let 1991 až 2019 a úhrnu územních srážek ČR pro rok 2023 (data získána z ČHMÚ [28])

2.2.3 Vliv změny klimatu na množství dešťové vody

Vliv změny klimatu na přírodní jevy kolem nás, včetně vodního režimu, je v posledních letech stále více diskutován. Z přehledových studií ČHMÚ v sekci „Změna klimatu“ [29] jsou pro ČR patrné následující trendy, které lze ve spojitosti s hospodařením nejen s dešťovou vodou očekávat:

- Dlouhodobé úhrny budou relativně neměnné, modelový výhled srážek do období kolem roku 2030 ukazuje možnost mírného nárůstu ročních úhrnů, které činí asi 4 % proti období 1961–1990.
- Srážky budou prokazovat obecně větší variabilitu, která povede k častějším hydrologickým extrémům. Vodním tokům tak na jedné straně hrozí snížení průtoku (optimisticky o 15 %, pesimisticky až o 40 %), na druhé straně hrozí častější bleskové povodně při jarním tání sněhu nebo letních bouřích.
- Klíčovým nástrojem pro boj s extrémními hydrologickými jevy je a bude zadržování vody v krajině. Je třeba legislativních opatření k dosažení lepšího řízení vodních zdrojů a ochrany proti povodním a suchu – žádoucí je uplatňovat koncepce vsakování, zadržování a využívání dešťové vody, hlavně v městech [29].

2.2.4 Přístup k historickým datům úhrnů srážek – archiv ČHMÚ

Pokud není nebo v minulosti nebyla zřízena v místě zájmu žádná vlastní měřicí stanice, je stále možné data z okolí získat z jiných zdrojů. Dobrým z nich jsou data z webu ČHMÚ [14].

Veřejně dostupná data

ČHMÚ na svých webových stránkách [14] zveřejňuje datové sady úhrnů srážek za uplynulá období, obdobně jako u dat globálního záření diskutovaných v kapitole 1.2.2 (v souladu zákonem 123/1998 Sb. o právu na informace o životním prostředí ČHMÚ).

Jen pro Jihomoravský kraj je dostupných 119 měřicích stanic (což ukazuje na relativní investiční a provozní nenáročnost měření úhrnu srážek oproti měření globálního záření (2 stanice v Jihomoravském kraji, viz Obr. 9)), pro okres Brno-město je jich dostupných 10. Obr. 24 ukazuje prvních 12 datových sad z výběru pro Jihomoravský kraj [14].

Soubory ke stažení			Zpět na seznam krajů
Lokalita	Okres	Období	Soubor ke stažení
Blatnice pod svatým Antonínkem	okres Hodonín	1961-2023	B1BLAT01_SRA_N.csv.zip
Bzenec	okres Hodonín	1961-2023	B1BZEN01_SRA_N.csv.zip
Hodonín	okres Hodonín	1961-2023	B1HODO01_SRA_N.csv.zip
Ivanovice na Hané	okres Vyškov	1961-2023	B1IVAN01_SRA_N.csv.zip
Javorník	okres Hodonín	1961-1961	B1JAVO01_SRA_N.csv.zip
Luleč	okres Vyškov	1961-1961	B1LULE01_SRA_N.csv.zip
Lysovice	okres Vyškov	2015-2023	B1LYSO01_SRA_N.csv.zip
Nová Lhota, ?	okres Hodonín	1976-1980	B1NLHO01_SRA_N.csv.zip
Nová Lhota, Vápenky	okres Uherské Hradiště	1961-1966	B1NLVA01_SRA_N.csv.zip
Nová Lhota, Vápenky	okres Hodonín	1966-1976	B1NLVA01_SRA_N.csv.zip
Podivice	okres Vyškov	1961-2023	B1PODI01_SRA_N.csv.zip
Radějov	okres Hodonín	1961-2023	B1RADE01_SRA_N.csv.zip

Obr. 24 Část datových sad denního úhrnu dešťových srážek pro Jihomoravský kraj (převzato z webu ČHMÚ [14])

Stejně jako u dat globálního záření v kapitole 1.2.2 tato data obsahují hlavičku (data o měřicí stanici s doplňujícími informacemi) a samotné postupně řazené dny a jim náležící hodnotu denního úhrnu srážek v mm. Obr. 25 a Obr. 26 ukazují podobu souboru pro stanici Brno Tuřany [14].

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	#OPEN_EXPORT: 2023.05.05.1207							
2	#Datum vytvoření souboru: 14.02.2024 19:09							
3	#Stažením publikovaných dat souhlasíte s podmínkami užití těchto dat.							
4								
5	METADATA							
6	Stanice ID	Jméno stanice	Začátek měření	Konec měření	Zeměpisná délka	Zeměpisná šířka	Nadmořská výška	
7	B2BTUR01	Brno, Tuřany	01.01.1961	31.12.1996	16.6956	49.1597	241	
8	B2BTUR01	Brno, Tuřany	01.01.1997	31.12.2023	16.688889	49.153056	241	
9								
10	PŘÍSTROJE							
11	Přístroj	Začátek měření	Konec měření	Výška přístroje [m]				
12	Srážkoměr	01.01.1961	31.12.1996	1				
13	Srážkoměr klopný	01.01.1997	01.11.2009	1				
14	Srážkoměr váhový	02.11.2009	31.12.2023	01.1				
15								
16	PRVEK							
17	Denní úhrn srážek [SRA.07:00, mm]							
18								
19	Popis:							
20	Hodnota - hodnota prvku							
21	Příznak - rozšiřující informace o hodnotě							
22								
23	Příznak	Popis						
24	M	Úhrn mimořádně z manuálního srážkoměru						
25	T	Neměřitelné množství						
26								

Obr. 25 „Hlavička“ souboru denních dat úhrnu srážek pro stanici Brno Tuřany, obsahující informace o souboru, stanici, přístroje, měřené hodnoty apod. (soubor převzat z webu ČHMÚ [14])

28	Rok	Měsíc	Den	Hodnota	Příznak
22760	2023		3	28	0 T
22761	2023		3	29	0,4
22762	2023		3	30	6,6
22763	2023		3	31	2,9
22764	2023		4	1	0,4
22765	2023		4	2	0,9
22766	2023		4	3	0
22767	2023		4	4	0
22768	2023		4	5	0
22769	2023		4	6	0

Obr. 26 Typická data denního úhrnu srážek pro stanici Brno Tuřany v časovém rozmezí 28. 3.-6. 4. 2023 (soubor převzat z webu ČHMÚ [14])

Neveřejně dostupná data získaná pro účely této práce – služba ČHMÚ

Jak již bylo diskutováno v kapitole 1.2.2 (části *Neveřejně dostupná data – služba ČHMÚ a Metrologická data získaná pro účely této práce*), brněnská pobočka ČHMÚ laskavě poskytla data k účelům této práce. Částí dat byly i úhrny srážek v desetiminutových intervalech pro období 1.4 až 30. 9. Obr. 27 ukazuje získaná data v blíže nespecifikovaném dni.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
EG_GH_ID	EG_EL_ABBR	YEAR	DAY	TIME	N4	N5	N6	N7	N8	N9
B2BTUR01	SRA10M	2023		11:50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
B2BTUR01	SRA10M	2023		12:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B2BTUR01	SRA10M	2023		12:10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
B2BTUR01	SRA10M	2023		12:20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B2BTUR01	SRA10M	2023		12:30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B2BTUR01	SRA10M	2023		12:40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
B2BTUR01	SRA10M	2023		12:50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
B2BTUR01	SRA10M	2023		13:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0
B2BTUR01	SRA10M	2023		13:10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0
B2BTUR01	SRA10M	2023		13:20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
B2BTUR01	SRA10M	2023		13:30	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
B2BTUR01	SRA10M	2023		13:40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0
B2BTUR01	SRA10M	2023		13:50	0,4	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0
B2BTUR01	SRA10M	2023		14:00	1,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
B2BTUR01	SRA10M	2023		14:10	0,8	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
B2BTUR01	SRA10M	2023		14:20	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
B2BTUR01	SRA10M	2023		14:30	0,0	0,0	0,0	0,9	0,1	0,0
B2BTUR01	SRA10M	2023		14:40	0,0	0,0	0,0	2,0	0,3	0,0
B2BTUR01	SRA10M	2023		14:50	0,0	0,0	0,0	1,6	0,1	0,0
B2BTUR01	SRA10M	2023		15:00	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0
B2BTUR01	SRA10M	2023		15:10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B2BTUR01	SRA10M	2023		15:20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B2BTUR01	SRA10M	2023		15:30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
B2BTUR01	SRA10M	2023		15:40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Obr. 27 Ukázka dat desetiminutových úhrnů srážek v konkrétní den (získáno od brněnské pobočky ČHMÚ [14])

2.3 Provedení sběru dešťové vody u zahradního skleníku

K sběru dešťové vody, na rozdíl od zachycení slunečního záření pro výrobu elektřiny, není třeba zvláštního vybavení. Většina domů je běžně vybavena okapy a svody, které mají za cíl svést ze střechy vodu tak, aby nejlépe netekla po stěnách nebo dokonce nezatékala do konstrukce domu. Velká část domů, hlavně ve městech však většinu této vody jednoduše pustí do kanalizace, protože pro ni není možné využití ve větším množství.

2.3.1 Umístění okapového a svodového systému

U zahradního skleníku je potenciál využití dešťové vody zřejmý. V případě umístění skleníku v blízkosti další zástavby, která již osazena okapy a svody je, se nabízí možnost využití právě této plochy pro sběr a využití dešťové vody.

Pokud se skleník nachází dále od ostatních staveb (uprostřed zahrady, v zahrádkářské kolonii, ...), nemusí být možné nebo praktické dopravovat dešťovou vodu ke skleníku. Řešením mohou být okapy instalované přímo na skleníku, např. společnost *Limes* je nabízí na skleníky klasických i obloukových konstrukcí.

Na Obr. 28 je ukázán příklad skleníku v blízkosti vedlejší budovy, v tomto případě mohou být pro účel sběru vody využity obě střechy (i přes osazení skleníku okapy je voda z jeho střechy nevyužita, střecha vedlejší budovy spojená s dvěma 1000 l akumulacími nádržemi poskytuje dostatek vody s velmi štedrou rezervou).



Obr. 28 – Ukázka okapového systému společnosti Limes s.r.o. v blízkosti okolní zástavby s možností sběru, akumulace („IBC“ nádrž na pravé straně) a využití dešťové vody. Foto z archivu autora.

2.4 Specifika akumulace dešťové vody u zahradního skleníku

Nutnou součástí pro zajištění stálého přísunu dešťové vody pro závlahu je akumulace. V kontextu zahradního skleníku je diskutováno umístění nádrže, běžně dostupné provedení akumulacích nádob, zajištění bezporuchovosti chodu a přístupy k dimenzování nádob.

2.4.1 Umístění akumulací nádrže

Umístění akumulací nádob lze ve vztahu k zahradnímu skleníku rozdělit na vnitřní a vnější, obě řešení mají své klady i zápory.

Vnitřní akumulace

Umístěním nádoby uvnitř skleníku nabízí jisté výhody a zároveň i nevýhody. Provedení závlahy je poměrně snadné a voda ve skleníku může být uchovávána déle bez obav ze zamrznutí a poškození nádoby. Masa vody může také sloužit pro plynulejší

změny teplot jako jistá forma „setrvačnosti“ [1]. Nádoba ve skleníku však zabírá místo, které by mohlo být využito pro pěstování rostlin a její velikost je tak částečně omezena. Vizualizaci možného provedení vnitřní akumulací nádrže ukazují Obr. 1 a Obr. 2.

Vnější akumulace

Nádoba umístěná vně skleníku není teoreticky velikostně omezena a přivedení vody z okapového systému do nádrže nemusí procházet stěnou skleníku (potrubí vedoucí vodu pro závlahu nicméně musí). V chladných měsících je nutné kvůli riziku zničení nádrže zamrznutím vody vyřadit nádrž z provozu dříve než u uvnitř umístěné nádrže. Nádoba také má určité nároky na prostor a do některých zahrad se nemusí esteticky hodit.

Možnou variantou pro řešení problému se zamrznutím a nárokem na prostor je umístit nádrž pod zem, eventuálně i v rámci základů pro samotný skleník. Umístění nádoby do země je vhodné i z důvodu delší trvanlivosti vody díky minimálnímu přístupu slunečního záření a dlouhodobě konstantní teploty. Nevýhodou může být vyšší investiční náročnost, problematická údržba a u lehčích nádob nebezpečí vytlačení spodní vodou [21].

2.4.2 Druhy akumuláčnických nádob

Literatura [21] představuje různé možnosti akumulace vody, mezi nimi je například využití zděných cisteren, starých tanků septiků, tanků na lehký topný olej nebo betonových cisteren. Žádná z těchto možností se ale v kontextu zahradního skleníku nezdá praktickou. Kapacita většiny z těchto řešení je výrazně vyšší, než je třeba a investice do jejich znovupoužití pravděpodobně převyšuje pořízení nové nádoby.

Sudy

Praktickou a na zahradách běžně používanou variantou jsou sudy. Běžná provedení disponují kapacitou od 50 do 200 litrů, jsou levné, odolné a lehké pro manipulaci. Materiálem je většinou plast, lze pořídit také kovové nebo dřevěné. Jak ukazuje Obr. 29, sudy lze běžně koupit válcového tvaru, pro lepší využití místa jsou k dostání i sudy obdélníkových průřezů.



Obr. 29 – Možné provedení plastových sudů, válcové (vlevo) a hranaté (vpravo).

IBC nádrže

Pro větší kapacitu skladování dešťové vody pro využití i mimo účely závlahy skleníku jsou populárním řešením tzv. „IBC“ nádrže. Tyto většinou 1000 litrové kontejnery umožňují kompaktní a standardizované provedení zásobníku. Na Obr. 28 je v pravé části ukázán typický IBC kontejner černé barvy u svodu ze střechy budovy.

2.4.3 Zajištění bezporuchového chodu závlahového systému

Pro bezporuchový a automatický chod systému využívajícího dešťovou vodu je v literatuře [21] doporučena (hrubá) filtrace, přepad ze zásobníku a měření stavu naplnění zásobníku. V následujícím textu budou tyto součásti blíže představeny a diskutováno jejich možné využití v *závlahovém systému* pro zahradní skleníky.

Filtrace

Voda, která odtéká ze střechy, obsahuje nečistoty – prach, části větví, listí, plody stromů nebo i ptačí trus. V závislosti na dalším využití je třeba některé z těchto nečistot odstranit. Na zachycení větších částic je vhodná hrubá filtrace, lze ji realizovat sítím na hrdle svodu (síto je třeba dle zanášení mechanicky čistit). Pro účely závlahy si zahradní čerpadlo s malými částicemi poradí a kvalitu závlahy by zhoršovat neměly (v případě využití vody například pro praní v pračce je nutnější důkladnější filtrace (separace jemných částic které se usazují na dně nebo plovou na hladině)) [21].

Přepad ze zásobníku

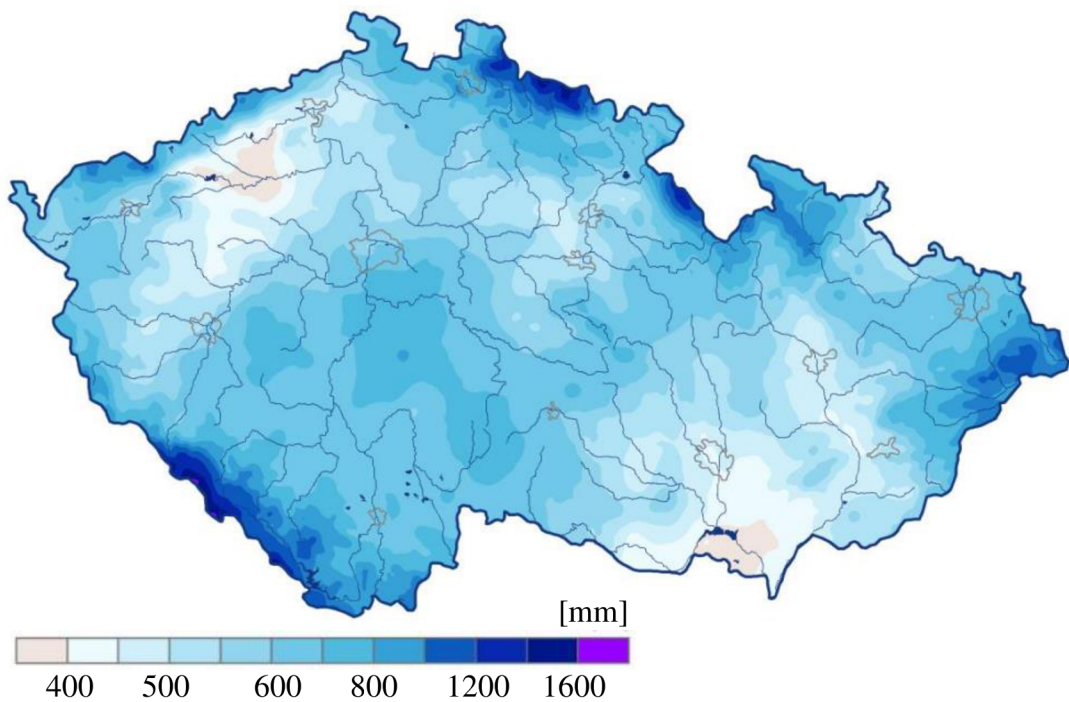
Při velkém množství srážek dojde k rychlému naplnění i větších zásobníků, proto je nutné mít v nádobě přepadovou trubku, která vede do kanalizace nebo do místa s možností průsaku do půdy (u vypouštění do odpadní kanalizace je vhodné potrubí opatřit sifonovým mechanismem, který zabraňuje zpětnému vnikání kanálových plynů do zásobníku. U závlahového systému zahradního skleníku, kde bude odtok pravděpodobně realizován do okolí skleníku, kde se voda bude vsakovat, není sifon nutný [21].

Měření stavu hladiny v akumulární nádrži a doplnění vodou z externího zdroje

V ideálním případě by měl závlahový systém fungovat automaticky a měření hladiny by tak nebylo nezbytně nutné. Otázkou je chování systému ve chvíli, kdy kapacita zásobníku klesne pod hranici sací větve čerpadla. Nejlépe by mělo být zajištěno automatické doplnění vody, např. plovákovým mechanismem, který by při poklesu hladiny pod úroveň otevřel přívod z vodovodního řádu. V případech, kdy není možné zajistit přívod z vodovodního řádu, je možné doplnit vodu manuálně, např. přinesením v konvi. Při umístění dvoustavového spínače do spodní části nádoby by mohl být uživatel např. v mobilní aplikaci k *Chytrému skleníku* upozorněn na nízkou kapacitu vody v sudu. Sofistikovaný řídicí systém by mohl v těchto případech přepnout do „úsporného režimu“ a svou spotřebu upravovat i dle předpovědi počasí [21].

2.4.4 Faktory ovlivňující velikost akumulční nádrže

Základním principem návrhu velikosti akumulční nádrže je v deštivých dnech uskladnit tolik vody, aby byla spotřeba uspokojena i v období sucha. Příliš velký zásobník by nemusel přinášet jenom výhody, nesl by s sebou i zvýšené investiční náklady, prostorové nároky a je nutné přihlédnout i ke kvalitě dlouhodobě skladované vody. Mezi cenou za pořízení, prostorovými nároky a úsporami pitné vody v budoucnu je tak třeba najít rovnováhu. Na optimální velikost zásobníku mají vliv především srážkové poměry v lokalitě skleníku (Obr. 30 ukazuje úhrn srážek v ČR pro rok 2022), provedení a velikost jímací (sběrové) plochy a spotřeba vody [21].



Obr. 30 Úhrn srážek v ČR v roce 2022 (převzato a upraveno z ČHMÚ [14])

Srážkové poměry v ČR

Lokalita, ve které se skleníky mají nacházet, je většinou dána a měnit ji nedává smysl. Proto je důležité mít při návrhu systému přehled o množství srážek, které lze v lokalitě skleníku v průběhu roku očekávat.

Provedení a velikost jímací plochy (střechy)

Tvar, sklon, ale hlavně materiál střešní krytiny ovlivňují rychlost a množství odtékající dešťové vody. Lze to vyjádřit tzv. **koeficientem odtoku** – poměr mezi vodou odtékající do zásobníku a vodou, co na střechu dopadne [21].

Zdroj [21] uvádí pro plochou střechu s ozeleněním koeficient odtoku 0,20 (to je pro účel sběru dešťové vody spíše nevhodné), zatímco šikmá střecha s břidlicí má koeficient odtoku 0,75 (vhodné).

Pro velmi hladkou polykarbonátovou nebo skleněnou střechu skleníku lze vyjít z literatury [30], kde se hodnoty koeficientu odtoku pro sklo a podobné (plastové) materiály pohybují nad 0,90 (pro sběr dešťové vody velmi vhodné).

Spotřeba vody v zahradním skleníku

V zahradním skleníku lze uvažovat několik způsobů spotřeby vody, kterými může mimo jiné být ruční a kapénková závlaha, pěstování v hydroponických kanálech, chlazení rozprašovací tryskou, umyvadlo a také ztráty systému.

Využitím technologií závlahy šetrných ke spotřebě vody, jakými je právě kapénková závlaha nebo hydroponické kanály lze dosáhnou velmi nízké spotřeby vody. Kapénková závlaha v *Chytrém skleníku* spotřebuje pro závlahu plochy asi 12 m² v průměru jen 1 litr vody denně [3].

3 Bilanční nástroj pro dimenzování systémů využití přírodních zdrojů

Cílem této kapitoly je objasnit přístup k dimenzování systémů pro využití přírodních zdrojů u zahradního skleníku a představit jednotlivé výstupy z bilančního nástroje vytvořeného za tímto účelem. Výpočet vychází z:

- dat spotřeby elektrické energie, resp. vody, při konkrétním měření v experimentálním skleníku vybaveným *Chytrým skleníkem*,
- dat globálního záření, resp. úhrnu srážek, poskytnutých pro účely této práce ČHMÚ,
- principů bilančního výpočtu.

V následujících kapitolách budou blíže představeny jednotlivé části výpočtu a práce se získanými daty.

3.1 Vybraná zařízení pro bilanční výpočet PV systému

Cílem této práce je zhodnotit potenciál využití PV systému pro účely zahradního skleníku a svým rozsahem předchází studii proveditelnosti, která by dále provedla zhodnocení technických a ekonomických aspektů řešení. Není proto prvotním cílem získat velmi přesné a optimální řešení, ale z dostupných dat vyhodnotit potenciál a určit směr dalšího vývojového kroku. Z tohoto důvodu bude řešení provedeno a vyhodnoceno na základě následujících zjednodušujících předpokladů:

Diskrétní množina možných řešení

Nalezení optimálního řešení v případě návrhu PV systému závisí na mnoha parametrech, kterými může být cílová skupina zákazníků a s tím spojená výsledná cena řešení, nárok na provozní podmínky v rámci roku, velikost skleníku atd. Vyhodnocení výsledků tak lze provést pro různé kombinace plochy PV panelů a kapacity bateriového systému. Než zvolit jeden kvalitativní nebo kvantitativní parametr, pomocí kterého by se vybral ideální kandidát, může být množina všech kombinací vyhodnocena podle více kritérií a diskutovány její výhody a nevýhody. Z tohoto důvodu musí být počet kombinací počtu PV panelů a kapacity baterií omezen pouze na několik jednotek. I přes toto omezení umožňuje přístup získat přínosný vhled do problematiky výběru. Počet panelů a kapacita baterií uvažované v rámci množiny řešení jsou blíže představeny v kapitolách 3.1.1 a 3.1.2.

Zjednodušení mechanismu přeměny slunečního záření na využitelnou energii

Jak bylo diskutováno v kapitolách 1.1.2 a 1.2.3, určení přesné výsledné účinnosti přeměny slunečního záření na využitelnou elektrickou energii je poměrně komplikovaný problém, který přesahuje rozsah této práce. Poloha Slunce se přes den mění a mění tak

svojí relativní pozici k ploše PV panelu, což dále rámci dne hýbe s výslednou účinností. Navíc tento prvotní návrh neřeší konkrétní orientaci panelu na některou ze světových stran. Pro základní představu o přibližném množství využitelné energie byla na základě zdrojů [31; 32; 33] zvolena celková účinnost přeměny naměřené hodnoty globálního záření na využitelnou elektrickou energii 10 %. Do výpočtu získané elektrické energie tak bude vstupovat pouze plocha panelu a prostá kapacita baterií bez zohlednění konkrétní technologie.

Výpočtový přístup k elektrické energii

V rámci výpočtu je k elektřině přístupováno zjednodušeně ve formě energie (v jednotkách W nebo J) a je zanedbána nutnost udržování minimálního proudu a napětí v systému nebo případné změny napěťových úrovní pro různé spotřebiče.

Vlastní spotřeba řídicího systému a ztráty

V momentálním provedení je vlastní spotřeba řídicí jednotky *Chytrého skleníku* 5 W, ale většinou je při provozu výrazně menší. Výpočtový model uvažuje vlastní spotřebu konstantně 5 W ve snaze pokrýt touto zvýšenou spotřebou možné ztráty (účinnost uložení energie v bateriích apod.), které budou v systému přítomné, složité je ale bude přesně kvantifikovat.

Okrajové podmínky

V prvním intervalu bilančního výpočtu (1. 4. 2023) je uvažována nulová počáteční kapacita baterie.

3.1.1 PV panely

Jako reprezentativní byl z důvodu vhodných rozměrů (šířka zhruba odpovídá šířce segmentů skleníků LIMES) zvolen panel o těchto rozměrech:

délka 1160 mm, šířka 450 mm, hloubka 30 mm, plocha 0,522 m².

Množina řešení se bude skládat z kombinace 1, 2 nebo 3 panelů (0,522; 1,044 a 1,566 m²) v kombinaci s bateriemi a spotřebiči.

3.1.2 Baterie

Obdobně jako u panelu, je i v případě baterie zvolena reprezentativní baterie s těmito parametry:

kapacita 25 Ah (300 Wh, 1 080 kJ) při pracovním napětí 12 V.

Množina řešení se bude skládat z kombinace 1, 2 nebo 3 baterií (25; 50 a 75 Ah) v kombinaci s panely a spotřebiči.

3.1.3 Spotřebiče

V kapitole 1.3 byly diskutovány spotřebiče, které lze v zahradním skleníku uvažovat. Pro ostrovní režim provozu byly vybrány a ve výpočtu uvažovány následující spotřebiče, uvedené v Tab. 4 (detailnější informace jsou uvedeny v kapitole 1.3).

Tab. 4 Uvažované spotřebiče a jejich příkon vstupující do výpočtu

Spotřebič	Příkon
Otevírače oken	20 W (při změně polohy)
Ventilátor	30 W
Rozprašovače vodní mlhy	5 W
Kapénková závlaha	5 W
Čerpadlo	500 W
Vlastní spotřeba a ztráty	5 W (nepřetržitý odběr)

3.2 Vybraná zařízení pro bilanční výpočet závlahového systému

Pro účely bilančního výpočtu byl zvolen následující přístup k návrhu kapacity akumulčních nádrží/sudů na vodu závlahového systému.

Obdobně jako u řešení PV systému i tento návrh závlahového systému pro zahradní skleníky předchází studii proveditelnosti a jeho cílem je tak vyhodnotit potenciál daného řešení a určit směr dalšího vývoje. Proto je řešení vedeno a vyhodnoceno na základě následujících zjednodušujících předpokladů:

Diskrétní množina možných řešení

Vhodná velikost akumulční nádrže (sudu) vedle výsledků bilančního výpočtu závisí na více faktorech, kterými může být dostupný prostor uvnitř nebo vně skleníku, již existující sudy u zákazníka a otázka změny provozního charakteru v rámci roku. Proto je v rámci řešení uvažováno několik odstupňovaných kapacit sudů, blíže diskutovaných v kapitole 3.2.1.

Zjednodušení mechanismu sběru vody

Je uvažován sběr dešťové vody ze střechy skleníku okapovým systémem. Plocha střechy je uvažována jako obsah půdorysu skleníku (v případě *Experimentálního skleníku* se jedná o délku 6 m a šířku 2,6 m, tedy plochu 15,6 m²) a je uvažována konstantní účinnost sběru vody 90 % (viz. kapitola 2.4.4 a zdroj [30])

Ztráty systému

Kvantifikace jednotlivých mechanismů ztrát dešťové vody v systému není uvažována, pro zjednodušení je zavedena konstantní ztráta vody 0,01 litrů za hodinu (přibližně čtvrtina denní spotřeby vody na závlahu).

Řešení přebytků vody a její kvality

V rámci bilančního výpočtu není uvažován vliv nutnosti hrubé filtrace vody, řešení ochrany proti přetečení přebytečné vody, možná ztráta jakosti vody („zkažení“) při dlouhodobém naplnění nádrže apod.

Okrajové podmínky

Na prvním intervalu bilančního výpočtu (1. 4. 2023) uvažováno nulové počáteční naplnění sudu.

3.2.1 Akumulační nádrže – sudy

Pro získání množiny řešení byly zvoleny 4 sudy s objemem 60, 100, 150 a 200 litrů. Materiálové provedení a tvar sudu jsou pro účely bilančního výpočtu nepodstatné.

3.2.2 Spotřeba vody na závlahu

Uvažovaná spotřeba vody pro závlahu je realizována pomocí kapénkové závlahy. Tento způsob je velmi efektivní a využívá velmi malé množství vody. Spotřeba této hadice je přibližně 500 ml/min na okruh, v *Experimentálním skleníku* byly instalovány dva závlahové okruhy, při provozu tedy s celkovou spotřebou 1000 ml/min. Za celý den činila průměrná spotřeba obou okruhů necelých 1000 ml vody, tedy závlaha je denně aktivní v součtu asi 1 minutu.

3.3 Příprava a zpracování vstupních dat

Vstupní data z experimentálního skleníku i z ČHMÚ bylo třeba před použitím v bilančních výpočtech tak, aby byla vzájemně kompatibilní. Hlavním předmětem zpracování byla redukce dat – dostupná data z *Chytrého skleníku* (představena v kapitole 1.4) a data globálního záření, resp. úhrnu srážek z ČHMÚ (představena v kapitole 1.2.2, resp. 2.2.4).

Data z ČHMÚ byla poskytnuta v desetiminutových intervalech, z *Experimentálního skleníku* byla přibližně v devadesátisekundových intervalech. Pro jejich vzájemné spojení je třeba sjednotit naměřená data za stejné časové úseky.

Nejmenším rozlišením je tak 10 minut, což však stále znamená 6 záznamů za hodinu. Pro dobu dostupnosti všech dat, tedy 170 dní, se jedná o 24 480 záznamů. Desetiminutové rozlišení by tak mělo poskytovat nejpřesnější výsledky v rámci jednotlivých hodin, ale za cenu práce s poměrně velkým množstvím záznamů.

Kompromisem mezi jemností dat a výpočetní náročností byla v tomto případě hodinová data, tedy za 170 dní 4080 záznamů (zvládnutelné v Excelu bez větších problémů s plynulostí programu)

3.3.1 Způsob zpracování dat

Kvůli velkému množství vstupních dat byl za účelem redukce dat na hodinová data zvolen jednoduchý script v Pythonu. Základem je čtení dat, v tomto případě modulem *csv.read* a jeho rozdělení na řádky. Nejdůležitějším prvkem je čtení datumu pro každý záznam, což umožní jednoduché přiřazení k hodnoty k příslušné hodině, dni a měsíci. Důležité je rozlišit mezi veličinami, které se mají průměrovat, a které sčítat.

Průměrovaná data – intenzivní veličiny (kvalitativní – např. teplota, tlak, vlhkost, ...) je nutné průměrovat. Konkrétně se jedná např. o teplotu a relativní vlhkost.

Sčítaná data – extenzivní veličiny (kvantitativní – např. hmotnost, objem, ...) je nutné za časový úsek sečíst. Jedná se např. o úhrn srážek a počet změn stavu oken.

Tato data je pak už z Pythonu možné exportovat, vhodným formátem je *.xlsx* pro další zpracování v Excelu – jedním ze způsobů je použít knihovnu *pandas* a funkci *ExcelWriter*.

3.4 Základní pojmy bilančních výpočtů

Při práci s bilančovanými systémy a bilančními algoritmy je užitečné vymezení základních pojmů vyskytujících se v této problematice (následující principy a názvosloví jsou čerpány z [34; 35; 36]).

- Bilanční systém – obecné označení několika obvykle navzájem propojených uzlů, které je cílem blíže popsat a dozvědět se o nich více informací.
- Hranice bilančního systému – je vhodné stanovit je tak, aby byl systém co nejjednodušší a zároveň obsahoval všechny části, které umožní získat žádané informace. Na příkladu využití dešťové vody může být jednou hranicí střecha skleníku s okapovým systémem, kde stačí znát množství dopadajících srážek (např. zahrnutí modelu mechanismu tvorby deště není pro tento účel potřebné a užitečné). Aparáty uvnitř bilančních hranic pak tvoří bilanční systém (nádrž na vodu, čerpadlo, závlahový systém, ...).
- Bilanční období – jedná se o hranici systému v čase. Vhodné nejen pro rozlišení ustálené a neustálené fáze procesu.
- Proud – jedná se o spojnicí mezi uzly systému, která představuje tok materiálu. Proud může být například propojení dvou zařízení (potrubní trasa mezi nádrží na vodu a čerpadlem).

- Složka – jasně definované látky, kterým se v průběhu bilančního procesu nemění složení. Typickým příkladem jsou složky při destilaci – etanol a voda – jejich vzájemný poměr se v rámci procesu mění, látky samotné však zůstávají neměnné (cílené zvyšování obsahu etanolu ve výsledné směsi). V případech využití elektrické energie a využití dešťové vody lze považovat oba tyto systémy za jednosložkové (u dešťové vody s mírným zjednodušením při zanedbání hrubého filtrování nečistot).
- Základ bilance – množství materiálu procházející vybraným proudem a jeho popis. Pro (elektrickou) energii lze užít Jouly/Watty (J/W, kJ/kW, ...), pro hmotnostní/látkovou lze užít kilogramy/moly/hmotnostní průtoky/objemové průtoky, (kg, mol, kg/s, l/min, ...).
- Škálování systému – výsledky stále platí, pokud se mění pouze množství bilancované veličiny (průtok), ale složení proudů zůstávají stejné.
- Ustálený systém – v časovém úseku (bilančním období) neměnné proudy, typický pro jednoduché kontinuální systémy. Blíže specifikovaný v kapitole 3.5.1.
- Neustálený systém – proudy systému jsou časově proměnné a závislé, v systému je typicky schopnost „akumulovat“ látku nebo energii. Blíže specifikovaný v kapitole 3.5.1.

3.5 Vstupy a výstupy bilančních výpočtů

Jedním z možných přístupů k dimenzování systému s akumulačním prvkem, je právě bilanční přístup. V následující kapitole budou představeny základní myšlenky bilančních výpočtů, rozdělení ustálených a neustálených stavů a přístup k řešení neustálených stavů.

3.5.1 Ustálený vs. neustálený systém

Základní myšlenka bilance vychází z následující rovnice (1) (dle [36; 37]):

$$vstup + zdroj - výstup = akumulace \quad (1)$$

kde:

Vstup – vstupní proud/nástřík do systému, surovina; v případě této práce se jedná o vstupní sluneční (globální) záření, resp. o srážky, které je systém schopen zachytit.

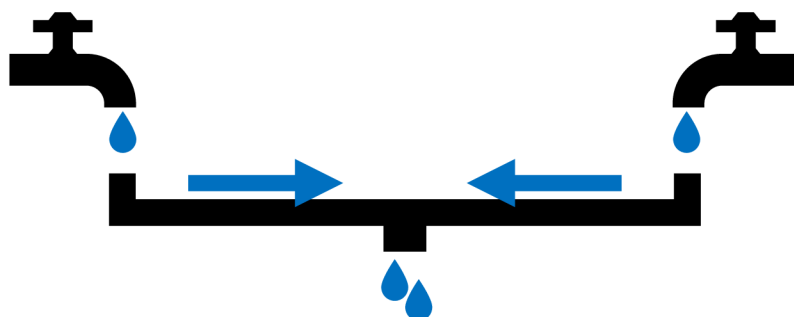
Zdroj – v případech, kdy složka v systému „vzniká“ nebo „zaniká“, typicky chemickou reakcí přeměnou složek v případě látkové bilance. U energetické bilance musí platit zákon zachování energie, proto nemůže vznikat ani zanikat, může se jen měnit mezi různými formami. Pro bilanci fotovoltaiického systému tak tento člen vypadává. U bilance dešťové vody také voda nikde v rámci systému „nevzniká“, proto je člen vyřazen i zde.

Výstup – výstupní proud/produkt/odpadní proud vycházející ze systému; v případě této práce se u PV systému jedná o elektřinu použitou na provoz spotřebičů, vlastní

spotřebu a ztráty. U vodního systému jde o vodu použitou pro závlahu rostlin a ztráty (např. odparem).

Akumulace – změna množství (růst/pokles) bilancované složky uvnitř hranic systému. U ustálených systémů je tento člen vyřazen. V případě ostrovního PV systému, resp. závlahového systému je akumulace klíčovým prvkem (ustálený stav není z podstaty problému prakticky dosažitelný) [36].

Ustálený systém je tedy zpravidla jednoduchý proces, který není ve fázi najíždění apod. Triviálním příkladem ilustrovaným na Obr. 31 je spojení přítoků vodovodních potrubí s časově konstantním průtokem. Po spojení potrubí je množství na výstupu sumou vstupujících proudů, voda se nikde v systému nehromadí. Bez členu zdroje a akumulace se rovnice (1) zredukuje do tvaru vstup – výstup = 0, tedy vstup = výstup [36].

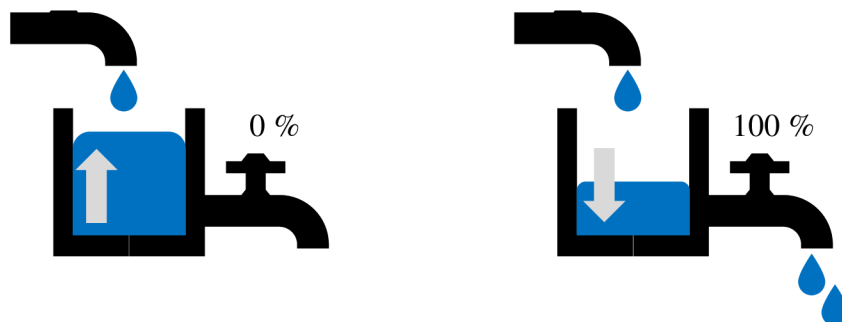


Obr. 31 – Příklad ustáleného systému na jednoduchém vodovodním potrubí.

Neustálený systém je pak takový, který je časově proměnný/závislý a umožňuje akumulaci. Jedná se často o přechodné stavy typu najíždění technologie, havárie, vsázkový provoz apod. Bez členu zdroje se rovnice (1) redukuje na tvar $vstup - výstup = akumulace$, tedy rozdíl mezi vstupem a výstupem musí odpovídat členu akumulace (akumulační schopnost „vyrovná“ rozdíl). Triviálním příkladem může být nádrž s konstantním přítokem a proměnným odtokem vody (např. podle přání uživatele regulovatelný mezi 0 až 100 %). Jak ilustruje Obr. 32 (vlevo), pokud bude okamžitý výtok menší než přítok, bude se naplnění nádrže zvyšovat a tím růst i hladina. Opačně pokud bude okamžitý výtok vyšší než přítok, bude se množství vody v nádrži zmenšovat a hladina klesat (viz. Obr. 32 (vpravo)) [36].

Velmi podobně se chová i ostrovní systém využití přírodních zdrojů v zahradním skleníku. V rámci několika dní může být při slunečném počasí a vysokých teplotách velká potřeba po závlaze, zároveň však neprší – přítok je tedy nulový a potřebnou vodu tak v nejlepší případě poskytne právě akumulační nádrž. Při slunečném počasí se zároveň bude fotovoltaickým panelům dostávat velké množství energie, kterou lze uložit do bateriového systému a v ideálním případě využívat v noci a ve dnech s malým množstvím slunečního záření.

Návrhem velikosti plochy PV panelů a kapacity bateriového systému, resp. návrhu kapacity nádrže na dešťovou vodu je věnována právě kapitola 3. Je třeba zvážit přínos zvýšené kapacity akumulace proti vyšším investičním nákladům a větším prostorovým nárokům řešení (v zahradním skleníku může být dostupné místo pro realizaci zařízení omezené).



Obr. 32 Příklad neustáleného systému na jednoduchém vodovodním systému s akumulací nádrží při výtoku nižším než přítoku (vlevo) a při výtoku vyšším než přítoku (vpravo)

3.5.2 Způsoby popisu neustálených systémů

Pro podrobný popis dějů závislých na čase – neustálených systémů – je nutné zvolit vhodný matematický aparát. Dva dobré způsoby jsou popis diferenciálními rovnicemi a popis diferenčním způsobem.

Diferenciální rovnice – lze volit v případě dobře matematicky definovatelných vlastností systému. K sestavení a řešení diferenciální rovnice (nebo i soustavy diferenciálních rovnic) je třeba znalost pokročilého matematického aparátu a v některých případech není velmi praktická.

Příkladem oblasti použití je model výtoku (u dna) z nádoby bez přítoku – rychlost (a tedy i množství) tekutiny, která vytéká, je závislá na výšce hladiny (viz. Torricelliho vztah uvedený v rovnici (2)). Se snižující se hladinou pak klesá i množství vytékající vody a změna výšky hladiny tak v čase klesá [36].

$$v_{out} = \sqrt{2gL} \quad (2)$$

kde:

v_{out} – rychlost vytékajícího média [m/s]

g – tíhové zrychlení [m/s²]

L – výška hladiny v nádobě [m]

Diferenční způsob – pro popis složitějších systémů, kde jsou data navíc dostupná v časových intervalech, jako je např. periodické měření teploty v procesu, je možné a někdy i výhodné použít diferenční způsob řešení. Základním předpokladem metody je nalezení (malého) časového intervalu, ve kterém děj lze s dobrou mírou přesnosti považovat za ustálený.

V tomto časovém intervalu lze použít již zmíněný redukovaný tvar rovnice (1) $vstup - výstup = akumulace$. Tím lze v jednom časovém intervalu určit rozdíl mezi vstupem a výstupem a určit akumulované množství.

Za explicitní zmínku stojí vliv vzájemného poměru vstupu a výstupu na znaménko akumulačního členu: když $vstup > výstup$, tak je znaménko akumulačního členu kladné (množství vody v akumulační nádrži roste apod.); když $vstup < výstup$, tak je znaménko akumulačního členu záporné (množství vody v akumulační nádrži klesá apod.).

Pro popis reálného systému je ale do modelu nutné zařadit okrajové podmínky – omezenou kapacitu akumulace. Pokud bude po více časových úsecích akumulační člen kladný, bude se zvyšovat míra zaplnění akumulační kapacity, která je v reálném světě omezená. V každém kroku bilance je tak třeba ověřit, zda s novým přírůstkem není překročena kapacita akumulace. Obdobně při opakované zápornosti akumulačního členu může nastat, že kapacita akumulace nebude dostatečná pro uspokojení potřeb výstupního proudu (jak často je přípustné dostat se do této situace záleží na více faktorech a bude diskutováno v následujících kapitolách). Aplikace zmíněných principů bude přiblížena v kapitole 3.6.

3.6 Aplikace diferenčního způsobu – bilanční algoritmus

Pro praktickou aplikaci diferenčního způsobu řešení neustáleného systému byl zvolen Excel.

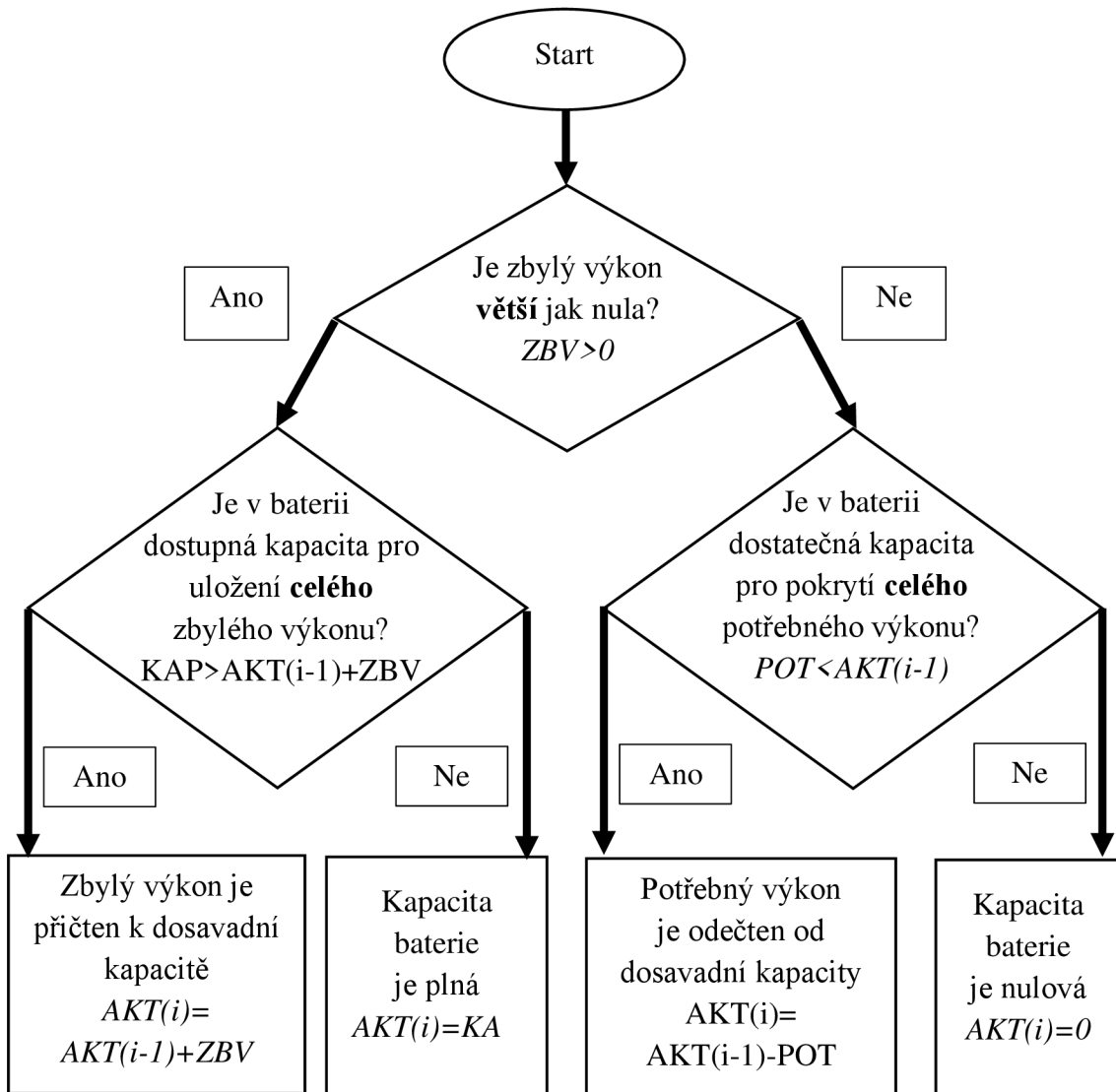
Vstupní a výstupní proudy jsou tvořeny časovými záznamy s časovým úsekem 1 hodina. Výpočet PV systému je prováděn v SI jednotkách Joule a z nich odvozených (kJ), výpočet akumulace dešťové vody je počítán v litrech.

Pro automatizaci rozhodování v jednotlivých krocích diskutované v předchozí kapitole je možné použít bilanční algoritmus, který bude představen v této kapitole. Budou představeny dvě varianty s různým názvoslovím – pro PV a závlahový systém.

3.6.1 Implementace bilančního algoritmu PV systému v Excelu

V každém časovém úseku neboli řádku dat v Excelu je o kapacitě bateriového systému výpočtově rozhodnuto na základě algoritmu, který ukazuje Obr. 33 [34].

V každém řádku (každou hodinu) je známa hodnota dostupného výkonu ze solárních panelů (globální záření) a spotřeba zařízení. Cílem je získat novou hodnotu kapacity baterií. Předpokladem je, že se elektřina v rámci časového úseku okamžitě využije na případnou spotřebu. Je-li dostupného výkonu více, než je spotřeba zařízení, bude v systému zbylý výkon. V opačném případě je to potřebný výkon. Poté je třeba provést bilanční výpočet pro každý časový úsek bilančním algoritmem.



Obr. 33 Bilanční algoritmus pro rozhodování v každém kroku výpočtu PV systému [34]

Proměnné algoritmu

- Využitelná energie (VE) [kJ] – Elektrická energie, jejíž hodnota je spočtena jako součin hodnoty globálního záření (GZ) [W/m^2], plochy panelů (A_P) [m^2], účinnosti přeměny energie (η) [%] a délky intervalu (3600 s) [s].

$$VE [kJ] = GZ \left[\frac{W}{m^2} \right] \cdot A_P [m^2] \cdot \eta [\%] \cdot 3600 [s] \quad (3)$$

- Spotřeba energie (SE) [kJ] – Celková elektrická energie, kterou potřebují uvažované spotřebiče pro provoz, zahrnující vlastní spotřebu zařízení a ztráty.
- Zbylý výkon (ZBV) [kJ] – Je rozdíl mezi využitelnou energií a spotřebou energie.

$$ZBV [kJ] = VE [kJ] - SE [kJ] \quad (4)$$

- Potřebný výkon (POT) [kJ] – Pokud je hodnota *zbylého výkonu* menší jak nula, pak je potřebný výkon absolutní hodnotou *zbylého výkonu*, v opačném případě je nula. (př. když $ZBV = -12$ kJ, pak $POT = 12$ kJ; když $ZBV = 8$ kJ, pak $POT = 0$ kJ).

$$\begin{aligned} \text{Když } ZBV < 0, \text{ pak } POT &= |ZBV| \\ \text{Když } ZBV \geq 0, \text{ pak } POT &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

- Aktuální kapacita baterie ($AKT(i)$) [kJ] – Množství elektrické energie uložené v bateriích v právě řešeném časovém intervalu (i).
- Kapacita baterie v minulém kroku ($AKT(i-1)$) [kJ] – Množství elektrické energie uložené v bateriích v předešlém časovém intervalu ($i-1$).
- Maximální kapacita baterie (KAP) [kJ] – Maximální kapacita bateriového uložení při daném počtu baterií.

Rovnice pro výpočet aktuální kapacity baterie

- Zbylý výkon je přičten k dosavadní kapacitě:

$$AKT(i)[kJ] = AKT(i-1)[kJ] + ZBV [kJ] \quad (6)$$

- Kapacita baterie je plná:

$$AKT(i)[kJ] = KAP [kJ] \quad (7)$$

- Potřebný výkon je odečten od dosavadní kapacity:

$$AKT(i)[kJ] = AKT(i-1)[kJ] - POT[kJ] \quad (8)$$

- Kapacita baterie je nulová:

$$AKT(i)[kJ] = 0 [kJ] \quad (9)$$

Implementace algoritmu pro PV systém v MS Excel

Na konkrétních řádcích nyní bude ilustrován průběh výpočtu tak, jak je realizován v Excelu. Vybraná data ukázaná v Tab. 5 jsou ze dne 11. 5. 2023 od 3 h do 6 h (je vidět postupné zvyšování využitelné energie s východem Slunce). Ukázkový výpočet začíná pro interval 4 h (k výpočtu jsou potřeba kapacity baterie z předchozího kroku (i-1), tedy 3 h). Konfigurace zařízení je 1 PV panel (plocha 0,52 m²) a 1 baterie (25 Ah, 12 V/300 Wh/1 080 kJ), účinnost přeměny energie je uvažována 10 %.

Výpočet intervalu 4 h

Množství **využitelné energie** lze získat dosazením do rovnice (3):

$$VE = 10,3 \frac{W}{m^2} \cdot 0,52 m^2 \cdot 10 \% \cdot 3600 s = 1\,929 J = 1,9 kJ$$

Spotřeba energie vychází z dat spotřeby v *Experimentálním skleníku* a skládá se ze spotřebičů, vlastní spotřeby řídicí jednotky a ztrát: SE = 29,1 kJ.

Zbylý výkon je prostým dosazením do rovnice (4):

$$ZBV = 1,9 kJ - 29,1 kJ = -27,2 kJ$$

Protože je zbylý výkon menší jak nula, je **potřebný výkon** rovný jeho absolutní hodnotě.

$$POT = |-27,2| = 27,2 kJ$$

Kapacita baterie z minulého kroku je známá (interval 3 h): KAP(i-1) = 896,3 kJ

Nyní lze přejít k rozhodovacímu algoritmu (viz. Obr. 33):

Je zbylý výkon **větší** jak nula (ZBV > 0)? Ne (značení 0)

Je v baterii dostatečná kapacita pro pokrytí **celého** potřebného výkonu (POT > AKT(i-1))? Ano (značení 1)

Aktuální kapacita je tedy podle rozhodovacího algoritmu získána odečtením potřebného výkonu od dosavadní kapacity (dosazením do rovnice (8)):

$$AKT(i) = 896,3 kJ - 27,2 kJ = 869,1 kJ$$

Výpočet intervalu 5 h

V tomto intervalu lze postupovat obdobně jako u intervalu 4 h:

$$VE = 17,0 \text{ kJ}; SE = 18,0 \text{ kJ}; ZBV = -1,0 \text{ kJ}; POT = 1,0 \text{ kJ}; KAP(i-1) = 869,1 \text{ kJ}$$

Rozhodovací algoritmus: $ZBV > 0$? Ne; $POT > AKT(i-1)$? Ano

Z toho tedy **aktuální kapacita** (dosazením do rovnice (8)): $AKT(i) = 868,1 \text{ kJ}$

Výpočet intervalu 6 h

V tomto intervalu lze postupovat obdobně jako u intervalů 4 a 5 h, s rozdílem, že **zbylý výkon je kladný**, a tedy **potřebný výkon je nulový** (viz rovnice (5)):

$$VE = 24,8 \text{ kJ}; SE = 18,0 \text{ kJ}; ZBV = 6,8 \text{ kJ}; POT = 0 \text{ kJ}; KAP(i-1) = 868,1 \text{ kJ}$$

Rozhodovací algoritmus: $ZBV > 0$? Ano; $KAP > AKT(i-1) + ZBV$? Ano

Z toho tedy **aktuální kapacita** (dosazením do rovnice (6)): $AKT(i) = 874,9 \text{ kJ}$

Tímto způsobem byla vypočtena data pro celou tabulku ve sledovaném období (hodnoty zmíněné v předchozím textu jsou ukázány v Tab. 5).

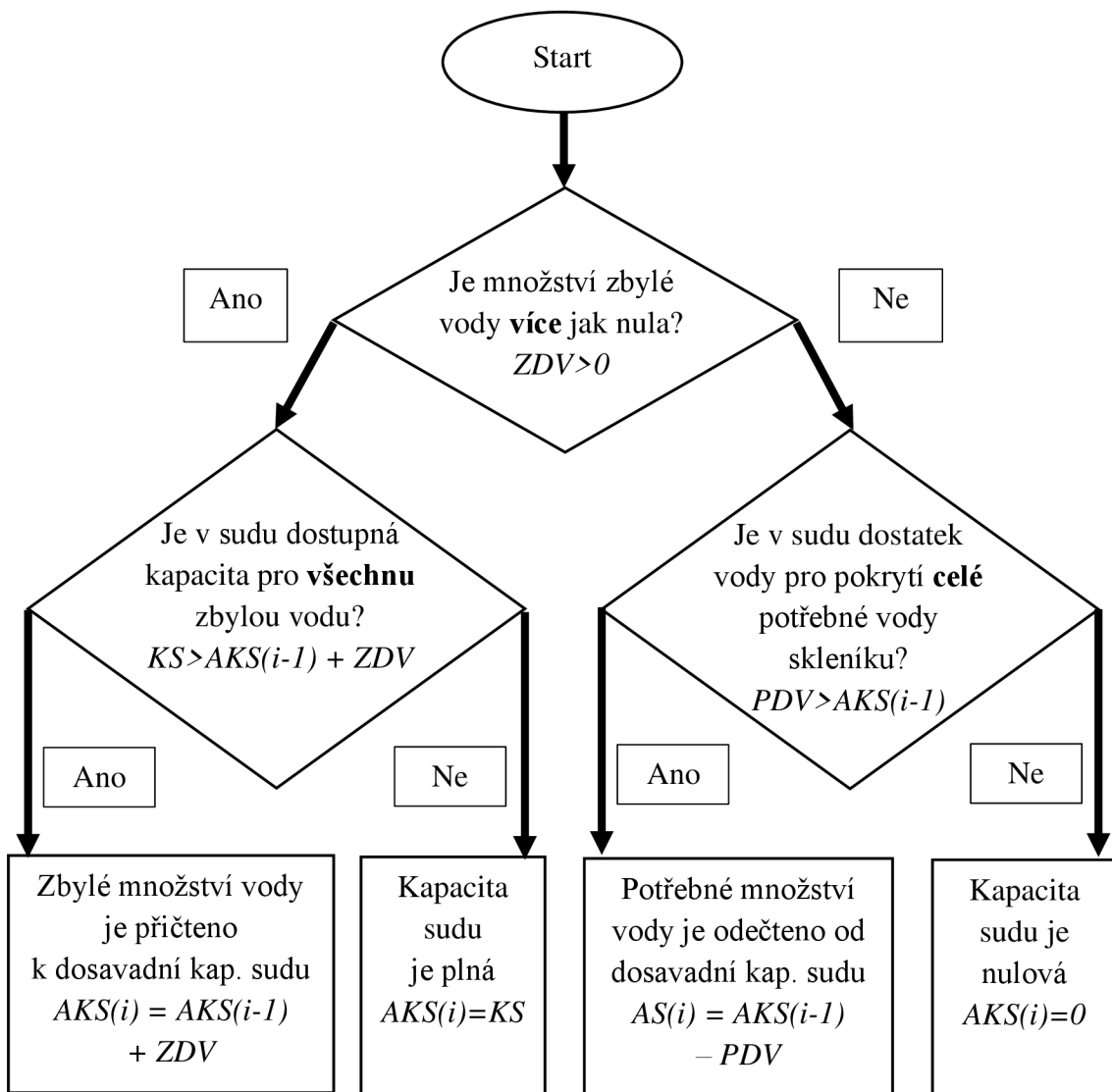
Tab. 5 Ukázka výpočtu bilance PV systému časových intervalů 11.5. 2023 od 3 h do 6 h

Hod	GZ [W/m ²]	VE [kJ]	SE [kJ]	ZBV [kJ]	POT [kJ]	ZBV > 0	KAP > AKT(i-1) + ZBV	POT > AKT(i-1)	AKT(i) [kJ]
3 h	0,0	0	18,0	-18,0	18	0	1	0	896,3
4 h	10,3	1,9	29,1	-27,2	27,2	0	1	0	869,1
5 h	90,4	17,0	18,0	-1,0	1,0	0	1	0	868,1
6 h	131,7	24,8	18,0	6,8	0	1	1	0	874,9

3.6.2 Implementace bilančního algoritmu závlahového systému v Excelu

Obdobně jako u PV systému, i v závlahovém systému je v každém časovém úseku o kapacitě sudu výpočtově rozhodnuto na základě algoritmu, který ukazuje Obr. 34.

V každém časovém intervalu je známé množství dešťové vody, která na plochu skleníku dopadlo a spotřeba vody na závlahu. Cílem je stanovit novou hodnotu naplnění sudu. Je-li napršené vody více, než je spotřeba závlahy, bude v systému *zbylá voda*. V opačném případě je to *potřebná voda*. Poté je třeba provést bilanční výpočet pro každý časový úsek bilančním algoritmem.



Obr. 34 Bilanční algoritmus použitý pro rozhodování v každém kroku výpočtu závlahového systému [34]

Proměnné algoritmu

- Napršená voda (NV) [l] – Množství vody, jejíž hodnota je spočtena jako součin hodnoty úhrnu srážek ($ÚS$) [l/m^2], půdorysné plochy skleníku (A_S) [m^2], účinnosti sběru vody (η_V) [%] a délky intervalu (3600 s) [s].

$$NV [l] = ÚS \left[\frac{l}{m^2} \right] \cdot A_S [m^2] \cdot \eta_V [\%] \cdot 3600 [s] \quad (10)$$

- Spotřeba vody na závlahu (SV) [l] – Celkové množství vody, kterou potřebují uvažované závlahové hadice pro provoz.
- Zbylá (dešťová) voda (ZDV) [l] – Je rozdíl mezi napršenou vodou a spotřebou vody na závlahu plus ztráty.

$$ZDV [kJ] = NV [kJ] - (SV + ZTR) [kJ] \quad (11)$$

- Potřebná (dešťová) voda (PDV) [l] – Pokud je hodnota *zbylé vody* menší jak nula, pak je potřebná voda absolutní hodnotou *zbylé vody*, v opačném případě je nula. (př. když $ZDV = -0,3$ l, pak $PDV = 0,3$ l; když $ZDV = 0,1$ l, pak $PDV = 0$ l).

$$\begin{aligned} \text{Když } ZDV < 0, \text{ pak } PDV &= |ZDV| \\ \text{Když } ZDV \geq 0, \text{ pak } PDV &= 0 \end{aligned} \quad (12)$$

- Aktuální kapacita sudu ($AKS(i)$) [l] – Množství vody v sudu v právě řešeném časovém intervalu (i).
- Kapacita sudu v minulém kroku ($AKS(i-1)$) [l] – Množství vody v sudu v předešlém časovém intervalu ($i-1$).
- Maximální kapacita sudu (KS) [l] – Maximální kapacita sudu dle typu.
- Ztráty vody (ZTR) [l] – Množství ztrát vody uvažované v systému (0,01 l/h).

Rovnice pro výpočet aktuální kapacity sudu

- Zbylé množství vody je přičteno k dosavadní kapacitě sudu:

$$AKS(i) [l] = AKS(i-1) [l] + ZBV [l] \quad (13)$$

- Kapacita sudu je plná:

$$AKS(i) [l] = KS [l] \quad (14)$$

- Potřebné množství vody je odečteno od dosavadní kap. sudu:

$$AKS(i) [l] = AKS(i-1) [l] - PDV [l] \quad (15)$$

- Kapacita sudu je nulová:

$$AKS(i) [l] = 0 [l] \quad (16)$$

Implementace algoritmu pro závlahový systém v MS Excel

Na konkrétních datech bude obdobně jako u PV systému bude v následujícím textu ilustrován průběh výpočtu tak, jak je realizován v MS Excel. Vybraná data uvedená v Tab. 6 jsou ze dne 12. 5. 2023 od 15 h do 17 h. Ukázkový výpočet začíná pro interval 16 h (k výpočtu je potřeba kapacita sudu z předchozího kroku (i-1), tedy 15 h). Velikost sudu je v této konfiguraci 100 l, účinnost sběru dešťové vody je 90 %.

Výpočet intervalu 16 h

Množství napršené vody lze získat dosazením do rovnice (10):

$$NV = 0,1 \frac{l}{m^2} \cdot 15,6 m^2 \cdot 90 \% \cdot 3600 s = 1,4 l$$

Spotřeba vody na závlahu vychází z dat závlahových okruhů v *Experimentálním skleníku*. $SV = 0,35 l$.

Množství zbylé vody je prostým dosazením do rovnice (11):

$$ZDV = 1,40 - (0,35 + 0,01) = 1,04$$

Protože je **zbylé množství vody větší** jak nula, je **potřebné množství** vody nula.

$$PDV = 0$$

Kapacita sudu z minulého kroku je známa (interval 15 h): $KS(i-1) = 94,84 l$

Nyní lze přejít k rozhodovacímu algoritmu (viz. Obr. 34):

Je zbylé množství vody větší jak nula ($ZDV > 0$)? Ano

Je v sudu dostupná kapacita pro všechnu zbylou vodu ($KS > AKS(i-1) + ZDV$)? Ano

Aktuální kapacita sudu je tedy podle rozhodovacího algoritmu získána přičtením zbylého množství vody k množství vody v sudu v minulém kroku (dosazením do (13)):

$$AKS(i) = 94,84 l + 1,04 l = 95,88 l$$

Výpočet intervalu 17 h

V tomto intervalu lze postupovat obdobně jako u intervalu 16 h:

$NV = 7,0 \text{ l}$; $SV = 0 \text{ l}$; $ZDV = 7,01$; $PDV = 0,0 \text{ l}$; $KS(i-1) = 95,88 \text{ l}$.

Rozhodovací algoritmus: $ZDV > 0$? Ano; $KS > AKS(i-1) + ZDV$? Ne.

Z toho tedy aktuální kapacita (dosazením do rovnice (14)): $AKT(i) = 100 \text{ l}$

Tímto způsobem byla vypočtena data pro celou tabulku ve sledovaném období (hodnoty zmíněné v předchozím textu jsou ukázány v Tab. 6).

Tab. 6 Ukázka výpočtu bilance závlahového systému časových intervalů 12. 5. 2023 od 15 h do 17 h

Hod	ÚS [l/m ²]	NV [l]	SV [l]	ZDV [l]	PDV [l]	ZDV >0	KS> AKS(i-1) + ZDV	PDV> AKS(i-1)	AKS(i) [l]
15 h	0	0	0	-0,01	0,01	0	1	0	94,84
16 h	0,1	1,4	0,35	1,04	0,0	1	1	0	95,88
17 h	0,5	7,0	0	7,01	0,0	1	0	0	100

3.7 Fotovoltaický systém – srovnání konfigurací panelů a baterií

Výsledkem bilančního výpočtu je kapacita baterií pro každý časový interval – 4091 záznamů. Pro lepší grafickou vizualizaci a možnosti hodnocení byla data redukována tak, že byla v každém dni – 174 záznamů – vybrána minimální a maximální hodnota kapacity baterie.

Označení konfigurace „počet panelů – počet baterií“

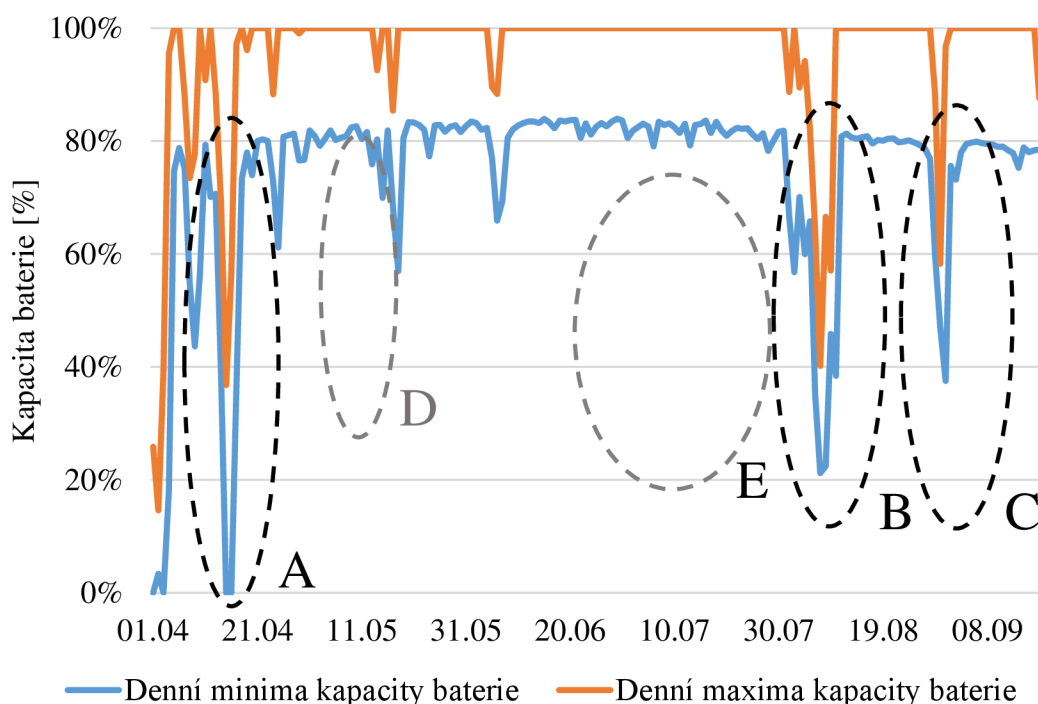
Pro vyhodnocení různých kombinací je zavedeno označení konfigurací ve stylu „počet panelů – počet baterií“, např. kombinace 2 panely a 1 baterie je označen „2–1“, kombinace 1 panel a 3 baterie je označen „1–3“ atd.

3.7.1 Vliv spotřeby a globálního záření na kapacitu baterií (1–1)

Výsledek bilance kapacity porovnáním minimální a maximální denní kapacity baterií ve variantě 1–1 ve sledovaném období u *Experimentálního skleníku* ukazuje Obr. 35. Vliv průměrné hodnoty globálního záření za poslední týden (z důvodu vyhlazení a přehlednosti křivky) ukazuje Obr. 36, vliv průměrné denní spotřeby na kapacitu baterií pak Obr. 37. Na těchto obrázcích jsou vyznačeny zájmové oblasti A, B, a C

s doplňkovými oblastmi D a E. Cílem těchto porovnání je určení vlivů přispívající k výrazné změně (hlavně poklesu) kapacity baterie a určit, jaká je jejich pravděpodobná příčina, což může být užitečnou informací pro další kroky (množství těchto vlivů je možné sledovat i v jiných částech křivky, pro ilustraci byly vybrány ty nejvýraznější).

Na Obr. 35 jsou ukázána denní minima (modrá křivka) a maxima (oranžová křivka) kapacity baterie. Ve třech zvýrazněných oblastech zájmu A, B a C došlo k výraznému poklesu kapacity baterie – v případě A v minimech až na nulovou kapacitu. V tomto okamžiku by došlo k „blackoutu“ (nežádoucí stav nedostatku elektrické energie v bateriích pro provoz systému).



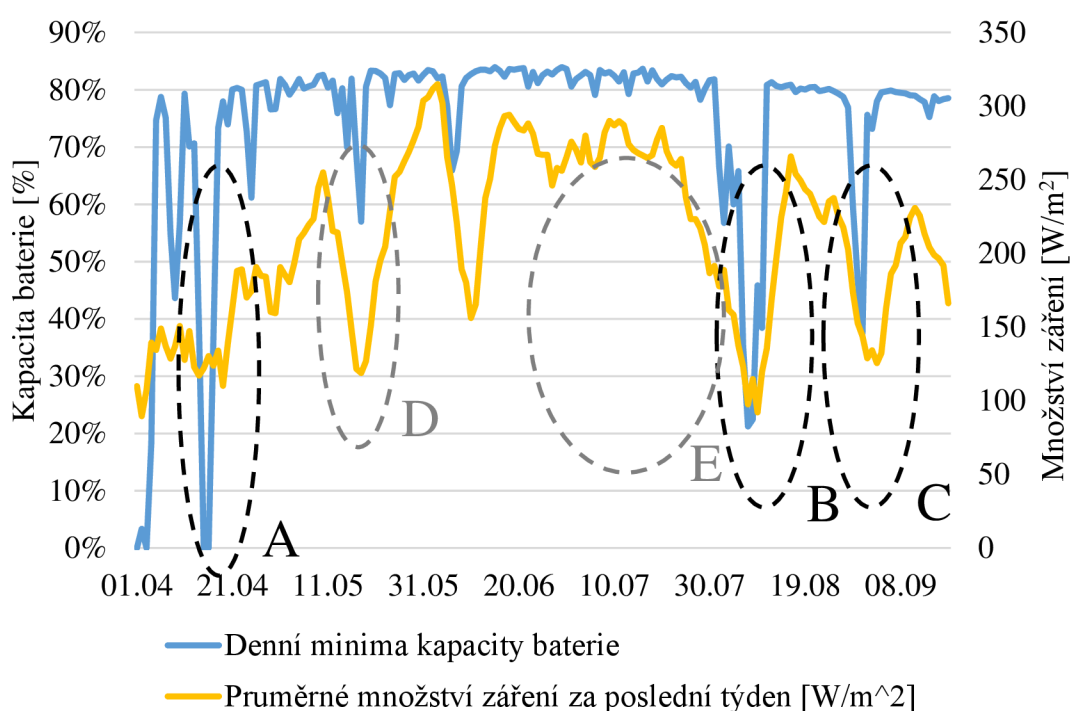
Obr. 35 Porovnání minimální a maximální kapacity baterií v průběhu dne (konfigurace 1-1) s vyznačenými oblastmi zájmu A, B a C a doplňkovými oblastmi D a E

Vliv průměrné hodnoty globálního záření za poslední týden a průměrné denní spotřeby na kapacitu baterií

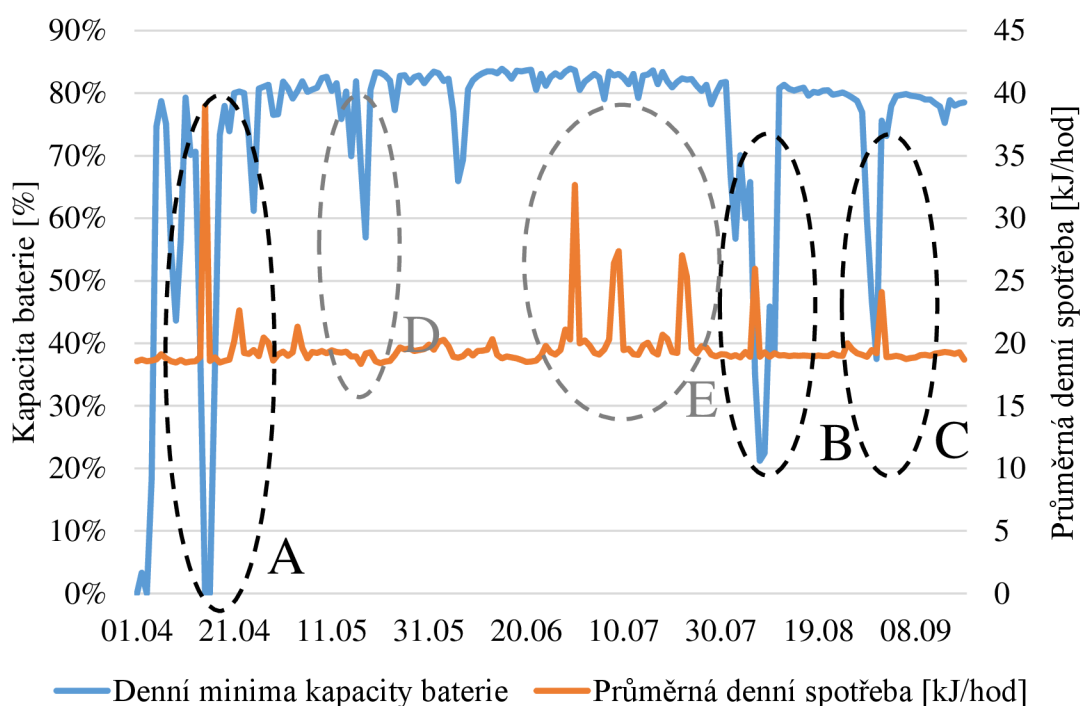
V zájmové oblasti A lze pozorovat již zmíněný nejvýraznější propad minimální kapacity baterie. V tomto období lze na Obr. 36 vidět poměrně malé množství průměrného denního záření (což lze v dubnu očekávat) v kombinaci s neobvykle velkým zvýšením průměrné spotřeby patrný na Obr. 37. Při bližším procházení dat je ale patrný velký příkon čerpadla, který není pro běžný stav typický. Pokud by ve skleníku bylo třeba většího množství energie pro provoz čerpadla, musel by se jeho provoz plánovat s ohledem na kapacitu baterií v rámci dne. Řídící jednotka v systému uzpůsobeném pro

ostrovni provoz by měla být opatřena systémem, který uživatele varuje při nadměrném využívání spotřebičů.

V zájmových oblastech B a C je patrný vliv poklesu průměrné hodnoty globálního záření za poslední týden na Obr. 36. Zároveň na Obr. 37 vyšší než obvyklou denní spotřebu, která mohla dále přispět k poklesu kapacity baterie. Podobně výrazný pokles záření lze vidět v doplňkové oblasti D, kde však nedošlo k nadměrné spotřebě a propad kapacity baterií proto nemusí být tak výrazný. Opačný efekt lze vidět u doplňkové oblasti E, kde je přes několikanásobné neobvykle velké zvýšení spotřeby minimální denní kapacita baterií téměř nezměněna, důležitým faktorem pro to může být dlouhodobě vysoké množství průměrného denního globálního záření.



Obr. 36 Vliv průměrné hodnoty globálního záření za poslední týden na kapacitu baterií (konfigurace 1-1) s vyznačenými oblastmi zájmu A, B, C a doplňkovými oblastmi D a E.



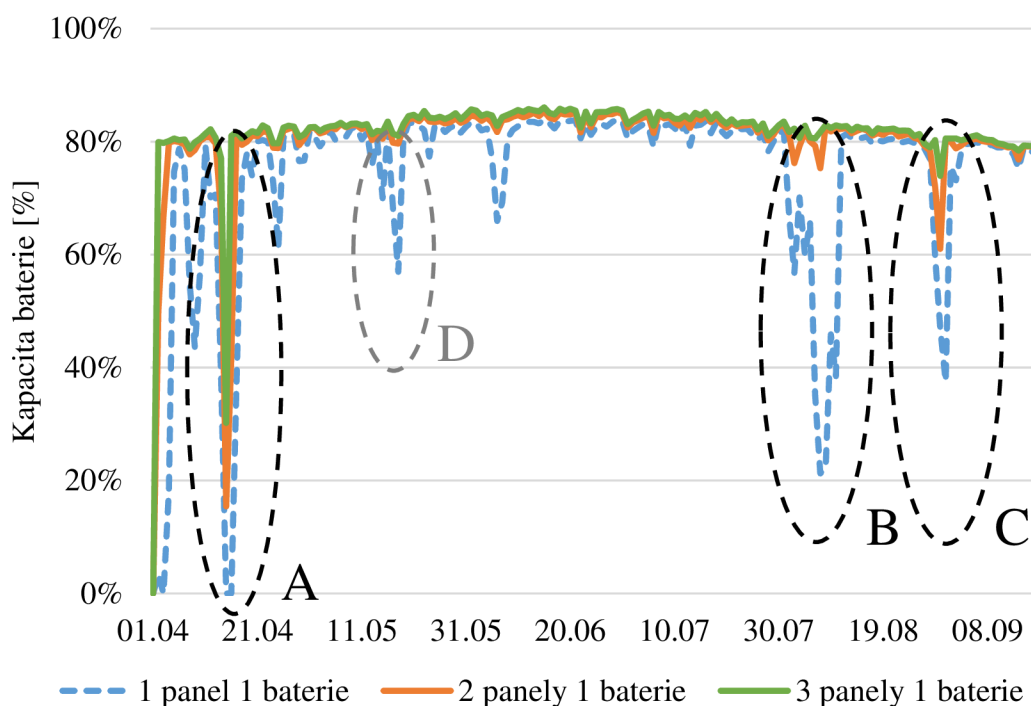
Obr. 37 Vliv průměrné denní spotřeby na kapacitu baterií (konfigurace 1-1) s vyznačenými oblastmi zájmu A, B, C a doplňkovými oblastmi D a E

3.7.2 Vliv zvýšení plochy panelů a kapacity baterií na výslednou bilanci

V této kapitole je postupně graficky znázorněn vliv různého počtu panelů (tj. 1, 2 nebo 3 panely), různého počtu baterií (tj. celkové kapacity) na aktuální kapacitu baterie ve sledovaném období u experimentálního skleníku. Na Obr. 38, Obr. 39 a Obr. 40 jsou porovnány minimální denní kapacity baterií pro zmíněné možnosti a diskutován jejich vliv na zájmové oblasti A, B a C a doplňková oblast D.

Vliv více panelů s jednou baterií

Obr. 38 ilustruje vliv použití více panelů. U případu A je jisté zlepšení, zde ale nadměrná spotřeba velmi rychle vyčerpá kapacitu baterie. V oblastech B, C i D se pozitivně projevilo již přidání druhého panelu, třetího ještě více (v kapitole 3.7.1 byl diskutován vliv právě menšího množství globálního záření v těchto oblastech, proto má přidání plochy panelů mít pozitivní vliv na kapacitu baterie). Bonus získaný zvětšením plochy panelů je omezený kapacitou baterie, která při nadměrné spotřebě rychle klesá.

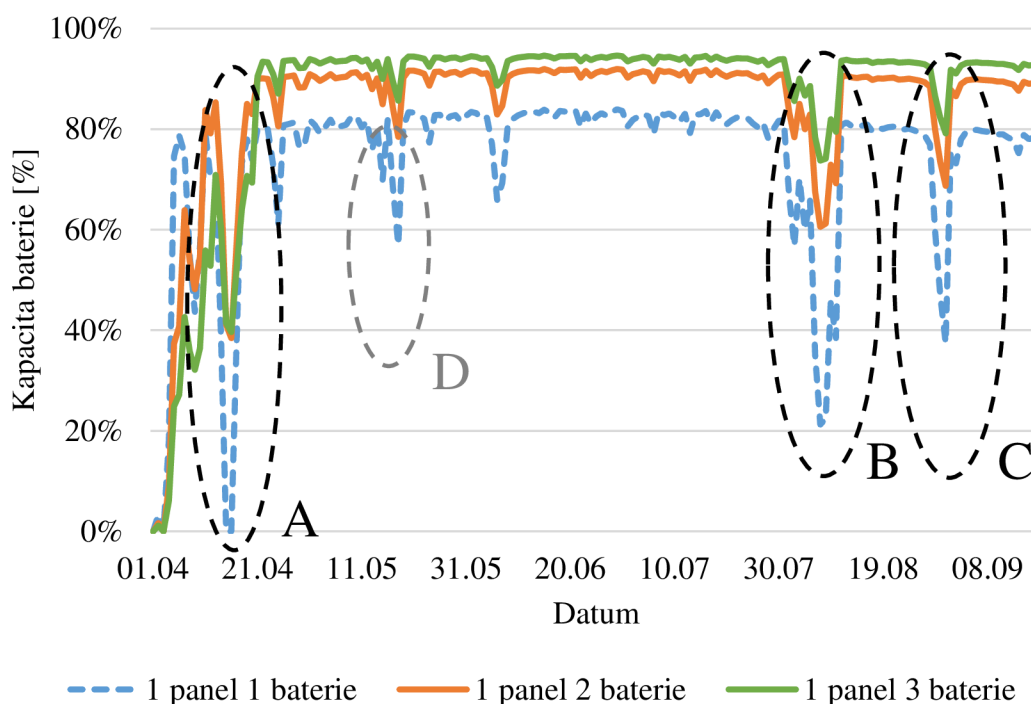


Obr. 38 Porovnání minimální kapacity v průběhu dne mezi konfiguracemi 1-1, 1-2, a 1-3 s vyznačenými oblastmi zájmu A, B, C a doplňkovou oblastí D

Vliv více baterií s jedním panelem

Obr. 39 ukazuje (obdobným způsobem jako Obrázek 8) vliv použití jedné, dvou a tří baterií na chování systému s jedním panelem. U oblasti A je efekt přidávání baterií pozitivnější než efekt zvýšení počtu solárních panelů (viz kapitola 3.7.1). U oblastí B, C i D, kde dominantním důvodem pro pokles nabití baterie je menší množství slunečního svitu, je vliv dalších baterií stále pozitivní, nicméně ne tak výrazný jako vliv více panelů.

Za explicitní zmínku stojí fakt, že v Obr. 39 jsou hodnoty na ose y procento celkové kapacity, která se ve všech případech mění. Na tomto způsobu zobrazení jsou ale lépe zřetelné diskutované vlivy.

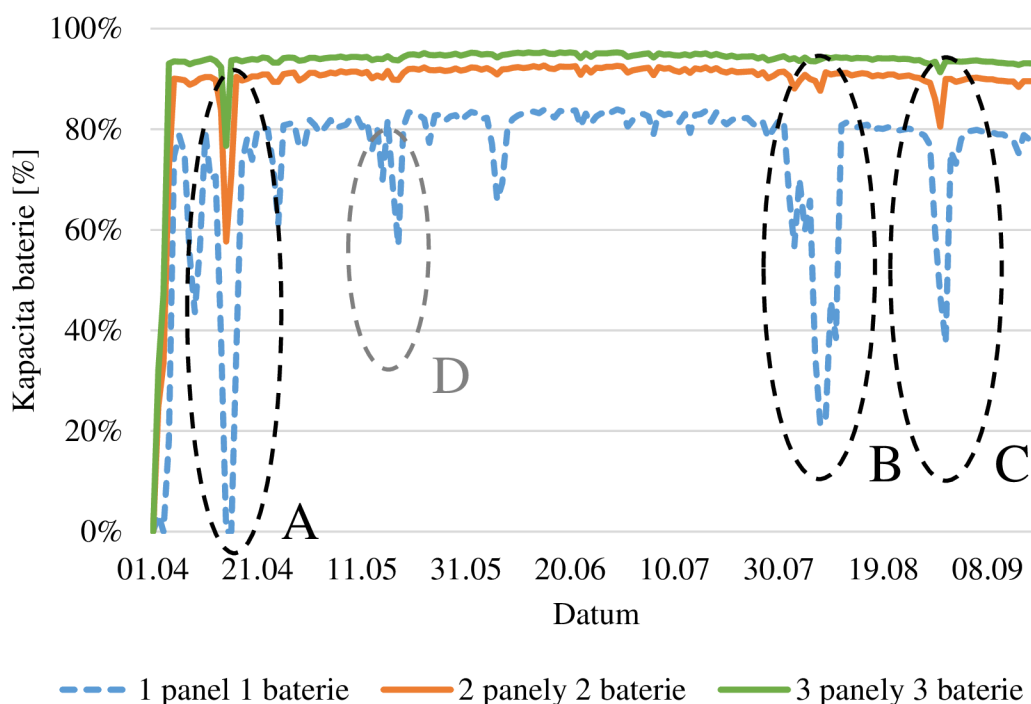


Obr. 39 Porovnání minimální kapacity v průběhu dne mezi konfiguracemi 1–1, 2–1, a 3–1 s vyznačenými oblastmi zájmu A, B, C a doplňkovou oblastí D

Vliv současného zvyšování počtu panelů a baterií

Další z možných kombinací je současné zvyšování plochy panelů a kapacity baterií. Na Obr. 40 jsou ukázány konfigurace 1–1, 2–2, a 3–3 (pro přehlednost nebyly zahrnuty varianty 3–2, a 2–3). Lze vidět, že i ve variantě „2 panely a 2 baterie“ je u oblasti A značná redukce poklesu minimálního denního nabití baterií, i přes nadměrnou spotřebu. V případech B a C je pak vliv menšího množství slunečního svitu skoro zanedbatelný. Ve variantě „3 panelů a 3 baterií“ je pak jasně znatelný vliv v případech B a C, i menší vliv v případě A.

Pro takto velký skleník s touto spotřebou je varianta 2–2 vnímána jako dostatečná, varianta 3–3 by mohla být více využita u větších a více spotřebiči vybavených skleníků. V těchto konfiguracích se otevírají možnosti dalšího využití energie, mimo jiné i pěstování v hydroponických kanálech, umělé osvětlení a občasné užívání přímotopu.



Obr. 40 Porovnání minimální kapacity v průběhu dne mezi konfiguracemi 1–1, 2–2, a 3–3 s vyznačenými oblastmi zájmu A, B, C a doplňkovou oblastí D

3.8 Závlahový systém – srovnání možných kapacit sudů

Obdobně jako v kapitole 3.7 je výsledkem bilančního výpočtu závlahového systému kapacita naplnění sudu v každé hodině. Těchto 4091 záznamů je redukováno na 171 záznamů hodnot denních minim naplnění sudu. Na rozdíl od porovnání mezi minimální a maximální kapacitou baterie u bilance PV systému (viz. Obr. 35) je v tomto kvůli nízké spotřebě hodnota minimální a maximální kapacity sudu v rámci dne téměř totožná (výjimkou je začátek sezóny, kdy se sud plní).

V bilančním výpočtu závlahového systému u Experimentálního skleníku je proměnným faktorem pouze kapacita sudu. Pro označení variant je užito značení „sud 60 l“, „sud 100 l“, „sud 150 l“ nebo „sud 200 l“.

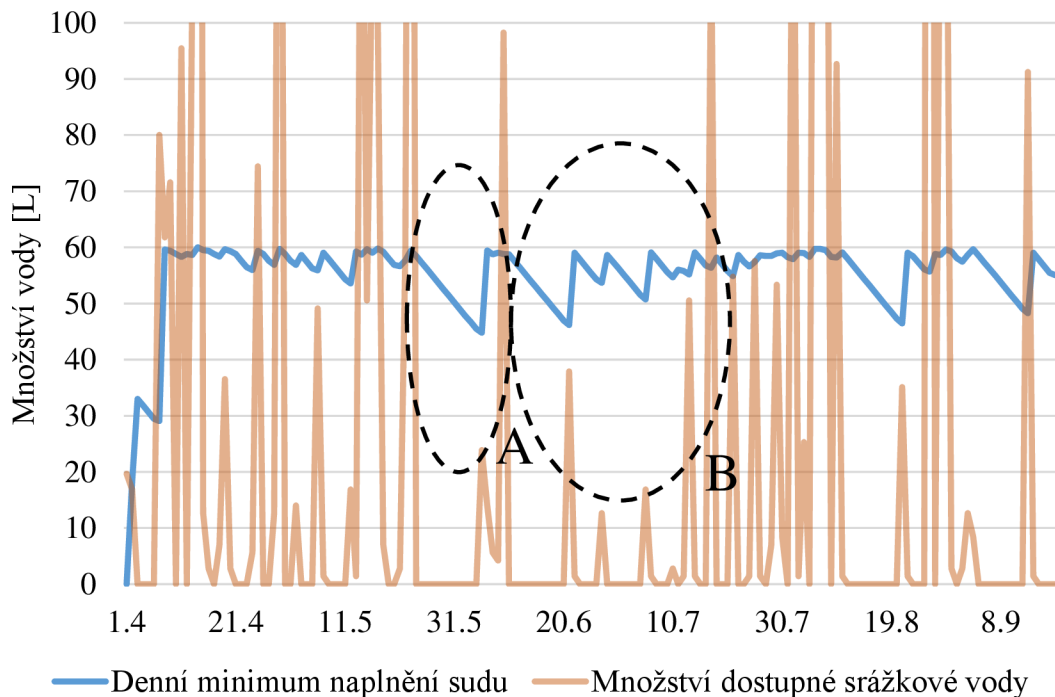
3.8.1 Vliv průměrných hodnot denních úhrnů spotřeby a srážek

Pro vyhodnocení výsledků bilance závlahového systému je nejprve vedena diskuse nad vlivy denních úhrnů srážek a spotřeby vody na minimální denní kapacitu sudu v *Experimentálním skleníku*. Obr. 41 ukazuje vliv denního úhrnu dostupné dešťové vody (tj. vody, kterou skleník sebere ze své střechy okapovým systémem) na denní minimální kapacitu sudu, jsou zde vyznačeny oblasti zájmu A a B. Obr. 42 ukazuje vliv úhrnu denní spotřeby na závlahu na denní minimální kapacitu sudu s vyznačenými oblastmi zájmu C a D.

Obecně lze pozorovat, že za velmi nízkým úbytkem kapacity je malá spotřeba vody na kapénkovou závlahu, která v případě *Experimentálního skleníku* byla necelý 1 litr denně.

Vliv denního úhrnu dostupné dešťové na minimální denní kapacitu sudu

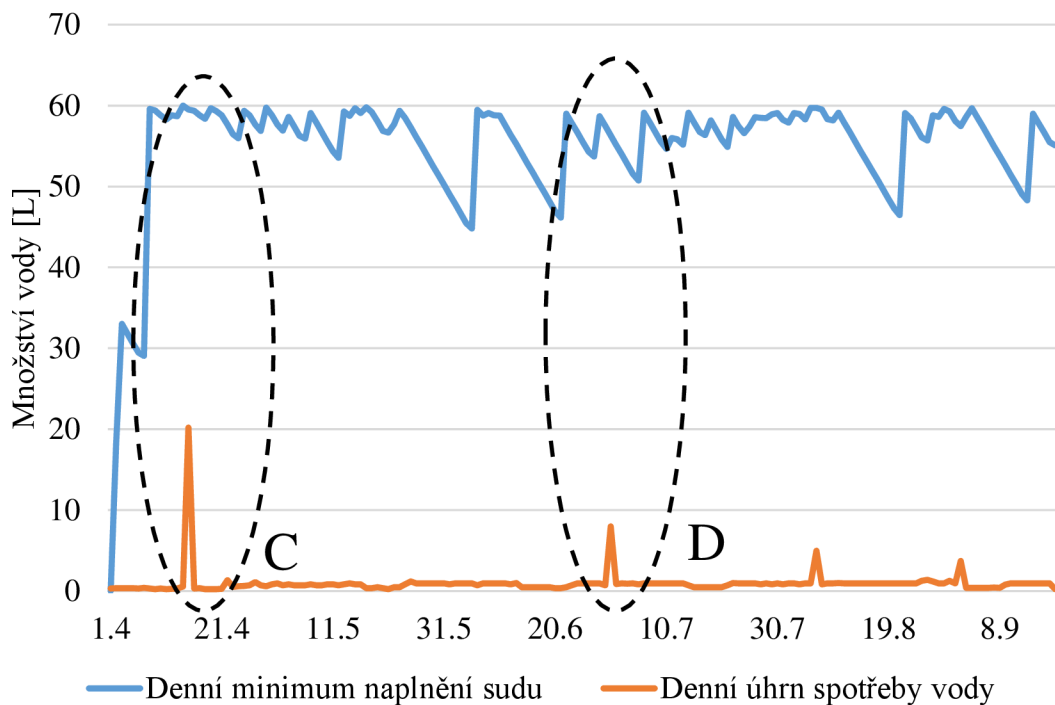
V oblasti A na Obr. 41 lze vidět postupný pokles minimální denní kapacity sudu v období asi dvoutýdenního sucha, následované strmým růstem při srážkách. V oblasti B se trend oblasti A několikrát opakuje, vždy je při dešti doplněna kapacita na téměř 100 %.



Obr. 41 Množství vody v sudu v porovnání s dostupným množstvím dešťové vody (sud 60 l) s vyznačenými oblastmi zájmu A a B.

Vliv hodnoty průměrné spotřeby dešťové vody na minimální denní kapacitu sudu

V oblasti C na Obr. 42 je vidět neobvykle velká spotřeba vody (spojená s již diskutovaným nadměrným použitím čerpadla v kapitole 3.7.1), na minimální denní kapacitu sudu však nemá velký vliv. Stejně tak i menší výkyv ve spotřebě v oblasti D nemá vizuálně velký vliv na kapacitu sudu. Z toho lze usoudit, že na spotřeba vody pro závlahu způsobuje pouze malý a pozvolný pokles kapacity sudu a hlavním důvodem pro změny v kapacitě je množství (a nedostatek) dešťových srážek.

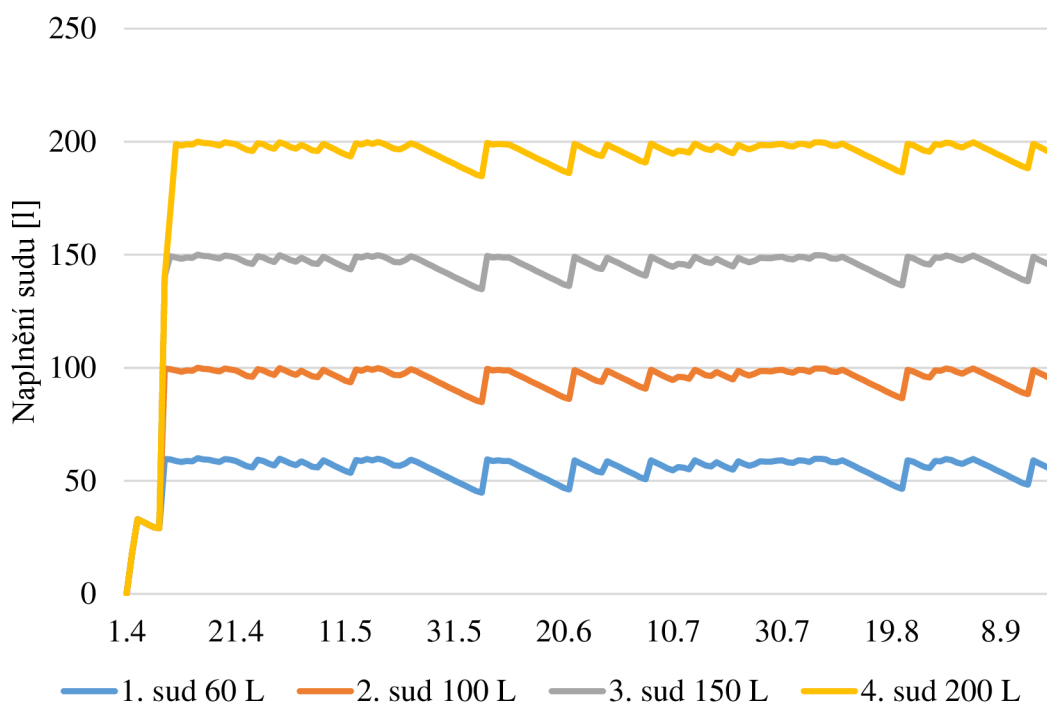


Obr. 42 Množství vody v sudu v porovnání se spotřebou dešťové vody (sud 60 l) s vyznačenými oblastmi zájmu C a D

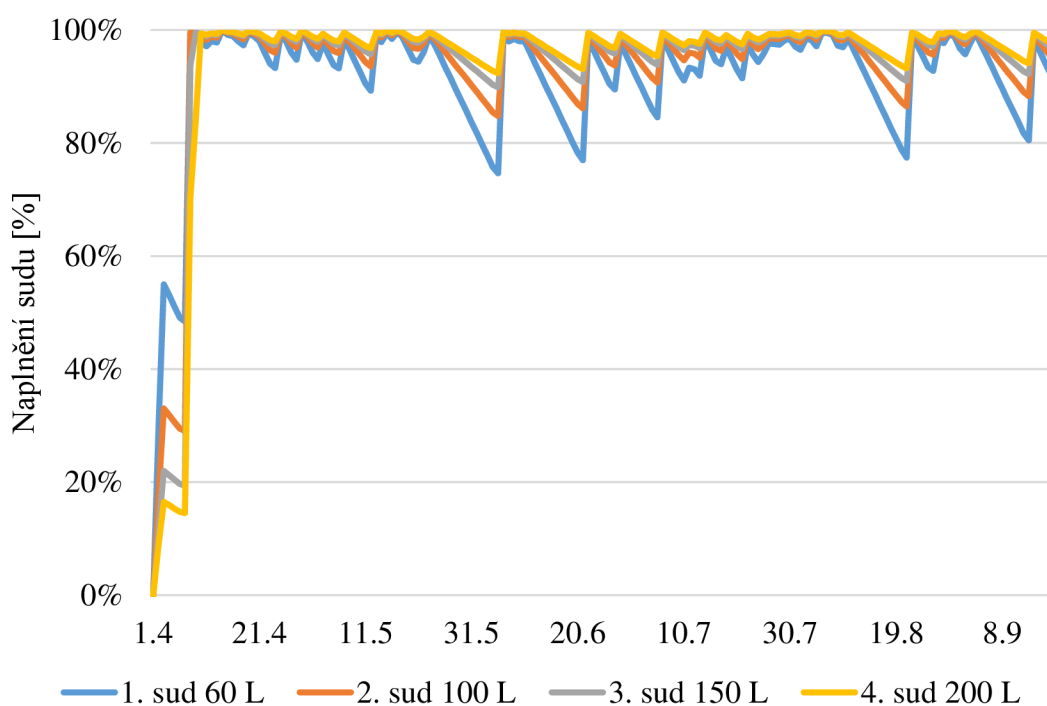
3.8.2 Vliv zvýšení kapacity sudu na výslednou bilanci

V této kapitole je ukázán vliv zvyšování maximální kapacity sudu na průběh minimální denní kapacity sudu. Na Obr. 43 a Obr. 44 jsou ukázány průběhy minimální denní kapacity pro bilanční výpočet sudů o kapacitách 60, 100, 150 a 200 litrů. Obr. 43 ukazuje výsledky v jednotkách litr, zatímco Obr. 44 jako procentuální hodnotu z celkové kapacity. Průběhy snížení kapacity jsou pro všechny kapacity velmi podobné a liší se hlavně ve vzájemném posunutí.

Otázkou je správnost předpokladu této spotřeby vody. Ve skleníku je často také poptávka po dostupnosti vody pro manuální závlahu, která je mnohem více náročná na potřebné množství vody. Další spotřebu vody může tvořit případný hydroponický systém, který však v této konfiguraci nebyl uvažován. Při volbě velikosti sudu pro zahradní skleníky je tak nutné tyto aspekty zvážit i s uvažováním případných možností doplňování nedostatečné kapacity z externích zdrojů.



Obr. 43 Porovnání minimálních denních hodnot naplnění sudu pro různé maximální kapacity sudu



Obr. 44 Procentuální porovnání minimálních denních hodnot naplnění sudu pro různé maximální kapacity sudu

3.9 Možnost extrapolace postupů a výsledků

Provedené bilanční výpočty poskytují vhled do chování systému v konfiguraci *Experimentálního skleníku*, otázkou je uplatnění těchto výsledků na tři vybrané skleníky z nabídky *Limes* (viz. Tab. 7) – extrapolace dat spotřeby elektrické energie a vody pro závlahu.

Naměřená data spotřeby jsou dobrým odrazovým můstkem pro odhad spotřeby systému i pro skleníky *Limes* (tj. skleníky jiné pěstební plochy) pro účely bilance. Tato kapitola představuje hlavní myšlenky zobecnění, resp. extrapolace výpočtu pro užití v jiných letech a s jinými rozměry skleníků.

Vybraným způsobem porovnání spotřeby mezi *Experimentálním skleníkem* a skleníky *Limes* je poměr plochy. Např. skleník *Limes Variant K8* má plochu půdorysu 22,2 m², zatímco *Experimentální skleník* 15,6 m², poměr plochy skleníků je 1,42. To znamená, že u většího skleníku *Limes* uvažována spotřeba 1,42krát vyšší. Pro vybrané skleníky z nabídky *Limes* ukazuje Tab. 7 jejich plochu a poměr plochy ku *Experimentálnímu skleníku*.

Tab. 7 Vybrané varianty skleníků *Limes* pro extrapolaci dat [2]

Typ skleníku Limes	Šířka [m]	Délka [m]	Plocha [m ²]	Poměr plochy ku <i>Exp. skleníku</i> [-]
Variant L 6	3,03	6	18,2	1,17
Variant K 8	2,76	8,03	22,2	1,42
Variant M 9	4,24	9	38,2	2,45

3.9.1 Posouzení PV systému pro extrapolovaná data

Vybraným modelem spotřeby elektrické energie je průměrná hodnota spotřeby. Konkrétně je zde použit vypočtený denní a noční průměr za celé měřené období, průměrná denní spotřeba elektriny pro *Experimentální skleník* činí 20 kJ/hod, noční spotřeba 19 kJ/hod (u výpočtu pro skleníky *Limes* je hodnota upravena dle poměru plochy (viz. Tab. 7)). Většinu spotřeby zde představuje vlastní spotřeba zařízení, která by ve skutečnosti byla pravděpodobně nižší. Rozlišení mezi dnem a nocí je realizováno podle hodnoty globálního záření (je uvažováno, že všechny hodnoty větší jak nula představují denní spotřebu). V textu je dále používáno pouze označení průměr.

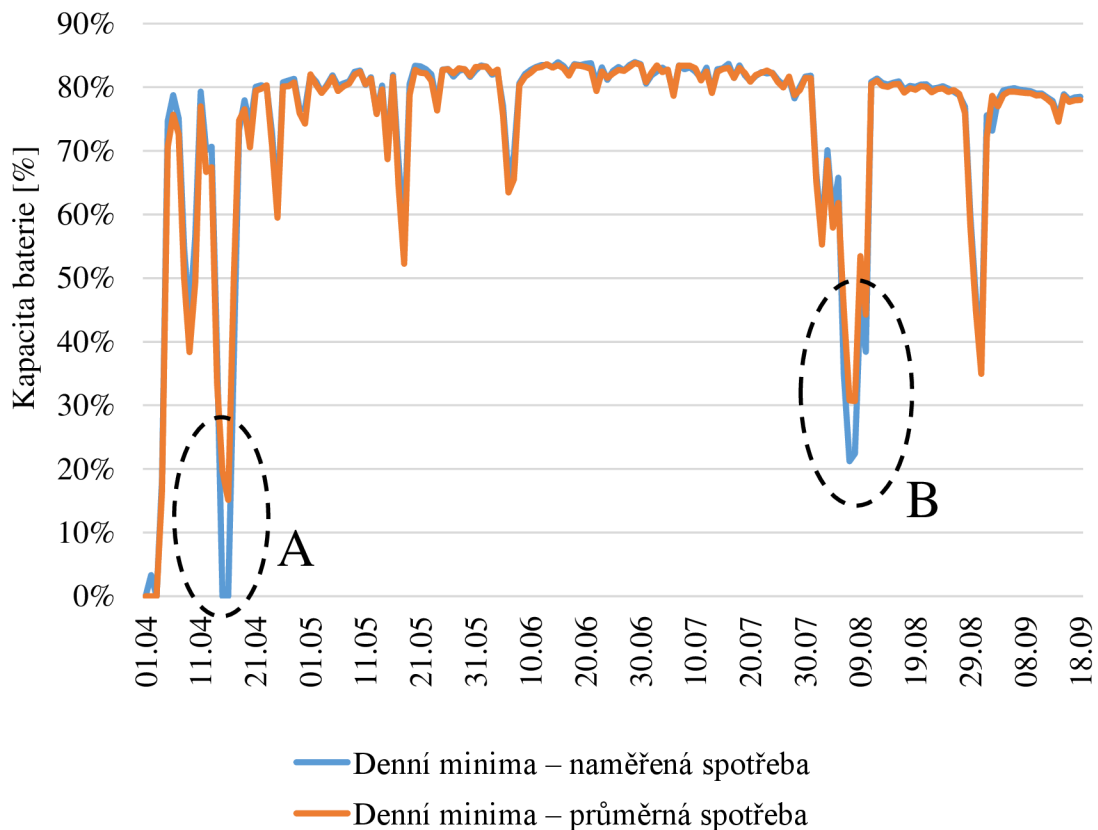
Spotřeba nebyla měřena po celý rok, extrapolace mimo tyto měsíce je tak pouze předpoklad chování. V zimních měsících by pravděpodobně byla spotřeba nižší (např.: kvůli mrazu není čerpána voda a systém nezáleává), v modelu je ale uvažována

konstantní přes celý rok. Otázkou je samozřejmě i celkový požadavek na funkčnost takového systému v zimních měsících.

Přes jednoduchost tohoto přístupu lze s dostatečnou přesností nahradit původní data spotřeby jejich průměrnou hodnotou. Obr. 45 ukazuje porovnání minimálních denních hodnot použitím původních naměřených dat spotřeby s jejich průměrnou hodnotou. Vyznačené oblasti A a B ukazují markantní rozdíly, které se v modelu nachází.

Kompenzace nejistoty – zavedení bezpečnostního limitu

Maximum těchto rozdílů (uvažovány byly všechny kombinace panelů a baterií) bylo přibližně 20 % jedné baterie (5 Ah). Proto byl zaveden tzv. *bezpečnostní limit*, který má ve výsledcích sloužit jako ukazatel možného vyčerpání energie v baterii a kompenzace nejistoty. Hodnota **bezpečnostního limitu** pro *Experimentální skleník* tak byla zvolena jako 30 % kapacity jedné baterie – **7,5 Ah** (bezpečnostní limit je shodně se spotřebou upraven podle poměru plochy *Experimentálního skleníku* a skleníků *Limes* (viz. Tab. 7)).



Obr. 45 Porovnání minimálních denních hodnot použitím původních dat spotřeby a jejich průměru (konfigurace 1-1)

Historická data globálního záření a možné kombinace bilančního výpočtu

Historické hodnoty globálního záření jsou na webu ČHMÚ [14] volně dostupné pouze jako denní, proto byla použita data z databáze *Open Power System Data* [38]. Dostupná jsou hodinová data od roku 1980 až do roku 2019 pro ČR jako celek.

Z dostupných let byl pro posouzení výsledků zvolen rok 1999 a to na základě nejvyššího počtu hodin, ve kterých se kapacita baterie v bilančním výpočtu dostala pod bezpečnostní limit u varianty 1-1, skleníku *Variant L6* (1327 hodin; dalšími dvěma roky s vysokým počtem hodin s podlimitní kapacitou jsou dle výpočtu roky 1992 (1318 h) a 2013 (1251 h)). Tím je snaha o nastavení nepříznivé nastavení podmínek tak, aby se výpočet pohyboval na „bezpečné“ straně.

Pro výpočet jsou tedy uvažovány 3 skleníky *Limes*, 1 až 3 PV panely a 1 až 3 baterie (stejně jako v kapitole 0). To znamená 27 možných kombinací pro každý rok. Pro ukázkou výsledků byly zvoleny pouze následujících 9 variant: 1–1, 2–2 a 3–3 pro každý ze skleníků *Limes Variant L6, K8* a *M9* v roce 1999.

Označení konfigurace „typ skleníku – počet panelů – počet baterií – rok“

Pro vyhodnocení různých kombinací je zavedeno označení konfigurací ve stylu „typ skleníku – počet panelů – počet baterií – rok“, např. kombinace skleníku *L6* s 2 panely a 2 bateriemi pro rok 1999 je označen „L6–2–2–1999“, kombinace skleníku *M9* s 3 panely a 3 bateriemi v roce 1999 je označen „M9–3–3–1999“ atd.

Okrajové podmínky

Výpočet je nastaven tak, že kapacita baterií je začátkem každého roku vždy nulová. To nemusí být u délce provozovaného systému pravda, pro konzervativnost modelu je to nicméně vhodné.

Konfigurace pro skleník *Limes Variant L6*

Pro nejmenší z vybraných skleníků, *Limes Variant L6*, jehož půdorysná plocha činí 18,2 m², je poměr plochy ku *Experimentálnímu skleníku* 1,17.

Průměrná spotřeba je proto poměrem 1,17 vynásobena, hodnota denní průměrné spotřeby tak je 23,3 kJ/hod a noční 22,2 kJ/hod.

Bezpečnostní limit kapacity baterií je také zvýšen poměrem 1,17. To je 8,75 Ah nebo 35 % jedné baterie; 17 % dvou baterií a 12 % tří baterií.

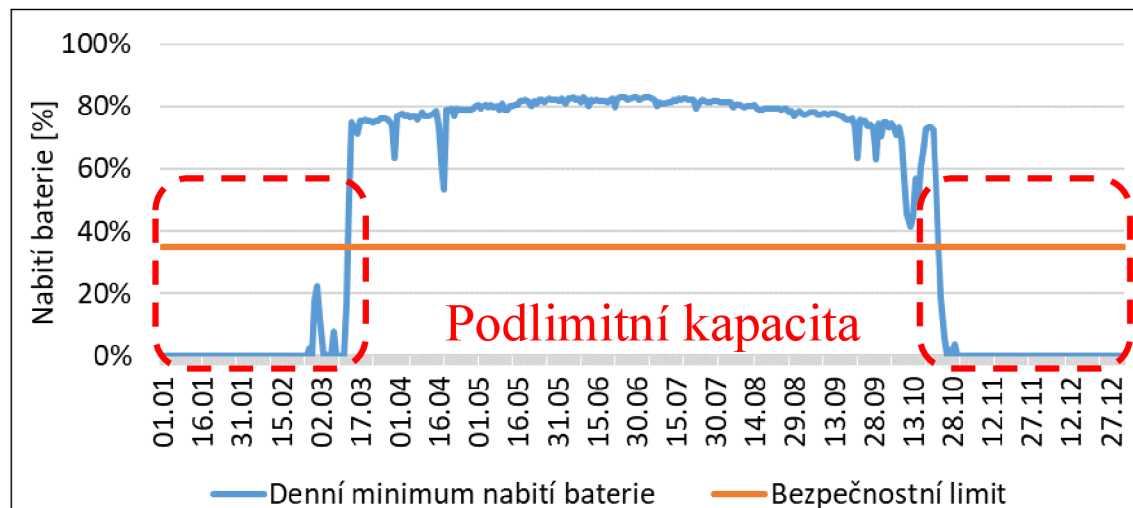
Bilanční výpočet PV panelů pro konfiguraci L6–1–1–1999 je ukázán v Tab. 8 a na Obr. 46, konfiguraci L6–2–2–1999 ukazuje Tab. 9 a Obr. 47; konfiguraci L6–3–3–1999 pak ukazuje Tab. 10 a Obr. 48.

Na příkladu Tab. 8 a Obr. 46 pro konfiguraci L6-1-1-1999 budou komentovány průběhy denních minim kapacit baterií a jejich příslušnou vzdálenost k bezpečnostnímu limitu a nulové kapacitě. Dále jsou zde pro jednotlivé rozmezí měsíců uvedeny počty hodin, ve kterých ve výpočtu došlo k podkročení bezpečnostního limitu nebo dosažení nulové kapacity.

Podlimitní kapacita je na Obr. 46 červeně vyznačena a je převážně v málo slunečných měsících, v 1., 2., 11. a 12. To ilustrují právě hodnoty v Tab. 8, kde jsou pro uvažované měsíce uvedeny počty hodin s podlimitní kapacitou. Pro celý rok je v bilančním výpočtu 3325 hodinových intervalů pod bezpečnostním limitem, 1771 hodin pak vychází s nulovou kapacitou, v 2. až 11. měsíci je to 1813 hodin pod limitem a 735 hodin na nulové kapacitě atd. V hlavní zahrádkářské sezóně, tedy přibližně v 3. až 10. měsíci je podlimitních hodin už jenom 442, pro 4. až 9. měsíc nejsou žádné. Tím by měla být získána základní představa o fungování systému v průběhu roku. Na základě požadavků na provoz skleníku může být volena varianta, která nabízí dobrý kompromis mezi investičními náklady na pořízení více PV panelů a baterií a počtem hodin, kdy v bateriích nebude dostatek energie pro provoz – nastane blackout.

Pro konfiguraci L6-2-2-1999 dochází k rozšíření oblasti nad bezpečnostním limitem, pro L6-3-3-1999 dokonce není ke konci roku kapacita vyčerpána vůbec a lze tak očekávat, že by byla vhodná pro celoroční provoz.

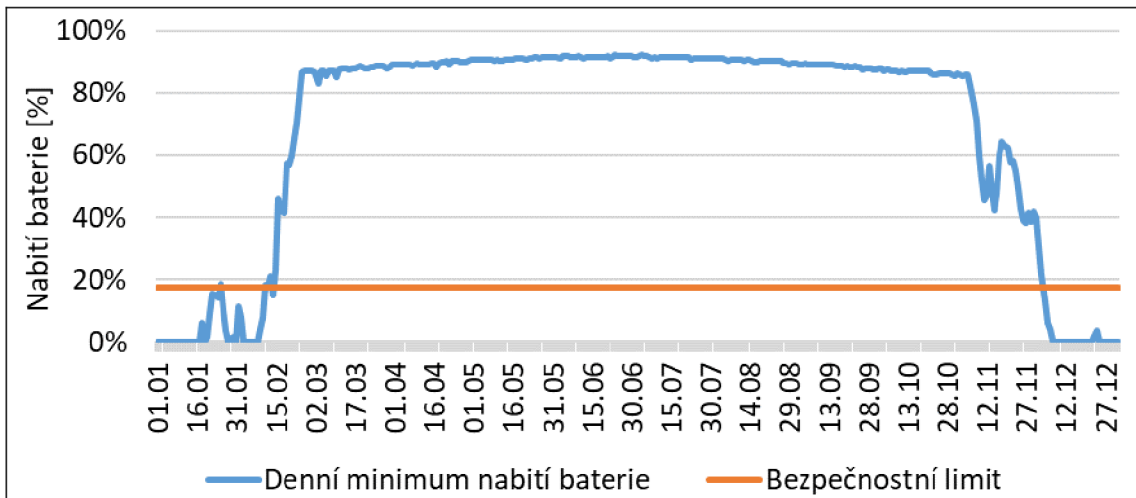
Tab. 8 Výsledky bilančního výpočtu PV systému v konfiguraci L6-1-1-1999



Obr. 46 Průběh min. denních kapacit u PV systému v konfiguraci L6-1-1-1999 s vyznačenými podlimitními kapacitami

Rok	1999	Počet hodin s podlimitní kapacitou			
Uvažované měsíce	Celý rok	2-11	3-10	4-9	
Kapacita < 35 %; Celk. kap 25 Ah	3325	1813	442	0	
Kapacita = 0 %	1771	735	48	0	

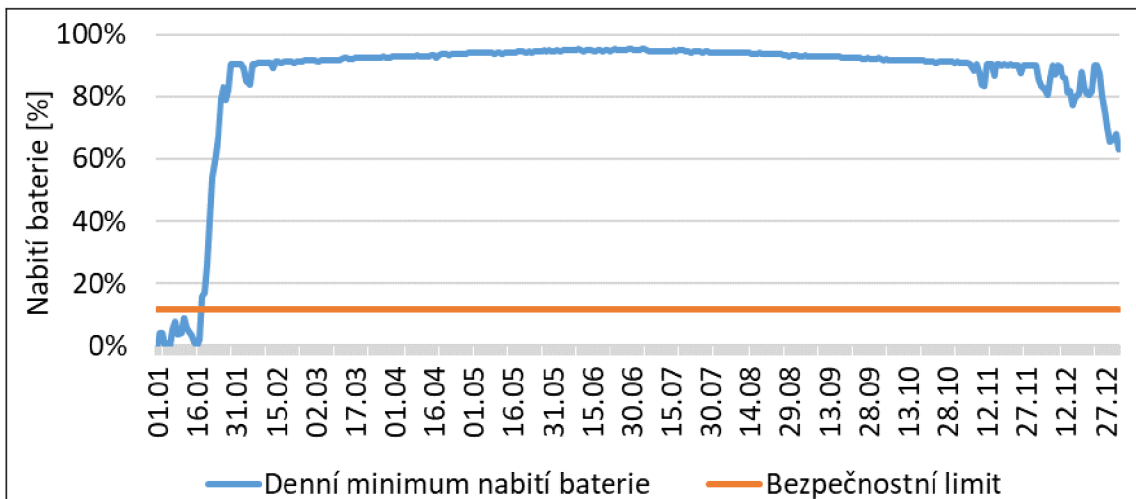
Tab. 9 Výsledky bilančního výpočtu PV systému v konfiguraci L6-2-2-1999



Obr. 47 Průběh min. denních kapacit u PV systému v konfiguraci L6-2-2-1999

Rok	1999	Počet hodin s podlimitní kapacitou			
Uvažované měsíce		Celý rok	2-11	3-10	4-9
Kapacita < 17 %; Celk. kap 50 Ah		1489	208	0	0
Kapacita = 0 %		409	30	0	0

Tab. 10 Výsledky bilančního výpočtu PV systému v konfiguraci L6-3-3-1999



Obr. 48 Průběh min. denních kapacit u PV systému v konfiguraci L6-3-3-1999

Rok	1999	Počet hodin s podlimitní kapacitou			
Uvažované měsíce		Celý rok	2-11	3-10	4-9
Kapacita < 12 %; Celk. kap 75 Ah		302	0	0	0
Kapacita = 0 %		17	0	0	0

Konfigurace pro skleníků Limes Variant K8

Pro druhý z vybraných skleníků, *Limes Variant K8*, jehož půdorysná plocha činí 22,2 m², je poměr plochy ku *Experimentálnímu skleníku* 1,42.

Průměrná spotřeba je proto poměrem 1,42 vynásobena, hodnota denní průměrné spotřeby tak je 28,4 kJ/hod a noční 27,0 kJ/hod.

Bezpečnostní limit kapacity baterií je také zvýšen poměrem 1,42. To je 10,65 Ah nebo 43 % jedné baterie; 21 % dvou baterií a 14 % tří baterií.

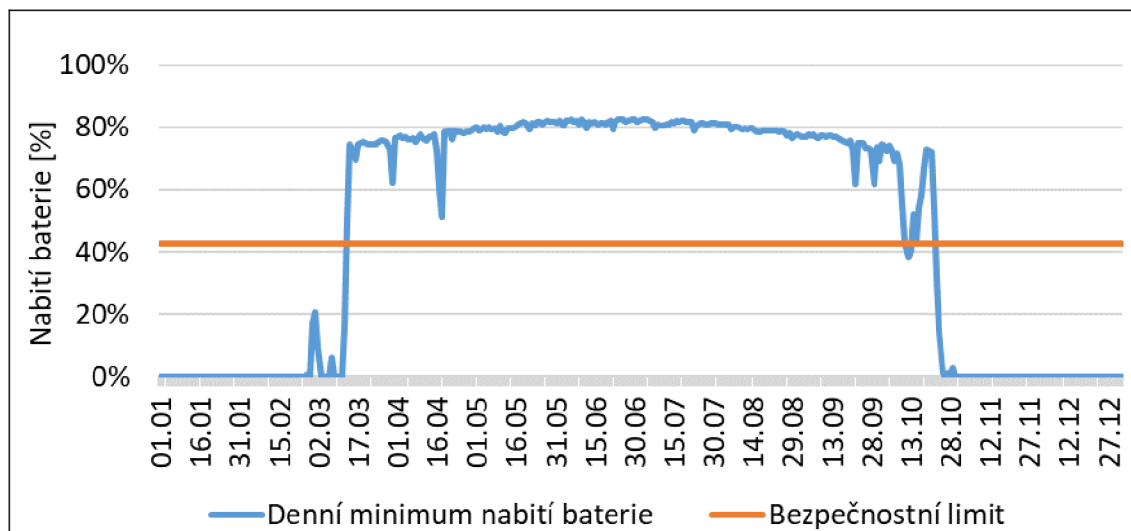
Bilanční výpočet PV panelů pro konfiguraci K8-1-1-1999 je ukázán v Tab. 11 a na Obr. 49, konfiguraci K8-2-2-1999 ukazuje Tab. 12 a Obr. 50; konfiguraci K8-3-3-1999 pak ukazuje Tab. 13 a Obr. 51.

V konfiguraci K8-1-1-1999 je kapacita baterie s 475 podlimitními hodinami poměrně uspokojivá i v rámci 3. až 10. měsíce, mimo tuto dobu už je ale nedostačující.

U K8-2-2-1999 je situace výrazně lepší, v rámci 3. až 10. měsíce není žádná podlimitní hodina a v 2. až 11. měsíci jich je pouze 256.

U řešení K8-3-3-1999 lze opět díky vysoké kapacitě baterií a ploše panelů vysokou kapacitu i do konce roku a lze očekávat celoroční provoz s minimem blackoutů.

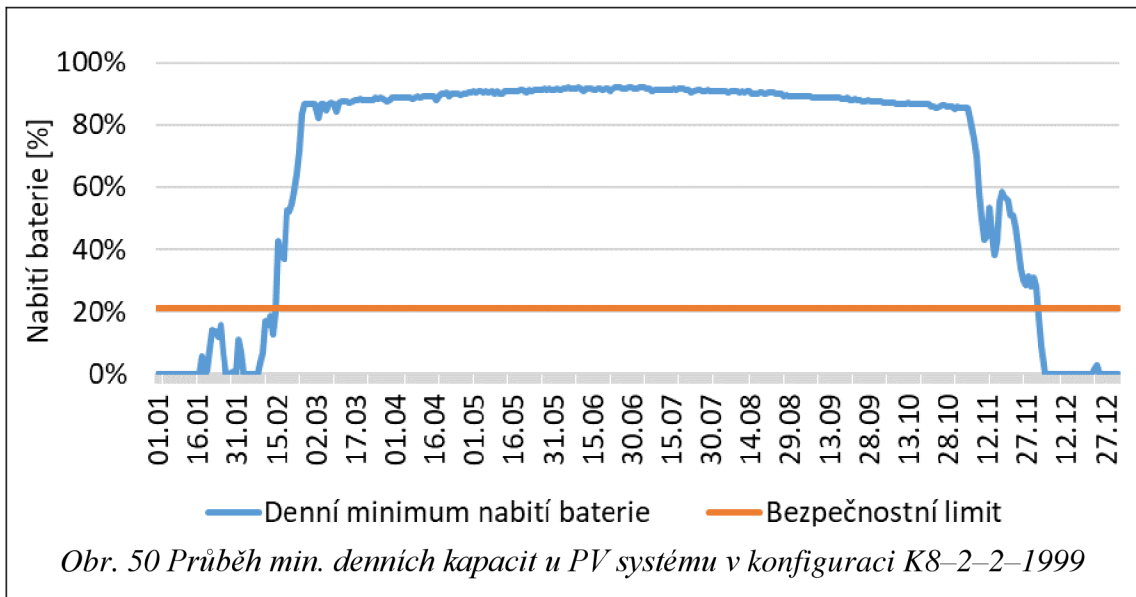
Tab. 11 Výsledky bilančního výpočtu PV systému v konfiguraci K8-1-1-1999



Obr. 49 Průběh min. denních kapacit u PV systému v konfiguraci K8-1-1-1999

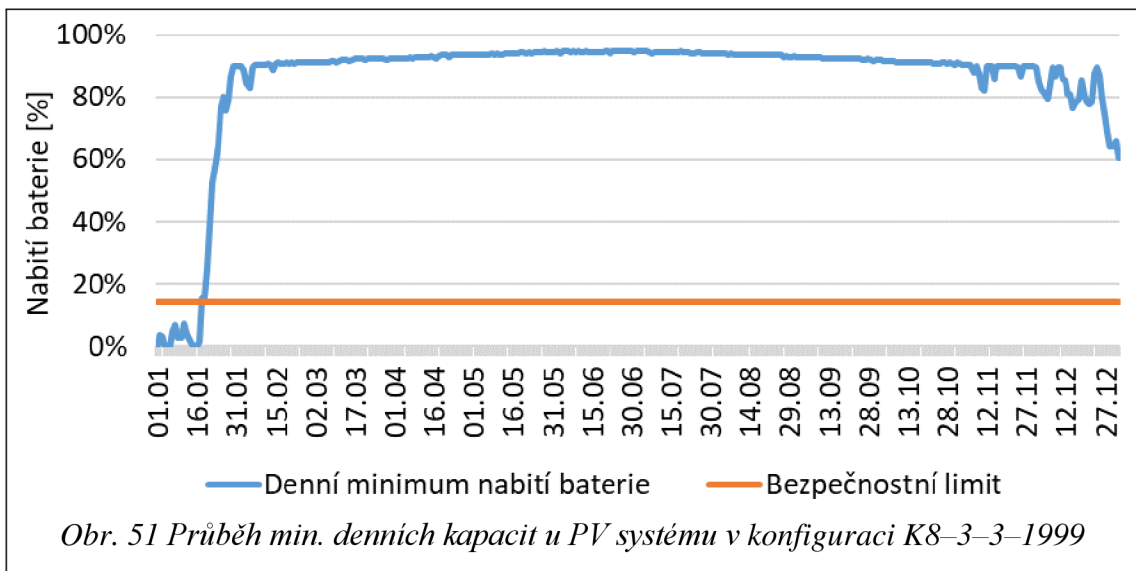
Rok	1999	Počet hodin s podlimitní kapacitou			
Uvažované měsíce		Celý rok	2-11	3-10	4-9
Kapacita < 43 %; Celk. kap 25 Ah		3372	1860	475	0
Kapacita = 0 %		1811	763	59	0

Tab. 12 Výsledky bilančního výpočtu PV systému v konfiguraci K8-2-2-1999



Rok	1999	Počet hodin s podlimitní kapacitou		
Uvažované měsíce	Celý rok	2-11	3-10	4-9
Kapacita < 21 %; Celk. kap 50 Ah	1656	256	0	0
Kapacita = 0 %	450	32	0	0

Tab. 13 Výsledky bilančního výpočtu PV systému v konfiguraci K8-3-3-1999



Rok	1999	Počet hodin s podlimitní kapacitou		
Uvažované měsíce	Celý rok	2-11	3-10	4-9
Kapacita < 14 %; Celk. kap 75 Ah	372	0	0	0
Kapacita = 0 %	26	0	0	0

Konfigurace pro skleníků Limes Variant M9

Pro největší z vybraných skleníků, *Limes Variant M9*, jehož půdorysná plocha činí 38,2 m², je poměr plochy ku *Experimentálnímu skleníku 2,45*.

Průměrná spotřeba je proto poměrem 2,45 vynásobena, hodnota denní průměrné spotřeby tak je 49,0 kJ/hod a noční 46,6 kJ/hod.

Bezpečnostní limit kapacity baterií je také zvýšen poměrem 2,45. To je 18,38 Ah nebo 73 % jedné baterie; 37 % dvou baterií a 24 % tří baterií.

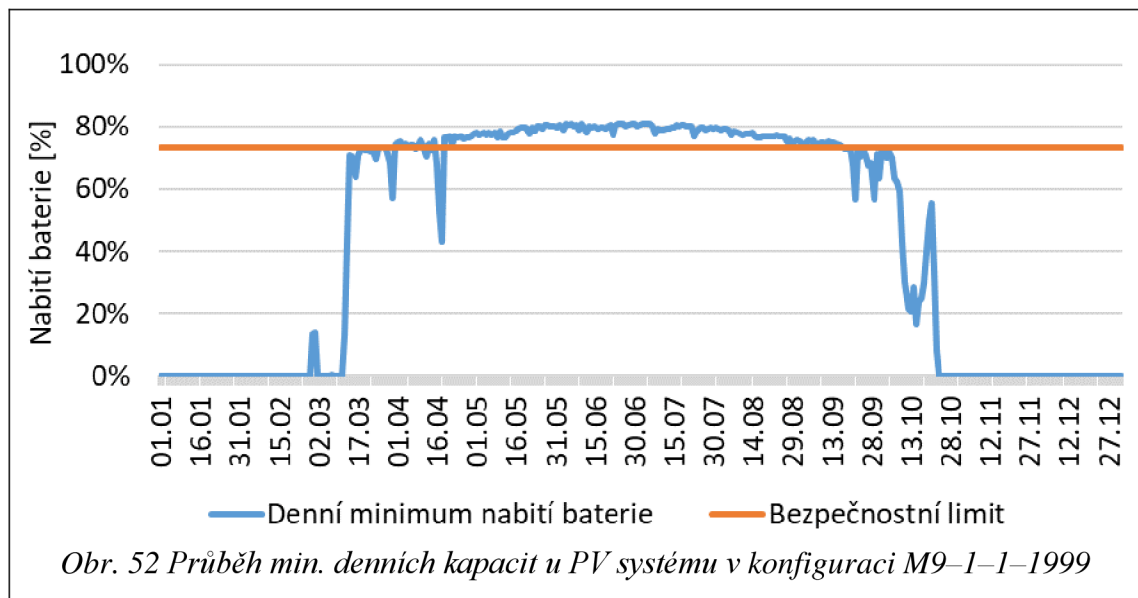
Bilanční výpočet PV panelů pro konfiguraci M9-1-1-1999 je ukázán v Tab. 14 a na Obr. 52, konfiguraci M9-2-2-1999 ukazuje Tab. 15 a Obr. 53; konfiguraci M9-3-3-1999 pak ukazuje Tab. 16 a Obr. 54.

Ve variantě M9-1-1-1999 se na bilanci jako celku ukazuje možná nevýhoda přístupu s bezpečnostním limitem, který činí asi 73 % baterií a blackouty už by dle výpočtu mohly v malé míře nastat i v 4. až 9. měsíci.

U konfigurace M9-2-2-1999 je bezporuchová doba provozu vypočtena v 3. až 10. měsíci, v 2. až 11. je již poměrně hodně podlimitních hodin.

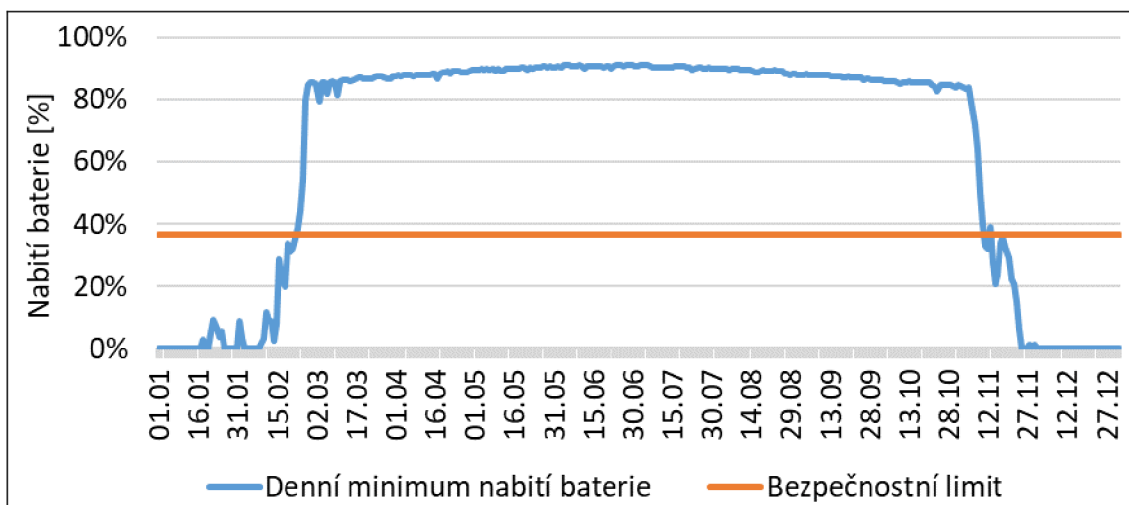
U M9-3-3-1999 je systém opět velmi robustní, na konci roku má zbylou kapacitu baterie, která by mohla postačit do dalšího jara.

Tab. 14 Výsledky bilančního výpočtu PV systému v konfiguraci M9-1-1-1999



Rok	1999	Počet hodin s podlimitní kapacitou		
Uvažované měsíce	Celý rok	2-11	3-10	4-9
Kapacita < 73 %; Celk. kap 25 Ah	3930	2418	1026	99
Kapacita = 0 %	1935	854	104	0

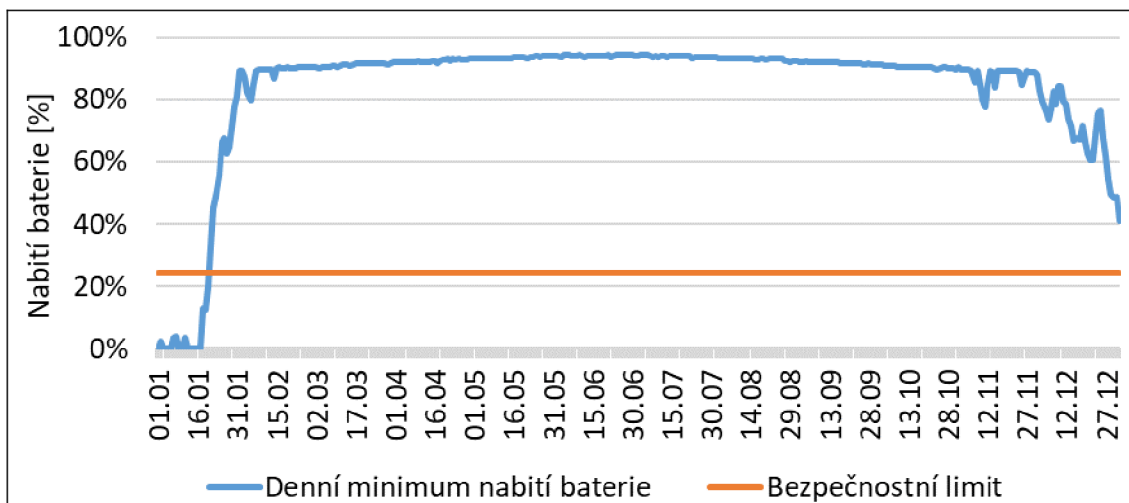
Tab. 15 Výsledky bilančního výpočtu PV systému v konfiguraci M9-2-2-1999



Obr. 53 Průběh min. denních kapacit u PV systému v konfiguraci M9-2-2-1999

Rok	1999	Počet hodin s podlimitní kapacitou			
Uvažované měsíce		Celý rok	2-11	3-10	4-9
Kapacita < 37 %; Celk. kap 50 Ah		2267	755	0	0
Kapacita = 0 %		607	66	0	0

Tab. 16 Výsledky bilančního výpočtu PV systému v konfiguraci M9-3-3-1999



Obr. 54 Průběh min. denních kapacit u PV systému v konfiguraci M9-3-3-1999

Rok	1999	Počet hodin s podlimitní kapacitou			
Uvažované měsíce		Celý rok	2-11	3-10	4-9
Kapacita < 24 %; Celk. kap 75 Ah		452	0	0	0
Kapacita = 0 %		57	0	0	0

3.9.2 Posouzení závlahového systému pro extrapolovaná data

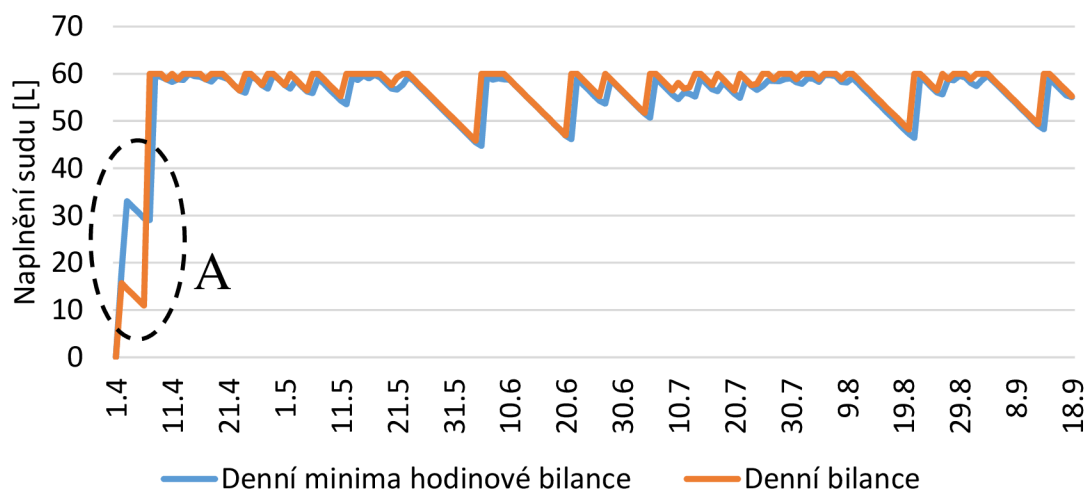
Podobně jako u posouzení PV systému je i v případě závlahového systému zvoleným modelem průměrná hodnota spotřeby, konkrétně se ale z důvodu nedostupnosti hodinových historických dat jedná o denní průměr. Průměrná denní spotřeba vody pro *Experimentální skleník* činí 0,95 l, což mimo jiné ukazuje na poměrně efektivní způsob závlahy (pro skleníky Limes je spotřeba upravena dle poměru plochy (viz. Tab. 7)).

Provoz závlahového systému

Spotřeba vody nebyla zaznamenávána po celý rok, extrapolace mimo měřené období je tak pouze předpokladem chování. V zimních měsících spotřeba vody nebude pravděpodobně žádná, navíc hrozí riziko zničení systému zamrznutím. Z tohoto důvodu je na rozdíl od PV systému uvažován provoz závlahového systému od 1. 4. do 30. 11.

Bezpečnostní limit

Na Obr. 55 je ukázáno porovnání bilančních výpočtů závlahového systému s použitím hodinových a denních dat u *Experimentálního skleníku*, ze kterého je zřejmé, že jsou výsledky většiny dní téměř totožné. Největší rozdíl je zvýrazněn v oblasti A, kde necelých 20 litrů. Proto byl opět zaveden bezpečnostní limit, tentokrát stanoven jako 40 L (je vhodné udržovat v sudu minimální hladinu kvůli sání čerpadla a akumulaci nečistot).



Obr. 55 Porovnání bilančních výpočtů závlahového systému s použitím hodinových a denních dat u *Experimentálního skleníku* (sud 60 l)

Historická data úhrnu srážek a možné kombinace bilančního výpočtu

Pro výpočet byla použita historická data z webu ČHMÚ [14] v lokalitě Ústí nad Orlicí (město relativně blízké sídlu společnosti *Limes*). Denní data jsou pro tuto lokalitu dostupná od roku 1961 po rok 2023, ze kterých byl z důvodu sucha zvolen rok 2015 [39].

U výpočtu jsou uvažovány 3 skleníky *Limes* a 4 sudy (60, 100, 150 a 200 l). To znamená 12 kombinací. Pro ukázkou výsledků byl vynechán sud kapacity 150 l, tedy 9 kombinací.

Označení konfigurace „typ skleníku – kapacita sudu – rok“

Pro vyhodnocení různých kombinací je zavedeno označení konfigurací ve stylu „typ skleníku – kapacita sudu – rok“, např. kombinace skleníku L6 se sudem 100 l pro rok 2015 je označena „L6–100L–2015“, kombinace skleníku M9 se sudem 60 l v roce 2015 je označena „M9–60L–2015“ atd.

Okrajové podmínky

Výpočet je nastaven tak, že kapacita sudu 1. 4. každého roku nulová, což odpovídá realitě zprovoznění, pokud není voda na začátku sezóny dodána externě.

Konfigurace pro skleník Limes Variant L6

Pro nejmenší z vybraných skleníků, Limes Variant L6, jehož půdorysná plocha činí 18,2 m², je poměr plochy ku Experimentálnímu skleníku 1,17.

Průměrná spotřeba vody je proto poměrem 1,17 vynásobena a činí 1,11 l.

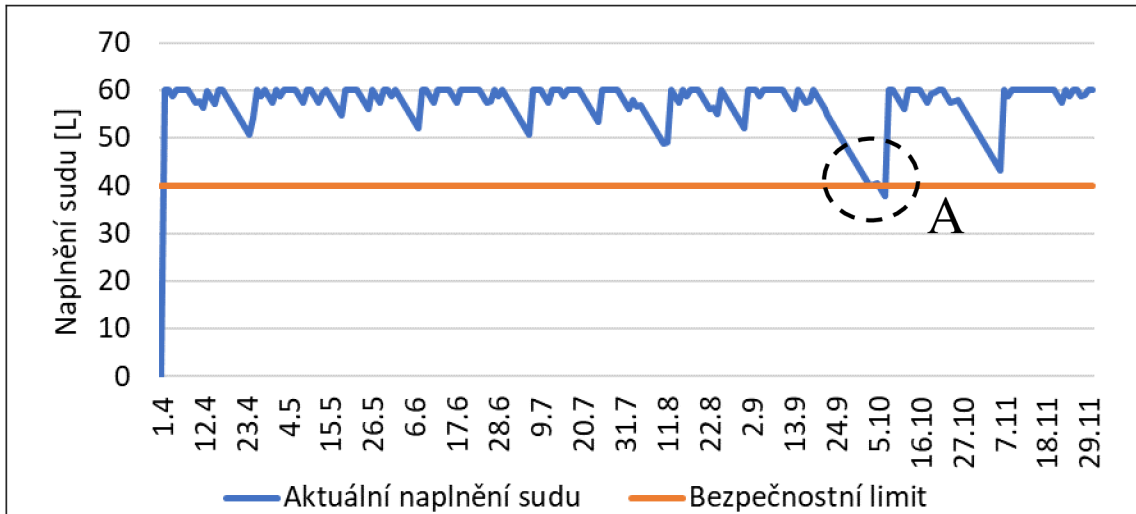
Bezpečnostní limit kapacity sudu je pro tento i ostatní skleníky ponechán na 40 l, s přihlédnutím k tomu, že na Obr. 55 se naplnění sudu liší nejvíce hlavně v období plnění a že je pro zisk bezpečnostního limitu max. rozdíl zvýšen více než 2krát.

Bilanční výpočet závlahového systému pro konfiguraci L6–60L–2015 je ukázán v Tab. 17 a na Obr. 56; konfiguraci L6–100L–2015 ukazuje Tab. 18 a na Obr. 57; konfiguraci L6–200L–2015 Tab. 19 a na Obr. 58.

Jak lze vidět v Tab. 17 a na Obr. 56 pro konfiguraci L6–60L–2015, je zde jedno místo, zvýrazněné jako oblast A, kde došlo ke krátkému podkročení bezpečnostní kapacity. Počet dní, kdy je systém pod tímto limitem, je 4, z čehož 1 den je 1. 4. a je ve výsledku vždy. Tomu odpovídá 43 litrů vody (40 z nich je opět z 1. dne, v oblasti A by bylo třeba doplnit 3 litry), které by bylo třeba při nejhorším scénáři doplnit, reálná hodnota by ale byla pravděpodobně výrazně nižší. Lze vidět, že většinu provozu se kapacita sudu drží v blízkosti 100 %.

U variant L6–100L–2015 a L6–200L–2015 se kapacita v žádném z dní po počáteční periodě plnění nepřibližuje bezpečnostnímu limitu a dle výpočtu se zdají pro tento menší skleník více než dostatečné.

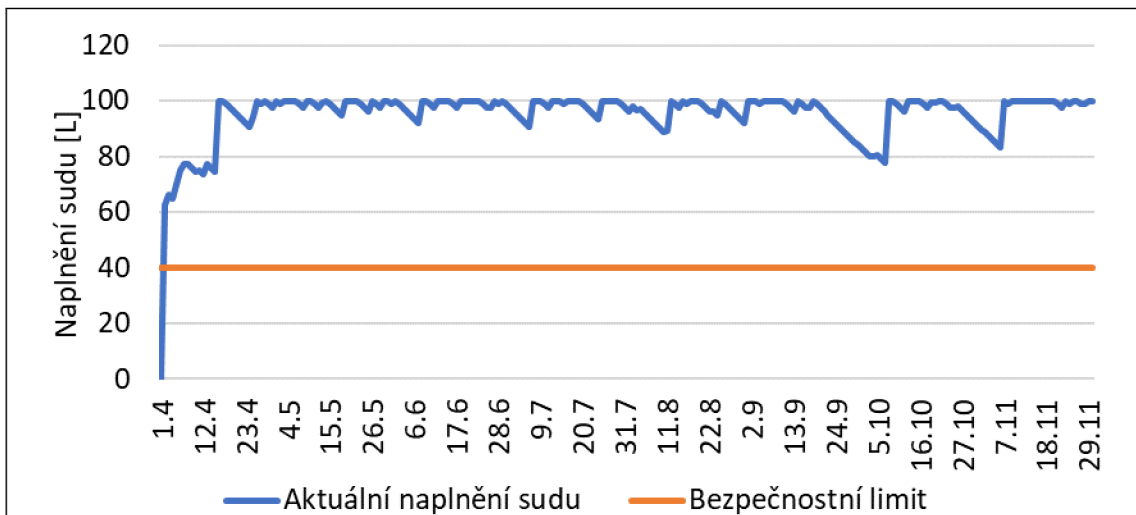
Tab. 17 Výsledky bilančního výpočtu závlahového systému v konfiguraci L6–60L–2015



Obr. 56 Průběh denních kapacit u závlahového systému v konfiguraci L6–60L–2015 s vyznačením podlimitní kapacity

Rok	2015	Podlimitní kapacita	
		Počet dní	Potřebné litry vody
Kapacita < 40 L		4	43

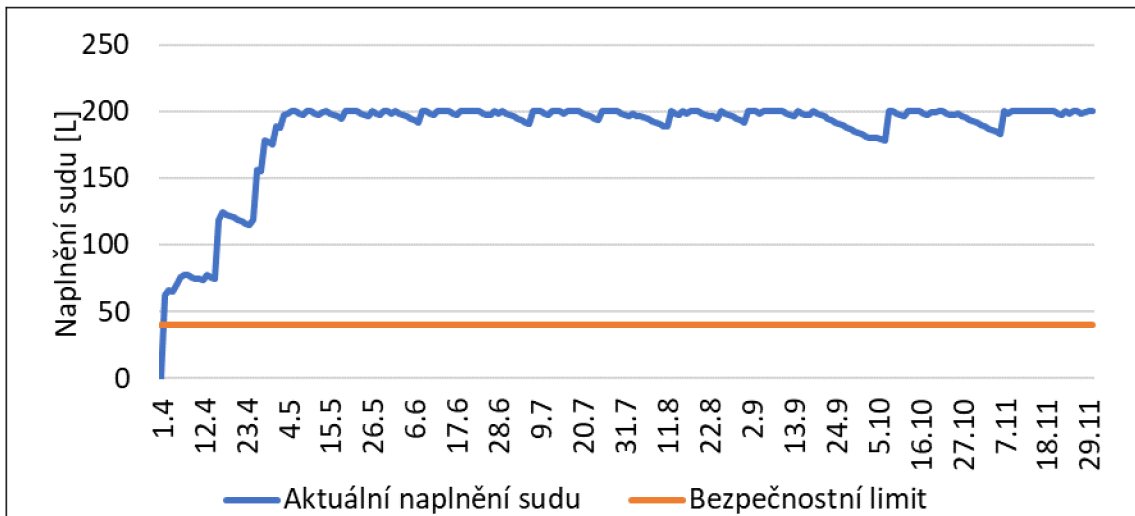
Tab. 18 Výsledky bilančního výpočtu závlahového systému v konfiguraci L6–100L–2015



Obr. 57 Průběh denních kapacit u závlahového systému v konfiguraci L6–100L–2015

Rok	2015	Podlimitní kapacita	
		Počet dní	Potřebné litry vody
Kapacita < 40 L		1	40

Tab. 19 Výsledky bilančního výpočtu závlahového systému v konfiguraci L6–200L–2015



Obr. 58 Průběh denních kapacit u závlahového systému v konfiguraci L6–200L–2015

Rok	2015	Podlimitní kapacita	
		Počet dní	Potřebné litry vody
Kapacita < 40 L		1	40

Konfigurace pro skleník Limes Variant K8

Pro druhý z vybraných skleníků, *Limes Variant K8*, jehož půdorysná plocha činí 22,2 m², je poměr plochy ku *Experimentálnímu skleníku* 1,42.

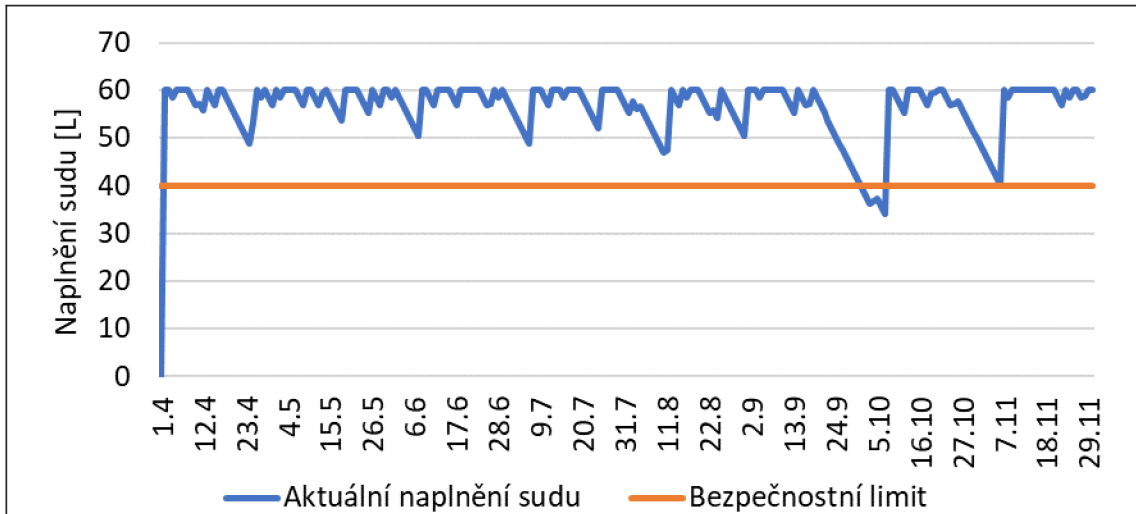
Průměrná spotřeba vody je proto poměrem 1,42 vynásobena a činí 1,35 l.

Bilanční výpočet závlahového systému pro konfiguraci K8–60L–2015 je ukázán v Tab. 21 a na Obr. 59; konfiguraci K8–100L–2015 ukazuje Tab. 22 a na Obr. 60; konfiguraci K8–200L–2015 Tab. 23 a na Obr. 61.

V konfiguraci K8–60L–2015 lze vidět pokles pod bezpečnostní hranici kolem 5. 10., což by nutně nemuselo znamenat vyřazení z provozu, ale například možné přepnutí do „úsporného režimu“. Jedná se zde o teoretické doplnění 63 litrů, z čehož 40 litrů připadá na období plnění, což je záležitost několika konví s vodou, které je třeba do sudu doplnit externě.

Kapacita se u variant K8–100L–2015 a K8–200L–2015 po počátečním plnění ani v jednom dni nepřibližuje bezpečnostnímu limitu a podle výpočtů jsou pro tento střední skleník pravděpodobně dostatečné.

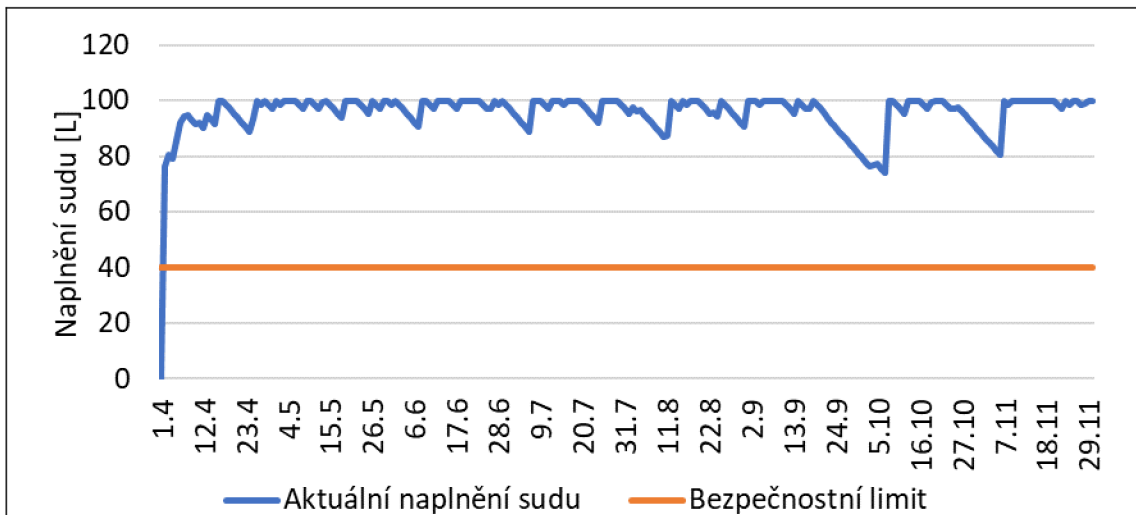
Tab. 20 Výsledky bilančního výpočtu závlahového systému v konfiguraci K8–60L–2015



Obr. 59 Průběh denních kapacit u závlahového systému v konfiguraci K8–60L–2015

Rok	2015	Podlimitní kapacita	
		Počet dní	Potřebné litry vody
Kapacita < 40 L		8	63

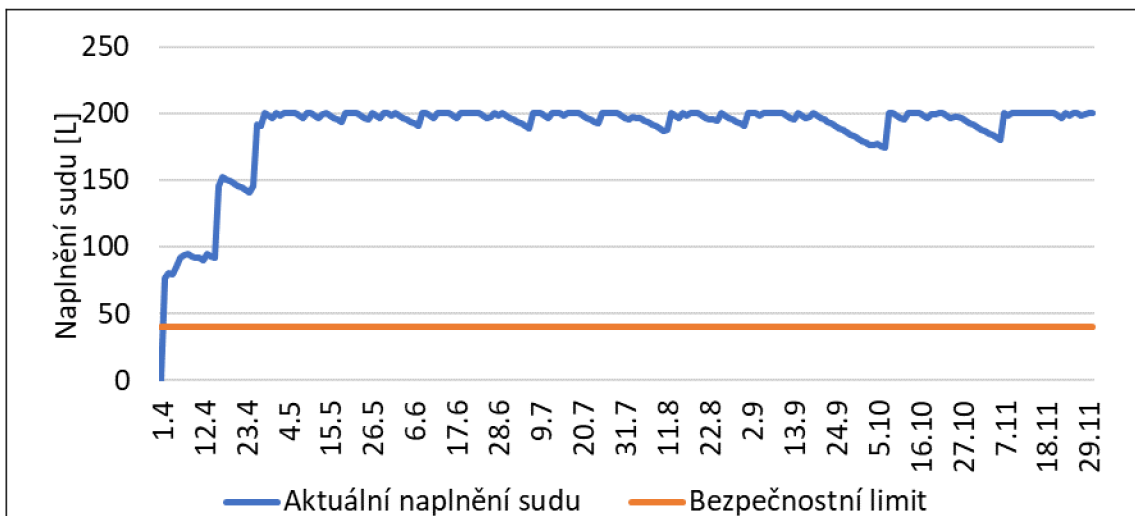
Tab. 21 Výsledky bilančního výpočtu závlahového systému v konfiguraci K8–100L–2015



Obr. 60 Průběh denních kapacit u závlahového systému v konfiguraci K8–100L–2015

Rok	2015	Podlimitní kapacita	
		Počet dní	Potřebné litry vody
Kapacita < 40 L		1	40

Tab. 22 Výsledky bilančního výpočtu závlahového systému v konfiguraci K8–200L–2015



Obr. 61 Průběh denních kapacit u závlahového systému v konfiguraci K8–200L–2015

Rok	2015	Podlimitní kapacita	
		Počet dní	Potřebné litry vody
Kapacita < 40 L		1	40

Konfigurace pro skleníků Limes Variant M9

Pro největší z vybraných skleníků, *Limes Variant M9*, jehož půdorysná plocha činí 38,2 m², je poměr plochy ku *Experimentálnímu skleníku 2,45*.

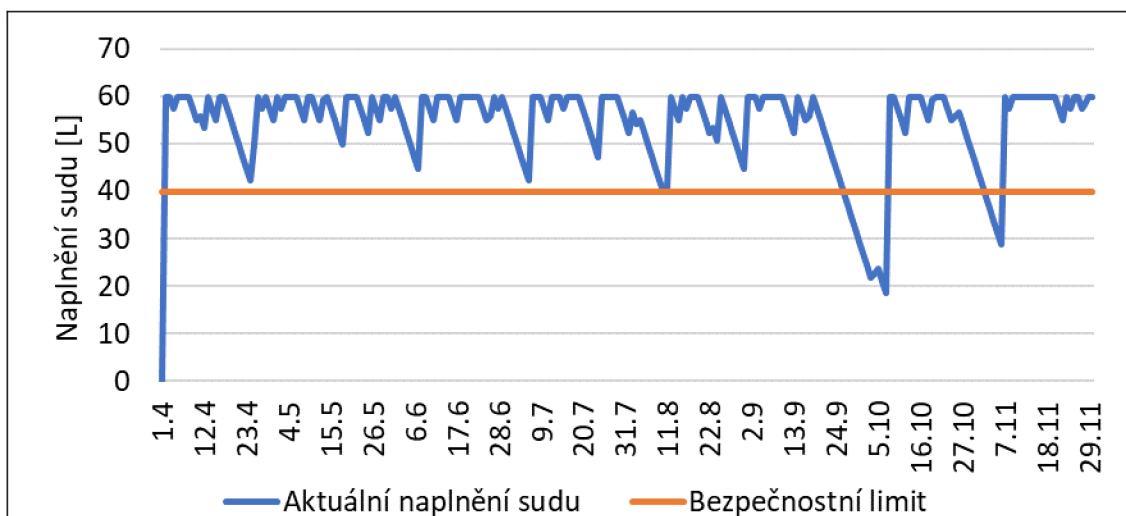
Průměrná spotřeba vody je proto poměrem 1,42 vynásobena a činí 1,35 l.

Bilanční výpočet závlahového systému pro konfiguraci M9–60L–2015 je ukázán v Tab. 23 a na Obr. 62; konfiguraci M9–100L–2015 ukazuje Tab. 24 a na Obr. 63; konfiguraci M9–200L–2015 Tab. 25 a na Obr. 64.

U varianty M9–60L–2015 lze pozorovat výrazný pokles kapacity kolem 10. 5. a 7. 11., kde by v nejhorším případě bylo třeba doplnit 219 litrů vody (z čehož 40 při prvotním plnění), zde už by se v případě donášení vody v konvi jednalo o poměrně časté doplňování.

U konfigurací M9–100L–2015 a M9–200L–2015 tento problém již není přítomen a opět je kapacita nad bezpečnostním limitem.

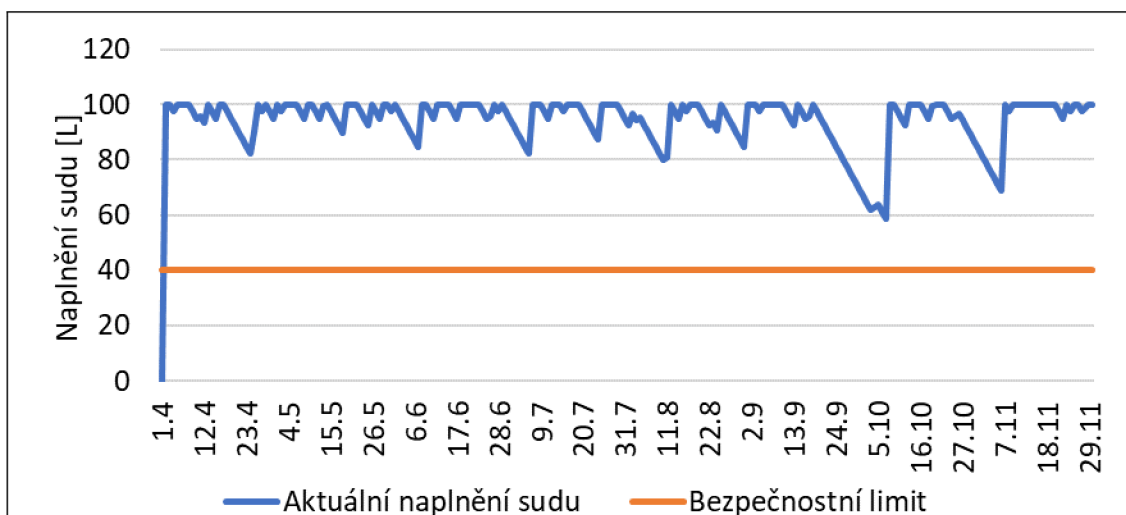
Tab. 23 Výsledky bilančního výpočtu závlahového systému v konfiguraci M9–60L–2015



Obr. 62 Průběh denních kapacit u závlahového systému v konfiguraci M9–60L–2015

Rok	2015	Podlimitní kapacita	
		Počet dní	Potřebné litry vody
Kapacita < 40 L		19	219

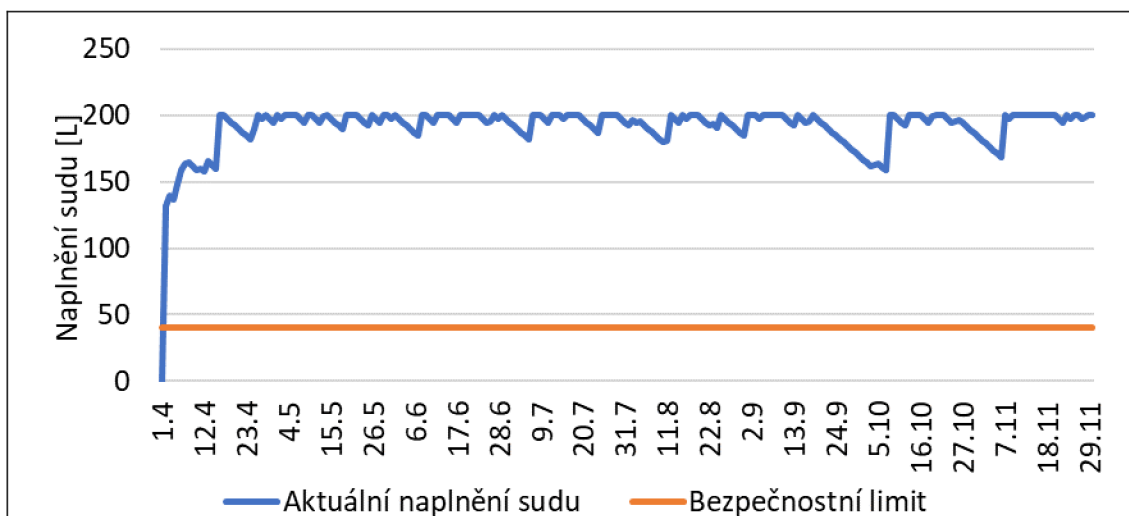
Tab. 24 Výsledky bilančního výpočtu závlahového systému v konfiguraci M9–100L–2015



Obr. 63 Průběh denních kapacit u závlahového systému v konfiguraci M9–100L–2015

Rok	2015	Podlimitní kapacita	
		Počet dní	Potřebné litry vody
Kapacita < 40 L		1	40

Tab. 25 Výsledky bilančního výpočtu závlahového systému v konfiguraci M9–200L–2015



Obr. 64 Průběh denních kapacit u závlahového systému v konfiguraci M9–200L–2015

Rok	2015	Podlimitní kapacita	
		Počet dní	Potřebné litry vody
Kapacita < 40 L		1	40

Závěr a diskuse výsledků

Získání konkrétní představy o možnostech proveditelnosti fotovoltaického a závlahového systému pro zahradní skleníky různých velikostí a různé spotřeby bylo cílem této diplomové práce a tohoto cíle bylo dosaženo. Z představených výsledků výpočtů provedených vytvořenými výpočtovými nástroji a z jejich vyhodnocení vyplývá, že vhodně navržená technologická řešení těchto systémů mají potenciál splnit očekávání zákazníka. Výsledky také ukazují, že implementace těchto systémů pro fungování zahradního skleníku v ostrovním režimu má potenciál a má tak smysl se dále zabývat ostatními důležitými aspekty, jako například ekonomickým zhodnocením technického provedení. Výsledky a poznatky dosažené v průběhu řešení této diplomové práce lze přehledně sumarizovat do následujících dílčích sdělení k jednotlivým oblastem řešené problematiky.

Výsledky a doporučení k fotovoltaickému systému

Na základě obdržených výsledků výpočtů lze konstatovat, že pro zahradní skleníky menších rozměrů, jakými je Experimentální skleník (15,6 m²) nebo skleník Limes Variant L6 (18,2 m²), je dostatečný systém s jedním fotovoltaickým panelem (1160x450 mm) a jednou baterií (25 Ah, 12 V). To platí hlavně za předpokladu poměrně běžné spotřeby elektrické energie (otevírání oken, provoz větráku, zalévání atd.) a při omezené funkci v zimních měsících. Při požadavku na náročnější provoz s vyšší spotřebou elektřiny (hydroponie nebo občasné vytápění) je možné zvážit přidání další baterie.

U středně velkých zahradních skleníků, jakým je Limes Variant K8 (22,2 m²), záleží při určování velikosti fotovoltaického systému na provozním režimu a v plánovaném období provozu. Pokud lze připustit možnost několika málo blackoutů na začátku a ke konci sezóny, pak lze s jedním panelem a jednou baterií takový skleník dobře provozovat v období mezi začátkem března a koncem října. V případě požadavku na delší bezporuchový provoz je nutné zvýšit počet panelů i baterií na dvě, pro ještě náročnější spotřebu elektřiny je na místě zařazení i třetí baterie.

U větších skleníků typu Limes Variant M9 (38,2 m²) by měly v základním provedení být panely i baterie dvě, pouze v případě úsporného režimu by bylo možné snížit jejich počet. Pro požadavek provozu po většinu roku by potom bylo na místě přidat třetí panel i baterii.

Výsledky a doporučení k závlahovému systému

V případě kapénkové závlahy je spotřeba vody i u větších zahradních skleníků poměrně nízká. Podle výsledků bilančních výpočtů by po většinu roku měl i větším skleníkům stačit pro bezporuchový provoz v celé sezóně sud o kapacitě 100 litrů, menším skleníkům i 60 litrů. S přihlédnutím k relativní nenáročnosti pořízení většího sudu a nezahrnutí méně efektivní manuální závlahy do bilančního modelu může být lepší volbou volit sudy spíše s vyšší kapacitou, např. 150 nebo 200 litrů. Zvýšená kapacita pak může být využita např. pro provoz hydroponického systému nebo i pro závlahu dalších rostlin i mimo zahradní skleníky.

Závěrečná diskuse vlivu uvažovaných zjednodušujících předpokladů

Výsledky bilančních výpočtů ukazují na slibný potenciál u technického řešení fotovoltaického a závlahového systému pro zahradní skleníky. Výsledky této práce mohou být použity jako základ pro další návazné studie, je ale třeba počítat se zjednodušujícími předpoklady, které jsou v rámci výpočtu uvažovány. Cílem následujících závěrečných odstavců je proto na ně upozornit a uvést možné alternativní přístupy k problematice a také doporučení pro investora.

Zjednodušení týkající se měření a spotřeby v Experimentálním skleníku

Měření spotřeby v *Experimentálním skleníku* probíhalo od 29.3 do 18. 9. 2023 v brněnském Jundrově, což není ideální z pohledu výpočtu opírajícího se o tato data k získání přehledu o chování systému po celý rok v celé ČR. Dobré by proto bylo měřit data v celém roce, aby mohl výpočet přesněji odrazit chování systému i v chladných měsících. Zároveň by bylo dobré, pro lepší porozumění chování v závislosti na lokalitě, provádět měření na více lokalitách ČR. Na druhou stranu je měřené období poměrně odpovídající sezóně, ve které jsou zahradní skleníky běžně provozovány. Pokud skleníky nejsou v mrazech vytápěny, není velké množství rostlin, které by v něm mohly být pěstovány. Závlahový systém musí být z důvodu ochrany před zamrznutím vyřazen z provozu, zároveň není třeba snižovat teplotu, proto i spotřeba elektřiny bude nižší než v hlavní sezóně.

Jak může označení „*Experimentální skleníky*“ napovídat, byl zřízen pro zkoušení nových systémů, jmenovitě hydroponie (která ale ve výpočtovém modelu není uvažována). Byl postaven v zimě 2022/2023 a na jaře 2023 postupně zprovozněn. Spotřeba elektřiny i vody tak v následujících letech provozu může být odlišná.

Zařízení pro řízení systému, *Chytrý skleníky* od Sensorie [3], je konstruováno pro fungování připojením k vnější elektrické síti a jeho celková spotřeba tak nebyla dosud optimalizována pro funkci v ostrovním režimu. Vlastní spotřeba zařízení nebyla v rámci měření sledována a ve výpočtu tak figuruje poměrně konzervativní model vlastní spotřeby a ztrát, který činí 5 W, což ve výpočtu představuje velkou část celkové spotřeby.

Ve skutečnosti je hodnota 5 W spíše špičkovou spotřebou při současné funkci více periférií a většinou je nižší [3]. Pro další pokračování studie by tak bylo vhodné blíže charakterizovat vlastní spotřebu elektřiny, nejlépe v závislosti právě na provozovaných perifériích pro možnost výpočtové změny velikosti zařízení.

Model spotřeby dešťové vody vychází z předpokladu, že bude závlaha rostlin realizována výhradně efektivní kapénkovou metodou a v této konfiguraci by měl i pro větší skleníky postačovat sud s kapacitou 100 litrů. Tento předpoklad by bylo vhodné v rámci další studie ověřit a případně doplnit právě o další metody závlahy. Kvůli relativně nižším nárokům na přesnost výpočtového modelu byly ztráty systému odhadem stanoveny přibližně jako čtvrtina denní spotřeby vody, s požadavkem na přesnější výsledky by bylo třeba je blíže kvantifikovat.

Zjednodušení výpočtového modelu výroby a akumulace elektrické energie

V bilančním výpočtu je s elektrickou energií počítáno ve zjednodušené formě, tedy jako výkon (W) a energie (J), přičemž není uvažován vliv nutnosti minimálního napětí v systému a detailně nejsou zkoumány ani různé formy ztrát energie (měniče proudu nebo ztráty v bateriích). Předpokladem je, že tyto ztráty jsou zahrnuty právě ve vlastní spotřebě zařízení diskutované výše.

Množství elektrické energie, kterou lze v danou chvíli získat z fotovoltaického panelu, závisí na řadě proměnlivých faktorů. Celkový výkon ovlivňuje aktuální množství slunečního záření dopadajícího na panel, orientace plochy panelu k dopadajícímu záření, teplota panelu, technologie fotovoltaického článku atd. Uvážení všech těchto vlivů je ve výpočtu zjednodušeno na celkovou převodní účinnost 10 % mezi globálním zářením a vyrobenou elektřinou. Stanovení této hodnoty je blíže popsáno v kapitolách 1.1.2, 1.2.3 a 3.1 a opírá se o způsoby výpočtu uvedené ve zdrojích [31; 32; 33].

U baterií je uvažováno 100 % možného využití kapacity baterie, což ve skutečnosti nebude úplně pravda. Při následném uplatnění poznatků této práce proto bude vhodné konzultovat reálnou kapacitu baterie vzhledem k vybrané technologii. Výběr technologie bateriového uložení pak bude ovlivňovat ekonomickou rozvahu, která bude muset zohlednit investiční a provozní náklady a životnost.

Problematika nejistot u extrapolace dat

Kapitola 3.9 se věnuje otázce rozšíření výpočtového modelu a získaných výsledků i na jiné roky, lokality ČR a skleníky z nabídky *Limes* [2]. Výpočet byl tak zatížen řadou nejistot, jež bylo snahou pokrýt *bezpečnostními limity*. Tyto nejistoty by bylo možné snížit již výše zmíněným dlouhodobějším měřením spotřeby, ideálně na více sklenících v různých lokalitách.

Možný výstup pro investora

Ze závěrů a výsledků této práce může být pro potenciálního investora zajímavá možnost odstupňování variant pro zákazníky do několika „balíčků“. Například pro menší skleníky, jako je třeba *Limes Variant L6* apod., lze nabízet „ekonomickou“ variantu systému – jeden panel a baterii a sud do 100 litrů se základním řízením. Pro střední třídu skleníků potom lze například nabízet prodloužení pěstební sezóny s více panely/bateriemi anebo využití více spotřebičů. A pro velké zahradní skleníky lze zákazníkům nabídnout „prémiovou“ verzi, která může zajistit téměř celoroční provoz skleníku i s možností provozu nadstandardních spotřebičů typu hydroponie.

Vhodná integrace předmětných technologií do konstrukce skleníků *Limes* může neméně významně přispět k atraktivitě řešení a odlišení produktu od konkurence a faktor atraktivity pro zákazníky lze zahrnout i do ekonomické rozvahy.

Seznam použitých zdrojů

- [1] ŠPLÍCHAL, Jan. *Výběr systému solárního ohřevu vody pro zahradní skleníky*. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2022.
- [2] LIMES LITOMYŠL s.r.o. [online]. 2024 [cit. 2024-05-08]. Dostupné z: <https://limes.cz/cs>
- [3] Sensorie [online]. 2023 [cit. 2023-11-20]. Dostupné z: <https://sensorie.cz/>
- [4] LightX [online]. 2024 [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: <https://www.lightxeditor.com/>
- [5] MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMEŠ. *Fotovoltaika, elektřina ze slunce*. Brno: ERA, 2007. 21. století. ISBN 978-80-7366-100-7.
- [6] PŘÍSPĚVATELÉ WIKISKRIPT. Fotoelektrický jev. *WikiSkripta* [online]. 2023 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Fotoelektrick%C3%BD_jev
- [7] Explain PN junction. *Specbee.net* [online]. 2022 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://specbee.net/explain-pn-junction/>
- [8] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [9] EVA (ethylene vinyl acetate) Film: composition and application. *SINO VOLTAICS* [online]. 2024 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://sinovoltaics.com/learning-center/materials/ethylene-vinyl-acetate-eva-film-composition-and-application/>
- [10] KRUPA, Tomáš. *Vícezdrojový záložní napájecí systém s fotovoltaickým panelem řízený mikrokontrolérem*. Ostrava, 2017. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky.
- [11] Soubor:Solar spectrum cs.svg. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: https://cs.m.wikipedia.org/wiki/Soubor:Solar_spectrum_cs.svg
- [12] Pyranometr. *Wikiwand* [online]. 2001- [cit. 2024-03-22]. Dostupné z: <https://www.wikiwand.com/cs/Pyranometr>

- [13] Pyrheliometr. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2024-03-23]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Pyrheliometr>
- [14] *Český hydrometeorologický ústav* [online]. 2006 [cit. 2024-03-23]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/>
- [15] Optimální sklon kolektorů a azimut. *Heat Pipe - Solární trubicové kolektory* [online]. 2012 [cit. 2024-03-23]. Dostupné z: <https://solarni-kolektory.blogspot.com/2012/05/optimalni-sklon-kolektoru-azimut.html>
- [16] Automatický otevírač typ POH. *Limes s.r.o.* [online]. 2020 [cit. 2024-03-24]. Dostupné z: <https://limes.cz/cs/produkt/automaticky-otevirac-typ-poh-851380101>
- [17] Balíček Hydro. *Sensorie* [online]. 2024 [cit. 2024-03-24]. Dostupné z: <https://sensorie.cz/produkt/balicek-hydro/>
- [18] As solar capacity grows, duck curves are getting deeper in California. *Eia – U.S. Energy Information Administration* [online]. 2023 [cit. 2024-03-25]. Dostupné z: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=56880>
- [19] CENEK, Miroslav. *Akumulátory a baterie*. Praha: STRO.M, 1996. Knižnice Elektro.
- [20] MORRIS, Melissa a Sabri TOSUNOGLU. Comparison of rechargeable battery technologies. *ASME early career technical journal*. 2012, **11**, 148-155.
- [21] BÖSE, Karl-Heinz. *Dešťová voda pro dům a zahradu*. Ostrava: HEL, 1999. ISBN 80-861-6708-9.
- [22] OBLOUKOVÁ, Aneta. VÝVOJ CENY VODNÉHO A STOČNÉHO V ČESKÉ REPUBLICE. *Management ekonomických procesů ve stavebnictví*. 2022, (FAST-S-21- 7472), str. 573.
- [23] Kvalita vody podle lokality. *Brněnské vodárny a kanalizace, a.s.* [online]. 2024 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://www.bvk.cz/pitna-voda/kvalita-vody>
- [24] Eutrofizace. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Eutrofizace>
- [25] Zahradní srážkoměr STREND PRO, 24 cm. *Lumigreen* [online]. 2024 [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: <https://www.lumigreen.cz/eshop/zahradni-srazkomer-strend-pro-24-cm/p-5337273.xhtml>

- [26] Meteorologická stanice GARNI 835 Arcus. *Meteostanice.com* [online]. 2024 [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: <https://www.meteostanice.com/Meteorologicka-stanice-GARNI-835-Arcus-d1401.htm#detail-anchor-description>
- [27] Rozšíření sledovaných veličin o srážky. *FIEDLER AMS s.r.o.* [online]. 2017 [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: <https://www.fiedler.company/cs/aplikace/protipovodnovy-varovny-system/rozsireni-sledovanych-velicin-o-destove-srazky>
- [28] Územní srážky v roce 2023. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. 2024 [cit. 2024-04-26]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky#>
- [29] Změna klimatu. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. 2011 [cit. 2024-04-26]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/zmena-klimatu/zakladni-informace#>
- [30] ALKAN, Merve Ozeren. Determination of Rainwater Harvesting Potential: A Case Study from Ege University. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi (časopis Zemědělské fakulty Univerzity Adnana Menderese)*. 2022, 5-6.
- [31] EKOWATT. *Metody hodnocení vhodnosti a výtěžnosti OZE* [online]. 2000 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/knihovna/metody-hodnoceni-a-vyteznosti-oze>
- [32] MASTNÝ, Petr. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [33] HORVÁTH, Josef. *Solární záření v lokalitě VUT FSI v Brně*. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2010, 42 stran, 6 stran obrazových příloh + 1 CD-ROM.
- [34] PAVLAS, Martin. *Předmět Energie a emise: (6EE) [Cvičení]*. ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ - FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ - VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, 2023.
- [35] DITL, Pavel a Michal NETUŠIL. *Bilancování a simulace systémů v MS Excel*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2018, 171 stran : ilustrace (některé barevné). ISBN 978-80-01-06396-5.

- [36] PAVLAS, Martin. *Předmět Bilancování procesních a energetických systémů: (KBP)* [Přednášky a cvičení]. ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ - FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ - VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, 2022.
- [37] BRUNNER, Paul H. a Helmut RECHBERGER. *Handbook of Material Flow Analysis: For Environmental, Resource, and Waste Engineers, Second Edition*. 2. Milton: CRC Press, 2017, 453 s. ISBN 1498721346. Dostupné z: doi:10.1201/9781315313450
- [38] *Open power System Data* [online]. 2024 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://open-power-system-data.org/>
- [39] MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ. *Koncepce na ochranu před následky sucha pro území České republiky* [online]. 2017 [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://www.databaze-strategie.cz/cz/mze/strategie/koncepce-na-ochranu-pred-nasledky-sucha-pro-uzemi-ceske-republiky?typ=struktura>

Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratka/symbol	Veličina	Jednotka
AKS(i)	Aktuální kapacita sudu v kroku i	[l]
AKS(i-1)	Kapacita sudu v minulém kroku $i-1$	[l]
AKT(i)	Aktuální kapacita baterie v kroku i	[kJ]
AKT(i-1)	Kapacita baterie v minulém kroku $i-1$	[kJ]
A_p	Plocha panelů	[m ²]
A_s	Půdorysná plocha skleníku	[m ²]
GZ	Globální záření	[W/m ²]
KS	Kapacita sudu	[l]
NV	Napršena voda	[l]
PDV	Potřebná dešťová voda	[l]
POT	Potřebný výkon	[kJ]
PV	Fotovoltaický	–
SE	Spotřeba energie	[kJ]
SV	Spotřeba vody na závlahu	[l]
ÚS	Úhrn srážek	[l]
VE	Využitelná energie	[kJ]
ZBV	Zbylý výkon	[kJ]
ZDV	Zbylá (dešťová) voda	[l]
ZV	Ztráty vody	[l]
η	Účinnost přeměny energie	[%]
η_v	Účinnost sběru vody	[%]

Seznam obrázků

<i>Obr. 1 Experimentální skleník v brněnském Jundrově s instalovaným Chytrým skleníkem společnosti Sensorie (převzato z [3]).....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 2 Představa možného provedení PV a závlahového systému s panely umístěnými na střeše skleníku Limes a vedlejší budovy a možným provedením vnitřní i vnější akumulace vody; foto z archivu autora, upravené generativním nástrojem „AI inpainting“ dostupného na webu LightX [4].....</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 3 Znázornění principu p-n přechodu (převzato a upraveno z [7]).....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 4 Schématické zapojení PV článku do obvodu se spotřebičem (převzato a upraveno z [5])</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 5 Diagram toku energie dopadající na solární článek (převzato a upraveno z [8])</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 6 Vrstvy PV panelu (převzato z [10]).....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 7 Spektrum slunečního záření dopadajícího na zemský povrch a typická relativní citlivost křemíkového PV článku, převzato z [11].</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 8 Přístroje pro měření globálního záření, vlevo: pyranometr (převzato z [12]), vpravo: pyrliometr (převzato z [13])</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 9 Příklad dostupných datových setů pro měřicí stanice v Jihomoravském kraji (převzato z webu ČHMÚ [14])</i>	<i>21</i>
<i>[14]Obr. 10 „Hlavička“ souboru denních dat globálního záření pro stanici Brno Tuřany, obsahující informace o souboru, stanici, přístroje, měřené hodnoty apod. (soubor převzat z webu ČHMÚ [14]).....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 11 Typická data denního úhrnu globálního záření pro stanici Brno Tuřany v časovém rozmezí 18.-24. 3. 2023 (soubor převzat z webu ČHMÚ [14]).....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 12 Ukázka dat desetiminutových úhrnů globálního záření v konkrétní den (získáno od brněnské pobočky ČHMÚ [14])</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 13 Graf denního průběhu získaných dat globálního záření ve 4. až 6. měsíci (získáno od brněnské pobočky ČHMÚ [14])</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 14 Pozice Slunce na obloze v průběhu dne v ročních obdobích (převzato a upraveno z [15])</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 15 Ilustrace azimutu a úhlu Slunce nad obzorem.....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 16 Vizualizace azimutového úhlu a naklonění panelu.....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 17 Zleva: automatický hydraulický otevírač z nabídky společnosti LIMES s.r.o., (převzato z [16]); elektrický otevírač okna z nabídky společnosti Sensorie s.r.o. (převzato z [17])</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 18 Hydroponické kanály (převzato z nabídky společnosti Sensorie [17])</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 19 „Duck curve“ – graf typické denní poptávky po elektřině v porovnání s výrobou různě orientovaných PV panelů.....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 20 Průměrná vodné a stočné v ČR za období 2010-2019 v Kč/m³ bez DPH (data převzata z [22]).....</i>	<i>36</i>

<i>Obr. 21 Parametry určující kvalitu vody v lokalitě Brno, Černá Pole, Merhautova, (převzato z [23])</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 22 Vlevo: zahradní nádobový srážkoměr (převzato z [25]); uprostřed: domácí meteorologická stanice GARNI 835 Arcus (převzato z [26]); vpravo: srážkoměrná stanice Fiedler TS-200 (převzato z [27]).....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 23 Porovnání dlouhodobého měsíčního srážkového normálu z let 1991 až 2019 a úhrnu územních srážek ČR pro rok 2023 (data získána z ČHMÚ [28])</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 24 Část datových sad denního úhrnu dešťových srážek pro Jihomoravský kraj (převzato z webu ČHMÚ [14])</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 25 „Hlavička“ souboru denních dat úhrnu srážek pro stanici Brno Tuřany, obsahující informace o souboru, stanici, přístroje, měřené hodnoty apod. (soubor převzat z webu ČHMÚ [14])</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 26 Typická data denního úhrnu srážek pro stanici Brno Tuřany v časovém rozmezí 28. 3.-6. 4. 2023 (soubor převzat z webu ČHMÚ [14]).....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 27 Ukázka dat desetiminutových úhrnů srážek v konkrétní den (získáno od brněnské pobočky ČHMÚ [14])</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 28 – Ukázka okapového systému společnosti Limes s.r.o. v blízkosti okolní zástavby s možností sběru, akumulace („IBC“ nádrž na pravé straně) a využití dešťové vody. Foto z archivu autora.....</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 29 – Možné provedení plastových sudů, válcové (vlevo) a hranaté (vpravo).</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 30 Úhrn srážek v ČR v roce 2022 (převzato a upraveno z ČHMÚ [14]).....</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 31 – Příklad ustáleného systému na jednoduchém vodovodním potrubí.</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 32 Příklad neustáleného systému na jednoduchém vodovodním systému s akumulací nádrží při výtoku nižším než přítoku (vlevo) a při výtoku vyšším než přítoku (vpravo)</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 33 Bilanční algoritmus pro rozhodování v každém kroku výpočtu PV systému [34]</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 34 Bilanční algoritmus použitý pro rozhodování v každém kroku výpočtu závlahového systému [34].....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 35 Porovnání minimální a maximální kapacity baterií v průběhu dne (konfigurace 1-1) s vyznačenými oblastmi zájmu A, B a C a doplňkovými oblastmi D a E</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 36 Vliv průměrné hodnoty globálního záření za poslední týden na kapacitu baterií (konfigurace 1-1) s vyznačenými oblastmi zájmu A, B, C a doplňkovými oblastmi D a E.</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 37 Vliv průměrné denní spotřeby na kapacitu baterií (konfigurace 1-1) s vyznačenými oblastmi zájmu A, B, C a doplňkovými oblastmi D a E.....</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 38 Porovnání minimální kapacity v průběhu dne mezi konfiguracemi 1–1, 1–2, a 1–3 s vyznačenými oblastmi zájmu A, B, C a doplňkovou oblastí D</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 39 Porovnání minimální kapacity v průběhu dne mezi konfiguracemi 1–1, 2–1, a 3–1 s vyznačenými oblastmi zájmu A, B, C a doplňkovou oblastí D</i>	<i>72</i>

<i>Obr. 40 Porovnání minimální kapacity v průběhu dne mezi konfiguracemi 1-1, 2-2, a 3-3 s vyznačenými oblastmi zájmu A, B, C a doplňkovou oblastí D.....</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 41 Množství vody v sudu v porovnání s dostupným množstvím dešťové vody (sud 60 l) s vyznačenými oblastmi zájmu A a B.....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 42 Množství vody v sudu v porovnání se spotřebou dešťové vody (sud 60 l) s vyznačenými oblastmi zájmu C a D.....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 43 Porovnání minimálních denních hodnot naplnění sudu pro různé maximální kapacity sudu</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 44 Procentuální porovnání minimálních denních hodnot naplnění sudu pro různé maximální kapacity sudu</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 45 Porovnání minimálních denních hodnot použitím původních dat spotřeby a jejich průměru (konfigurace 1-1).....</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 46 Průběh min. denních kapacit u PV systému v konfiguraci L6-1-1-1999 s vyznačenými podlimitními kapacitami</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 47 Průběh min. denních kapacit u PV systému v konfiguraci L6-2-2-1999.....</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 48 Průběh min. denních kapacit u PV systému v konfiguraci L6-3-3-1999.....</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 49 Průběh min. denních kapacit u PV systému v konfiguraci K8-1-1-1999</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 50 Průběh min. denních kapacit u PV systému v konfiguraci K8-2-2-1999</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 51 Průběh min. denních kapacit u PV systému v konfiguraci K8-3-3-1999</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 52 Průběh min. denních kapacit u PV systému v konfiguraci M9-1-1-1999.....</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 53 Průběh min. denních kapacit u PV systému v konfiguraci M9-2-2-1999.....</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 54 Průběh min. denních kapacit u PV systému v konfiguraci M9-3-3-1999.....</i>	<i>85</i>

Seznam tabulek

<i>Tab. 1 Souhrn příkonů spotřebičů v Experimentálním skleníku</i>	29
<i>Tab. 2 Srovnání dostupných bateriových technologií [19; 20; 5]</i>	33
<i>Tab. 3 – 4 pásma charakterizující tvrdost vody na základě jejího obsahu solí, převzato z [21].</i>	38
<i>Tab. 4 Uvažované spotřebiče a jejich příkon vstupující do výpočtu</i>	53
<i>Tab. 5 Ukázka výpočtu bilance PV systému časových intervalů 11.5. 2023 od 3 h do 6 h</i>	63
<i>Tab. 6 Ukázka výpočtu bilance závlahového systému časových intervalů 12. 5. 2023 od 15 h do 17 h</i>	67
<i>Tab. 7 Vybrané varianty skleníků Limes pro extrapolaci dat [2]</i>	77
<i>Tab. 8 Výsledky bilančního výpočtu PV systému v konfiguraci L6–1–1–1999</i>	80
<i>Tab. 9 Výsledky bilančního výpočtu PV systému v konfiguraci L6–2–2–1999</i>	81
<i>Tab. 10 Výsledky bilančního výpočtu PV systému v konfiguraci L6–3–3–1999</i>	81
<i>Tab. 11 Výsledky bilančního výpočtu PV systému v konfiguraci K8–1–1–1999</i>	82
<i>Tab. 12 Výsledky bilančního výpočtu PV systému v konfiguraci K8–2–2–1999</i>	83
<i>Tab. 13 Výsledky bilančního výpočtu PV systému v konfiguraci K8–3–3–1999</i>	83
<i>Tab. 14 Výsledky bilančního výpočtu PV systému v konfiguraci M9–1–1–1999</i>	84
<i>Tab. 15 Výsledky bilančního výpočtu PV systému v konfiguraci M9–2–2–1999</i>	85
<i>Tab. 16 Výsledky bilančního výpočtu PV systému v konfiguraci M9–3–3–1999</i>	85