

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra botaniky a fyziologie rostlin



Využití spalné kalorimetrie v biologii rostlin

Bakalářská práce

Autor práce: Jan Hemmr

Obor studia: Veřejná správa v zemědělství a krajině

Vedoucí práce: doc. Ing. František Hnilička, Ph.D.

© 2019 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Využití spalné kalorimetrie v biologii rostlin " jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 18.4.2019

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Františku Hniličkovi, Ph.D. za pomoc, odborné rady a poskytnutí vybavení laboratoře a v neposlední řadě za trpělivost.

Využití spalné kalorimetrie v biologii rostlin

Souhrn

Bakalářská práce formou literárního přehledu popisuje metodu spalné kalorimetrie, její historii, možnosti jejího užití v různých vědních disciplínách a v neposlední řadě její uplatnění do budoucna. Od roku 1885, kdy byla sestrojena první kalorimetrická bomba plněná kyslíkem při vysokém tlaku, se spalná kalorimetrie stala nejpropracovanější a nejvíce využívanou metodou experimentální termodynamiky nacházející využití v oborech chemie, biologie, ekologie, zemědělství a v mnoha dalších.

Spalná kalorimetrie dokáže měřit spalné teplo, tedy energii uloženou a následně dokonalým spálením uvolněnou z různých materiálů. V biologii rostlin je touto metodou možné stanovit množství energie nahromaděné v rostlinných pletivech ze slunečního záření a popsat její transport a ukládání nejen v rámci rostlinného těla, ale i v rámci celých ekosystémů v návaznosti na sink a source (zdroje a místa uskladnění energie). Taková měření se ukázala jako velmi důležitá pro pochopení toků energie v přírodě, které pomáhají při zkoumání podstaty fungování života.

Zcela nepostradatelnou se spalná kalorimetrie stala ve stresové fyziologii, kde pomocí měření spalného tepla popisuje vliv stresorů na rostliny. Měří obsah energie v nich, pomáhá popisovat jejich fyziologické odezvy na stresor i vliv na jejich metabolismus, a umožňuje tudíž jak porozumění odpovědi rostlin na stres, tak i hledání a šlechtění rostlin odolných vůči stresorům, čímž přispívá k zabezpečení dostatku potravy pro lidstvo.

Jako velmi významná se metoda spalné kalorimetrie ukázala v oblasti energetiky, kde se čím dál větší pozornost zaměřuje na obnovitelné zdroje. Díky spalné kalorimetrii lze posoudit vlastnosti rostlin, které jsou při spalování pro energetické účely nejvýznamnější, jako je například spalné teplo nebo vznětlivost.

Velmi důležitou se spalná kalorimetrie ukázala též při studiu požárů, které díky změnám klimatu a častějším extrémům počasí stále častěji ohrožují lidské životy a majetek i v regionech, kde byly dříve spíše vzácné. Spalná kalorimetrie je nápomocna při výběru materiálů pro stavby i výběru vhodné rostlinné skladby pro snížení rizika vzniku požáru i rychlosti jeho následného šíření.

Součástí práce byl pokus zkoumající vliv zasolení na juvenilní rostliny lagenárie obecné (*Lagenaria siceraria* L.), okurky seté (*Cucumis sativus* L.) a tykve obecné (*Cucurbita pepo* L.). Podařilo se prokázat negativní vliv zasolení na obsah energie uložené v rostlinných pletivech. Průměrné hodnoty spalného tepla v porovnání kontrolní varianty (0 mmol·l⁻¹ NaCl) a varianty s nejvyšší mírou zasolení (0,25 mmol·l⁻¹ NaCl) byly: u lagenárie 14,41 kJ·g⁻¹ a 12,55 kJ·g⁻¹, u okurky 13,53 kJ·g⁻¹ a 12,94 kJ·g⁻¹ a u tykve to 14,19 kJ·g⁻¹ a 12,46 kJ·g⁻¹. Z výsledků je zřejmé, že energie rostlinné biomasy klesala se zvyšující se mírou zasolení. Zároveň byl prokázán trend poklesu hodnot spalného tepla u stresovaných rostlin během jejich ontogenetického vývoje.

Klíčová slova: biologie rostlin, spalná kalorimetrie, spalné teplo, stresová fyziologie

Using of combustion calorimetry in biology of plants

Summary

Bachelor thesis describes in the form of a literature review the combustion calorimetry method, its history, possibilities of its use in various scientific disciplines and last but not least, its application in the future. Since 1885, when the first high pressure oxygen-filled calorimetric bomb was constructed, combustion calorimetry has become the most sophisticated and most widely used method of experimental thermodynamics used in the disciplines of chemistry, biology, ecology, agriculture and many others.

Combustion calorimetry measures heat of combustion, thus, the energy stored and then, after perfect burning, released from different materials. In biology of plants, this method can specify the amount of energy accumulated in plant tissues from sunlight and its transport and storage within the plant body, but also within ecosystems in relation to sink and source. Such measurements have proved being very important in understanding the energy flows in nature, that helps in exploring the essence of life

Combustion calorimetry has become absolutely indispensable in stress physiology, where it measures the effect of stressors on plants by measuring the heat of combustion. It measures the energy content in them, it helps to describe their physiological responses to stressors and to their metabolism, thus allowing both understanding of plant responses to stress and search and breeding plants resistant to stressors thus contributing to ensuring sufficient food for mankind

The combustion calorimetry proved to be very important in the field of energetics, where more and more attention is focused on renewable sources. The combustion calorimetry can be used to assess the properties of plants that are the most important in combustion for energy purposes, such as heat of combustion or ignitability.

Combustion calorimetry proved to be very important in the study of fires, which, due to climate change and more frequent weather extremes, are increasingly threatening human lives and property in the regions, where they used to be rather rare. Combustion calorimetry is helpful in selecting materials for construction and the selection of a suitable plant composition to reduce the risk of fire and its subsequent spread.

Part of the thesis was an experiment studying an influence of salinization on juvenile plants of calabash (*Lagenaria siceraria* L.), cucumber (*Cucumis sativus* L.) and summer squash (*Cucurbita pepo* L.). The negative influence of salinization on the energy content stored in plant tissues was proved. The average calorific values comparing the control variants (0 mmol·l⁻¹ NaCl) and the highest salinity variant (0.25 mmol·l⁻¹ NaCl) were: 14.41 kJ·g⁻¹ and 12.55 kJ·g⁻¹ for calabash, 13.53 kJ·g⁻¹ and 12.94 kJ·g⁻¹ for cucumber and 14,19 kJ·g⁻¹ and 12,46 kJ·g⁻¹ for summer squash. The results showed that the energy of plant biomass has decreased with increasing salinity. Moreover, the trend of decreasing the calorific value of stressed plants during their ontogenetic development was demonstrated.

Keywords: biology of plants, combustion calorimetry, heat of combustion, stress physiology

Obsah

1. Úvod	1
2. Cíle práce	2
3. Literární přehled.....	3
3.1. Historie měření tepla	3
3.2. Termická analýza a její metody.....	4
3.3. Historie a metody spalné kalorimetrie	5
3.4. Využití spalné kalorimetrie v biologii rostlin	7
3.4.1 Energetická bilance rostlin	8
3.4.2 Primární a sekundární produkce	9
3.4.3 Tok energie v ekosystémech.....	11
3.4.4 Stresová fyziologie rostlin	14
3.4.4.1 Biotické stresory	15
3.4.4.2 Abiotické stresory.....	16
3.4.5 Spalné teplo a vliv nepůvodních a invazivních druhů	20
3.5. Obnovitelná energie z biomasy	21
3.6. Energie rostlin a riziko požárů	23
3.7. Další využití spalné kalorimetrie	26
4. Praktická část	28
4.1. Charakteristika pokusného materiálu	28
4.2. Založení pokusu.....	28
4.3. Metody měření fyziologických charakteristik.....	29
4.3.1 Stanovení hmotnosti sušiny	29
4.3.2 Stanovení spalného tepla	29
5. Výsledky.....	30
6. Diskuse	36
7. Závěr	37
8. Použitá literatura	38
Přílohy.....	I

1. Úvod

Spalná kalorimetrie nachází nepřeberné množství využití při studiu samotných sloučenin, materiálů z nich složených, rostlinných pletiv, živočišných tkání, ale i celých ekosystémů. Díky spalné kalorimetrii je možné zjistit obsah energie uložené v rostlinách pro potřeby agronomické, energetické ale i bezpečnostní s ohledem na požáry. Co se týká biologie rostlin, spalná kalorimetrie je poměrně nenáročnou a ekonomicky výhodnou metodou, umožňující měřit míru tvorby asimilátů v návaznosti na sink a source a množství energie uložené v pletivech během celého ontogenetického vývoje rostliny i popisovat změny v metabolismech a množství energie ovlivněné stresory. Navíc oproti metodám gazometrickým, spalná kalorimetrie dokáže měřit akumulaci asimilátů a popsat jejich transport v rámci jednotlivých orgánů.

Ačkoliv se jedná o metodu destruktivní, v mnoha odvětvích zaujímá nezastupitelnou roli. Především s ohledem na rostoucí světovou populaci bude i do budoucna jednou z hlavních metod využívaných pro potřeby zajištění potravy pro lidstvo z hlediska studia obsahu energie v potravě uložené a jejího ovlivnění mnoha různými faktory, též jako při nacházení a zlepšování metod pěstování významných rostlinných druhů pro potřeby výživy.

2. Cíle práce

Spalná kalorimetrie patří mezi nejstarší části termické analýzy. Její výsledky se dají uplatnit nejenom v biologii, ale také chemii, stavebnictví, medicíně, při přípravě nových materiálů. V rámci biologických disciplín má své uplatnění při určování transportu asimilátů, vztahu mezi sink a source, ve stresové a produkční fyziologii rostlin.

Na základě možnosti využití spalné kalorimetrie v biologii rostlin byly stanoveny následující cíle práce:

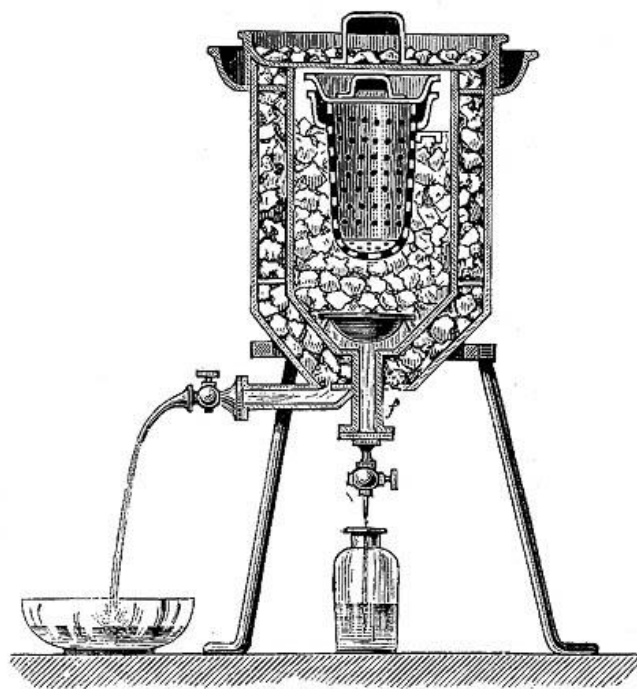
1. Na základě literárních dat zhodnotit možnost využití spalné kalorimetrie ve fyziologii rostlin.
2. Stanovit možný potenciál jejího využití v hodnocení přirozených a umělých ekosystémů.

3. Literární přehled

3.1. Historie měření tepla

Za počátek skutečného, i když ne zcela přesného měření teploty, může být považován rok 1589, ze kterého pochází nejstarší doložený přístroj na indikaci tepelných stavů, sestrojený Herónem Alexandrijským, který fungoval na principu roztažnosti plynu vlivem teploty. Nedlouho poté, začátkem 17. století, sestrojil Galileo Galilei přístroj, který měřil teplotu z kvantitativního hlediska. Jednalo se o primitivní teploměr skládající se ze skleněné trubičky a baňky fungující také na principu roztažnosti plynu. Tohoto principu využil o pár let později i Otto von Guericke, který svůj termometr sestrojil již uzavřený, kde na obou koncích skleněné trubičky byly baňky. Během 17. století nastal další rozvoj termometrů. Jako roztažné médium se začaly používat kapaliny. Takový termometr sestrojil Jean Rey roku 1632 a jako médium použil vodu. První termometr s lihem sestrojil velkovévoda Ferdinand II. asi o deset let později (Boyer, 1943).

Koncem 18. století se Black zaměřil na fenomén absolutní kvantity tepla, kdy srovnával vodu a rtuť a začal měřit a porovnávat jejich tepelné kapacity. Z jeho výzkumu vyplynulo, že pro změnu stavu není třeba nijak velkého množství tepla. Dále následovaly práce Lavoisiera a Laplaceho a sestrojení jejich kalorimetru v roce 1782, viz obrázek 1. Zcela zásadním milníkem v této oblasti bylo popsání zákonů zachování energie Myerem, Joulem a Coldingem v roce 1843 (Boyer, 1943).



Obrázek 1: Kalorimetr – Lavoisier a Laplace, 1782
(<http://vlp.mpiwgberlin.mpg.de/vlpimages/images/img10417.jpg>)

Podle Kloužkové et al. (2012) se za zakladatele termické analýzy považuje La Chatelier, který koncem 19. století touto metodou studoval kalcit a vytvořil termoanalytické křivky. V podstatě se jednalo o dnešní metodu diferenční termické analýzy (DTA) s absencí referenčního vzorku. Ten při měření platiny použil roku 1899 také Roberts-Austen.

Dalším typem termické analýzy je termogravimetrie (TG, nebo termogravimetrická analýza – TGA) vznikající po roce 1915, kdy Honda vynalezl termováhy. Záznamu měření významně pomohl Kurnakov, který v roce 1904 sestrojil registrační válce, které mohly

zaznamenávat několik křivek najednou. Nyní je nejpoužívanější metodou diferenční skenovací kalorimetrie (DSC) vyvinutá v roce 1962, jejímž principem je udržení stejné teploty u vzorku analyzovaného i referenčního (Kloužková et al., 2012).

3.2. Termická analýza a její metody

Termická analýza je dle Gallaghera et al. (1998) chápána jako série technik, kde jsou fyzikální vlastnosti materiálu vystaveného tepelnému programu měřeny jako funkce času či teploty. Termodynamika se zabývá makroskopickými systémy, které se po určité době dostanou do rovnovážného stavu. Ten může být popisován různými vlastnostmi, jako je teplota či tlak.

V termodynamice se část zkoumaného prostoru nazývá systém, který může být podle Vacíka (2017) otevřený, uzavřený nebo izolovaný. Na základě toho, o jaký typ systému se jedná a jaký materiál je sledován, závisí použitá metoda. Základní metody termické analýzy dle Gallaghera et al. (1998) rozdělujeme na termogravimetrii, diferenční termickou analýzu a diferenční skenovací kalorimetrii. Samostatnou metodou je metoda spalné kalorimetrie.

Gallagher et al. (1998) dále uvádí, že měření hmotnosti je základní metodou, jak kvantifikovat množství materiálu. Termogravimetrická analýza (TG, nebo TGA) je rozšíření tohoto měření hmotnosti v měrném systému o měření změny teploty objektu v čase, jak uvádí Kloužková et al. (2012). Z této práce dále vyplývá, že v současné době je nejpoužívanějším provedením metody TG pro stanovení hmotnosti vzorku protažení křemíkových vláken s použitím atmosféry ze vzácných plynů.

Další metodou je diferenční termická analýza (DTA). Jejím principem je měření rozdílu teplot vzorku a referenčního vzorku v průběhu času, kdy jsou oba vzorky vystaveny stejné teplotě (Gallagher et al., 1998). Jako referenční vorek se podle Kloužkové et al. (2012) nejčastěji používá oxid hlinitý, nebo karbid křemíku. Teplotní rozdíl je graficky zaznamenáván jako teplotní/časová závislost a je nazýván křivkou přímého ohřevu. Podle toho, zda vykazuje teplotní maxima či minima, se jedná o exotermní, nebo endotermní reakci. DTA slouží podle Kloužkové et al. (2012) k popsání dějů souvisejících s výměnou tepla mezi vzorkem a jeho okolím, a proto se využívá především při studiu reakční kinetiky, sledování čistoty materiálů a ke konstrukci fázových diagramů.

Diferenční skenovací kalorimetrie (DSC) je metoda měřící v průběhu času rozdíl toku tepla nebo proudu mezi vzorkem a referenčním vzorkem, nutného k udržení stejné teploty obou vzorků (Gallagher et al., 1998). Podle Gabbotta (2008) lze tuto metodu také popsat jako měření změny energie, která nastane při ohřívání nebo chlazení vzorku, současně s měřením teploty, při které tato změna nastane. Výhodou DSC oproti DTA je podle Kloužkové et al. (2012) vyšší přesnost měření a používá se ke studiu tepelných vlastností materiálů a dějů, jako jsou krystalizace či tání. Poznatky získané z diferenčních skenovacích kalorimetrů, viz obrázek 2, jsou využívány při výrobě polymerů, farmaceutik či skla (Kloužková et al., 2012), ale také v rámci kryometod při hodnocení tvorby tzv. biologického skla. Toto sklo je podle Bruniho a Leopolda (1991) kapalina o vysoké viskozitě, která blokuje či zpomaluje všechny chemické reakce využívající difuzi molekul, což dovoluje rostlinným pletivům přejít do klidového stavu, a zabraňuje tak jejich poškození při nedostatku vody či při nízkých teplotách.

Zároveň se biologické sklo při rehydrataci opět rozpustí, což uvedené chemické reakce znovu aktivuje. Podle Zámečníka et al. (2008) je přechod do tohoto skelného stavu dále využíván při tzv. kryokonzervaci, kde nízký obsah vody a zároveň nízká teplota vznik takového stavu podporují.



Obrázek 2: Diferenční skenovací kalorimetr DSC METTLER TOLEDO (<https://www.industry-plaza.com/differential-scanning-calorimeters-dsc-p125364855.html>)

3.3. Historie a metody spalné kalorimetrie

Historie spalné kalorimetrie je neoddelitelně spjata s historií termické analýzy. To, že vystavení nějakého materiálu teplu má vliv na jeho vlastnosti, si lidé všimli již dávno v minulosti. Avšak tento vztah nebyl detailněji zkoumán a hodnocen (Brown, 2001).

Kalorimetrie se zabývá samotným měřením tepla uvolněného či pohlceného v systému při určitém biologickém, fyzikálním nebo chemickém pochodu. Sleduje také termofyzikální vlastnosti systému, jako jsou tepelná kapacita nebo spalné teplo (Gallagher et al., 1999). Podle Bláhy et al. (2010) je kalorimetrie jednou z nejvyužívanějších a nejvíce propracovaných metod experimentální termodynamiky a nachází široké využití v oblasti biologie, chemie a v dalších odvětvích. Při kalorimetrických měřeních, jak již bylo řečeno, je sledována především teplota a její změna v čase.

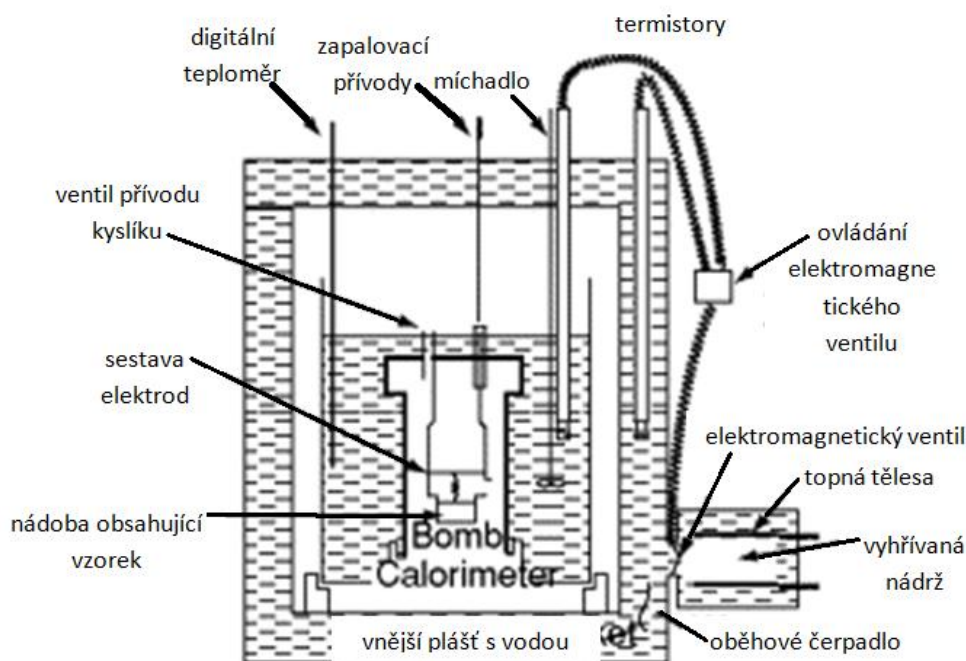
Za začátek využití spalné kalorimetrie lze považovat rok 1885, kdy Berthelot sestrojil kalorimetrickou bombu plněnou čistým kyslíkem při vysokém tlaku. Jedná se o jedinou metodu pro určení obsahu energie v palivech. Další uplatnění nachází v biologii rostlin, kde se využívá pro stanovení translokace a obsahu energie v rámci rostlin či celých ekosystémů (Gallagher et al., 1999).

Gallagher et al. (1999) uvádí, že roku 1908 použil Pierce metodu diferenční kalorimetrie a zjistil, že během dýchání rostlin dochází k uvolňování energie. Z jeho práce vyplynulo, že značné množství tepla je uvolňováno například při klíčení, ale pouze malá část tepla je uvolněna pomocí záření. Součástí kalorimetrických studií v biologii je také měření metabolického tepla za tmy během respirace. Propojení metody kalorimetrie s měřením míry respirace se běžně označuje jako kalorespirometrie.

Prat v roce 1940 zjistil, že v rostlinách, podobně jako v mikroorganismech, dochází k termickým změnám zvláště při buněčném dělení. Toto zjištění bylo zásadním impulsem k

využívání kalorimetrických měření při studiu procesů souvisejících s růstem rostlin, protože produkce tepla, oproti veškeré uložené energii, závisí na míře reakce rostliny, která je spojena s biochemickými reakcemi v rostlinných pletivech a mírou růstu (Gallagher et al., 1999).

Také ve spalné kalorimetrii se využívá pro detekci spalného tepla a výhřevnosti řada metod. Podle Zielenkiewicz a Margase (2002) je kalorimetr přístroj k měření tepla, ve kterém je možné vždy rozlišit dvě základní části. Kalorimetrickou nádobu s teplotou T_c , která je spojena s částmi, které souvisí se spalováním a měřením, a okolní plášť s teplotou T_0 , který je funkčně oddělený od měřicího systému a má definovanou závislost teploty na čase. Kalorimetry proto dle Gallaghera et al. (1998) můžeme rozdělit např. podle měření tepla na přímé s korelací vlivů vnějších teplot a nepřímé, kde je teplo počítáno z nekalorimetrických dat.



Obrázek 3: Schéma adiabatického spalného kalorimetru (upraveno podle <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/calorimeters>)

Toto třídění upřesňuje Zielenkiewicz a Margas (2002), kdy člení kalorimetry na adiabatické, viz obrázek 3, neadiabatické a izoperibolické. Adiabatický kalorimetr je takový, kde teplotní gradient mezi kalorimetrickou nádobou a pláštěm je roven nule a během měření tedy nedochází k přenosu tepla mezi nimi. Ty lze ještě rozdělit na izotermní s konstantní teplotou a neizotermní, kde se teplota pláště mění s časem. V případě neadiabatického kalorimetru není teplotní gradient mezi kalorimetrickou nádobou a pláštěm roven nule, proto během měření dochází k přenosu tepla mezi nimi. Kalorimetr izoperibolický dle Bláhy et al. (2010) představuje typ kalorimetru, který má izotermní teplotu pláště.

Díky technologickému pokroku a miniaturizaci jsou dnes často využívanými přístroji tzv. mikrokolorimetry. Jedná se o přístroje schopné měřit velmi malá množství energie okolo 5 keV s přesností 7 eV s detekční destičkou o velikosti $250 \times 250 \times 2 \mu\text{m}$ ochlazenou na 100 mK. Uplatnění nacházejí takovéto mikrokolorimetry při měření energie záření, kdy

dopadající kvantum předá svou energii nebo její část detekční destičce, která tak zvýší svoji teplotu, která je poté měřena termistorem, nebo za pomoci měření změny napětí, ke kterému dojde při změně ze supravodivého stavu do stavu normálního právě zvýšením teploty (Opatrný, 2009).

3.4. Využití spalné kalorimetrie v biologii rostlin

Díky kalorimetrii je dle Gallaghera et al. (1999) možné měřit energii, zatímco jiné metody se zaměřují na hmotu. Společným využitím obou přístupů lze určovat míru a efektivitu ukládání energie v rostlinách, míru ovlivnění rostlin okolními podmínkami a hodnoty týkající se růstu rostlin a jejich částí. Podle autora se do nedávna většina kalorimetrických studií rostlinných pletiv zabývala měřením obsahu energie v pletivech pomocí spalování, DTA celulózy a ligninu, fázovými přechody v rostlinných lipidech nebo mrznutím vody v rostlinných pletivech. Nyní se však čím dál větší pozornost zaměřuje i na výzkum zahrnující měření a popis tepla produkovaného rostlinným metabolismem, protože takový výzkum může pomoci pochopit samotnou fyziologii zkoumaných rostlin.

Právě pro měření této energie je využívána metoda spalné kalorimetrie, která pomáhá určit množství energie nahromaděné vlivem fotosyntézy v různých částech rostlin změřením hodnoty takzvaného tepelného skoku, tedy přenosu tepla mezi látkami. Měřeno je spalné teplo, tedy teplo uvolněné při dokonalém spálení vzorku, kdy voda vznikající při spalování je v kapalném stavu (Bláha et al., 2010). Dle Gallaghera et al. (1999) je velmi často používanou jednotkou energie kalorie (cal), správně je však používat jednotku SI Joule (J), která je oficiální jednotkou energie. Lze použít převod $1 \text{ cal} = 4,1868 \text{ J}$.

Spalná kalorimetrie byla původně využívána především k měření termodynamických hodnot, jako je například obsah energie, nebo k určení ztrát energie během chemických reakcí. Až později se spalná kalorimetrie začala zabývat využitím v biologických vědních disciplínách, kde však bylo obtížné děje popisovat termodynamickými hodnotami. Energie naměřená spálením biologického vzorku při spalné kalorimetrii nepopisuje energii biologicky dostupnou pro rostlinu samotnou, ani pro případného herbivora. Spáleny jsou totiž i složky nestravitelné, jako jsou strukturní sacharidy a podobné látky, nemluvě o případné toxicitě a nemožnosti biologický materiál konkrétním herbivorem konzumovat (Gallagher et al., 1999).

Spalné teplo je udáváno na jednotku hmoty, tzv. hmotnost sušiny. U biologického materiálu je zásadní otázka, jak nakládat s vodou ve spalovací bombě, ať v kapalném, tedy kondenzovaném, nebo plynném stavu (Gallagher et al., 1999). V souvislosti s ní lze podle Szyszlak-Bargłowicze et al. (2012) rozlišovat dvě hodnoty. Jednou je spalné teplo HHV (higher heating value), které je uvolněno při dokonalém spálení vzorku a vzniklá voda zkondenzuje a nachází se v kapalném stavu a uvolní tedy své výparné teplo. Druhou je výhřevnost LHV (lower heating value) při jejímž měření dojde také k dokonalému spálení vzorku, ale vzniklá voda je v plynném stavu. Spalné teplo je tedy vyšší, než výhřevnost o výparné teplo vody. Naměřené hodnoty při spalování čistého biologického materiálu v kalorimetru by dle Gallaghera et al. (1999) měly být vždy vyšší než $17,6 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ sušiny bez popelovin. To je totiž nejnižší hodnota pro sacharidy. Proteiny i lipidy mají hodnoty vyšší, a to $23,7 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ sušiny a $39,6 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ sušiny. Vyšší hodnoty vykazuje i lignin, $26,3 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ sušiny, a

terpeny, $46,9 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ sušiny. Nižší hodnoty tedy znamenají chybu při měření nebo výskyt anorganických látek ve vzorku při spalování.

3.4.1 Energetická bilance rostlin

Z termodynamického pohledu jsou jak ekosystémy, tak rostliny samotné, systémy otevřené a jsou závislé na externích zdrojích energie. Rozdíl v míře fotosyntézy a respirace má zásadní vliv na energetickou bilanci rostlin, jak uvádí Hnilička et al. (2015). Jsou-li tyto hodnoty vyrovnané, rostlina se nachází v energetické rovnováze. Převyšuje-li míra respirace míru fotosyntézy, hmota rostliny je spotřebovávána. V opačném případě dochází k vytváření biomasy, tedy organické hmoty rostlin. To samozřejmě neplatí pouze pro rostlinu jako jedince, ale i pro celé ekosystémy. Pokud známe množství energie v rostlinách, můžeme lépe pochopit vztahy mezi získáváním, přeměnou a výdejem energie v celých ekosystémech.

Energie obsažená v rostlině se podle Gallaghery et al. (1999) samozřejmě různí v závislosti na části rostliny, pletivu, ale i na konkrétním období v roce. Přeměna energie záření na energii v chemických vazbách organických látek, které tvoří asi 95 % sušiny rostliny, je základním způsobem vzniku biomasy. Zbylých 5 % tvoří popeloviny, ale tento poměr se samozřejmě různí podle typu pletiva či druhu rostliny, ale i v rámci druhu podle místa výskytu jedince.

Naakumulovaná energie v organických látkách může být popsána jejich spalným teplem, vyjadřujícím obsah energie v biomase. Energie z rostliny uniká v podobě tepla vznikajícího při oxidaci a uvolněný CO_2 může být opět využit při fotosyntéze. Ve vztahu mezi fotosyntézou a růstem se projevuje koordinovaná vazba. Zde fotosyntéza zajišťuje zdroj energie pro růst a z opačné strany růst rostliny ovlivňuje míru fotosyntézy (Hnilička et al., 2015).

Množství energie v rostlině může být popsáno jako spalné teplo, nebo jako energie uložená v chemických vazbách. Tato energie je definována jako síla chemické vazby a je měřena dodáním tepla potřebného k rozbití všech vazeb v jednom molu molekul. Energie ve vazbách je různá a závisí na atomech, které vazbu tvoří (Stokes, 1988). Běžnější je však popis energie v biomase za pomoci spalného tepla. Obsah energie na jednotku hmotnosti rostlinného pletiva je silně ovlivněn obsahem vody v něm (Hnilička et al., 2015).

Obsah energie ve fytomase se zvyšuje se snižujícím se obsahem vody – v 1 g čerstvé biomasy tvoří $8,4 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ (Golley, 1961), zatímco v 1 g vysušené biomasy $16,7 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ v průměru (Paine, 1971). Samozřejmě zaleží na složení biomasy a na vzájemném poměru jejích složek. Toto zásadně ovlivňuje hodnoty spalného tepla, kdy například u kořenové zeleniny je měřena nízká hodnota spalného tepla kvůli vysokému obsahu cukrů a škrobů, v průměru $16,4 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$. Oproti tomu vysoké hodnoty spalného tepla vykazují olejnaté rostliny díky vysokému obsahu mastných kyselin, v průměru $25,6 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$. Také generativní orgány vykazují vyšší obsah energie než orgány vegetativní. Vysoký energetický obsah v generativních orgánech rostlin je dán transportem energeticky bohatých látek do těchto orgánů a jejich přeměnou na zásobní látky (Hnilička et al., 2015).

Kumulace a distribuce sušiny do různých částí orgánů je spojena s mírou fotosyntézy. Množství tvořené sušiny závisí na biologických charakteristikách růstu a přizpůsobení se růstovým podmínkám jako například množství energie dodávané rostlině slunečním zářením.

Akumulaci sušiny a přesun asimilátů popisuje Thorntonovo pravidlo: rostlina lépe využívá energii čím méně asimilátů je potřeba k zajišťování biosyntézy, tudíž více asimilátů zůstává pro tvorbu biomasy, což je cílem zemědělství. Sledování změn v růstu rostlin za použití spalné kalorimetrie pomáhá porozumět transportu a využití asimilátů v rostlinném těle s ohledem na sink a source. Tvorba sušiny a množství energie v rostlině jsou lineárně propojeny (Hnilička et al., 2015).

3.4.2 Primární a sekundární produkce

Spalná kalorimetrie nachází široké spektrum využití ve výzkumu fyziologie rostlin, kde dokáže vhodně propojovat fyzikální vztahy s vlastnostmi živých organismů a dokáže popisovat výměnu energie mezi rostlinami a jejich okolím. Spalná kalorimetrie dokáže popsat změny v nahromadění asimilovaných živin a jejich přesun v rámci rostliny i popisovat fotosyntetickou aktivitu rostliny za pomoci měření změn obsahu energie v nich a zjišťovat tak takzvané source a sink, tedy zdroje a místa uskladnění energie. Díky spalné kalorimetrii byl například odhalen vztah mezi akumulací látek s vysokým energetickým obsahem a vytvářením organické hmoty rostliny během jejího vývoje. Kalorimetrie dokáže popisovat aktivitu metabolismu a měřit teplo uvolňované při jejich růstu (Hnilička et al., 2015).

Míra fotosyntézy v listech rostlin během ontogenetického vývoje je podle Hniličky et al. (2015) ovlivněna mnoha faktory z okolního prostředí rostliny. Rychlost fotosyntézy u většiny rostlin narůstá až do období kvetení, což bylo například potvrzeno u pšenice seté (*Triticum aestivum* L.). Rostoucí míra fotosyntézy je dle autorů spojena se vznikem vysokoenergetických látek. Poté během stárnutí listů a přesunu energeticky bohatých látek do generativních orgánů rostliny dochází v listech k jejich úbytku. Míra fotosyntézy může být podle Farquhara et al. (1980) mimo jiné měřena gazometricky, tedy měřením změny koncentrací CO₂, díky nimž lze za pomoci vzorců počítat fotosyntetické a fyziologické veličiny, jako jsou respirace, či rychlost asimilace CO₂.

Měření míry fotosyntézy během ontogenetického vývoje však bylo kromě metody gazometrické provedeno i metodou kalorimetrickou a výsledky byly stejné, tudíž kalorimetrie je vhodnou metodou pro monitorování a určování míry fotosyntézy v rostlině, tak i pro sledování transportu asimilátů v rámci těla rostliny. Monitorování biomasy během ontogenetického vývoje je tak další metodou, která pomáhá hodnotit primární produkční kapacity různých druhů rostlin s ohledem na jejich fázi vývoje i vliv okolního prostředí na ně (Hnilička et al., 2015).

Rhodes a Nadolska-Orczyk (2001) však upozorňují, že vývoj rostliny je ovlivňován mnoha faktory z okolního prostředí, které mají vliv na její růst, funkci orgánů, nebo schopnost se rozmnožovat a v některých případech mohou způsobit i smrt rostliny. Autoři dále uvádí, že tyto vlivy bývají nazývány stresory a jejich vliv na rostlinu je velmi nesnadné sledovat, poněvadž nepůsobí nikdy individuálně. Stresorů na rostlinu vždy působí několik najednou a navzájem se mohou ovlivňovat a zesilovat a společně působí na jedince v různých kombinacích, kdy je těžké určit, který konkrétní stresor způsobuje konkrétní změnu v rostlině.

Sahu a Choudhury (2005) uvádí, že zelené rostliny přeměňují a uchovávají energii záření v podobě chemické energie ve své organické hmotě a přímo nebo nepřímo jsou potravou pro všechny ostatní organismy na Zemi. Podle uvedeného autora je produkce

definována jako množství organického materiálu (biomasy) vytvořeného organismem za určitý čas. Produkce primární je zajišťována autotrofními organismy, které díky fotosyntéze vytvářejí jednoduché sacharidy a z nich látky složitější. Hrubá primární produkce (GPP) je definována jako celkové množství energie fixované v rostlině, včetně energie využití při dýchání. Čistá primární produkce (NPP) je pak celkové množství energie fixované v rostlinném těle bez energie využití při dýchání. Podle Bláhy et al. (2010) přirozené ekosystémy dosahují vysoké GPP a jejich NPP se blíží nule. V umělých agroekosystémech je však žádoucí, aby NPP byla co nejvyšší. Při hodnocení těchto systémů se nejčastěji používá vztah hmotnosti sušiny biomasy k určitému času nutnému k jejímu vypěstování. Množství sklizené biomasy je výtěžek, který je z ekonomického hlediska nejpodstatnější. Množství produkce za čas se dle Saha a Choudhuryho (2005) nazývá produktivita.

Primární produkce je dle Bláhy et al. (2010) limitována množstvím dostupných zdrojů, mezi které patří sluneční záření, voda, CO₂ a živiny, a účinností fotosyntézy. S ohledem na tyto faktory se používá termín ekologická účinnost energie, která popisuje účinnost porostu ve využití slunečního záření pro tvorbu biomasy. Nedostatek jakéhokoliv zdroje v primární produkci negativně ovlivní a může ohrozit stabilitu ekosystému, která závisí na schopnosti autoregulace a snaze systému zůstat v rovnovážném stavu, tzn., že energie získaná fotosyntézou je rovna energii prodýchané. Každopádně co se týče umělých systémů, míra přírůstku biomasy je dle Gallaghery et al. (1999) zásadní, neboť cílem je její sklizeň, ať už se jedná o celé rostliny, či pouze o jejich část.

Vyšší míra růstu biomasy tedy přímo souvisí s vyšším výnosem a zde nachází uplatnění kalorimetrická měření, která dovedou velmi přesně popisovat specifické vlastnosti související s růstem rostlin a jejich možnou mírou výnosu. Příkladem mohou být kalorimetrická měření pro popis metabolických pochodů pletiv produkujících oleje, poněvadž produkce olejů v rostlinném pletivu přímo souvisí s chemickými vlastnostmi lipidů sklizeného produktu, a lze tak kvantifikovat produkční potenciál různých rostlin. Výsledky kalorimetrických měření také pomohly osvětlit vztah mezi mírou růstu a vlivem teploty na metabolismus rostliny. Označení konkrétní rostliny jako rostliny s vysokým růstovým potenciálem tedy musí být vždy doplněno o informace o konkrétních klimatických podmínkách, ve kterých je tento růst možné v plné míře využít (Gallagher et al., 1999).

Sekundární produkce je proces ukládání energie na úrovni konzumentů, heterotrofních organismů. Energie je přenášena do vyšších trofických úrovní predací. Kvůli druhému termodynamickému zákonu je však tento přenos energie značně neefektivní (Saha a Choudhury, 2005). Přenos energie o jednu trofickou úroveň se podle Lanea (2011) vždy snižuje přibližně o jeden řád.

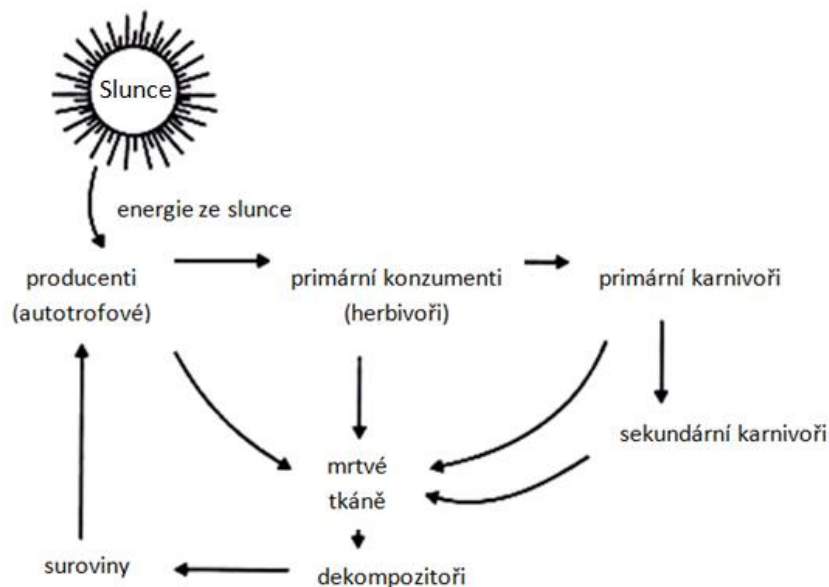
Sekundární produkce přeměňuje energii z rostlinné produkce na koncentrovanější energii v produktech živočišných, kdy se část organické hmoty navrácí zpět do půdy. Značná část rostlinné produkce je využita právě k produkci živočišné ve formě krmiv, která jsou hlavním zdrojem pro tok energie do živočišné výroby. Zjišťování obsahu energie v tkáních zvířat za pomoci spalné kalorimetrie a následné vytváření energetických bilancí by však bylo značně nepraktické, a jsou proto používány metody jiné, především hodnocení krmiv a podílu stravitelné energie v nich a násobení koeficienty. I v živočišné výrobě je třeba zajistit další vstupy energie jako ustájení a podobně. Při porovnání energetických vstupů do rostlinné

výroby a do výroby živočišné vychází živočišná výroba jako energeticky nepoměrně náročnější (Bláha et al., 2010).

3.4.3 Tok energie v ekosystémech

Spalná kalorimetrie nachází dle Bláhy et al. (2010) využití ve studiu toků energie v ekosystémech. Autor dále uvádí, že díky této metodě je možné zjišťovat množství energie na jednotlivých vstupech i výstupech a sledovat její transformaci. Studium toků energie v ekosystémech, viz obrázek 4, je důležité nejen v systémech přirozených, ale i umělých agronomických, kde může pomoci lépe pochopit a využít zdroje pro pěstování plodin nezbytných pro lidskou populaci.

Energie je dle Saha a Choudhuryho (2005) základní veličinou umožňující fungování jakéhokoliv ekosystému. Tato energie pochází primárně ze slunce. Solární energie zachycená rostlinnou biomasou je v rámci ekosystému předávána od organismu k organismu. Výzkum tohoto předávání energie je významný pro pochopení energetických vztahů mezi organismy. Pochopením toků energie v ekosystému je dle autora možné odhalit zdroje a dopady ztrát energie z ekosystému i kontrolovat a rozdělovat výstupy energie z nich. Takovým důležitým výstupem energie z ekosystému je například sklizeň biomasy. Díky rozdílné dostupnosti energie, ztrátám energie, míře primární produkce, struktuře ekosystémů, počtu trofických stupňů a jiným vlastnostem vzniká velké množství vzorů toků energie.



Obrázek 4: Schéma toku energie v ekosystému (upraveno podle <http://www.biologydiscussion.com/ecosystem/energy-flow-in-an-ecosystem-with-diagram/6740>)

Ze slunce je uvolňováno obrovské množství energie v podobě elektromagnetického záření dopadajícího na povrch atmosféry Země. To představuje asi $1,38 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ a tato hodnota je nazývána solární konstantou. Většina pro život na Zemi nebezpečných vlnových délek záření je pohlcena atmosférou, nabitě částice jsou odkloněny magnetosférou a na povrch proniká záření vlnových délek od 100 do 1000 nm. Z toho tvoří vlnové délky mezi

380 a 760 nm takzvané viditelné spektrum. Fotosyntetizující rostliny jsou nejvíce ovlivněny modrým (430-500 nm) a červeným (650-760 nm) spektrem. Právě v těchto spektrech záření se dle autora nachází taková kvanta energie, která dokáží excitovat elektrony v chlorofylu, a nastartovat tak fotosyntézu (Sahu a Choudhury, 2005).

Tento zdroj energie je však dostupný pouze ve dne a část této energie je dále atmosférou absorbována či rozptýlena, takže na povrch země se dostane přibližně jen 56 % energie záření dopadajícího na povrch atmosféry. Množství dopadající energie je samozřejmě ovlivněno také ročním obdobím, nadmořskou výškou, oblačností, konkrétním místem na planetě a momentální vzdáleností Země od Slunce. Tok energie probíhá mezi zdrojem (source) a příjemcem (sink). Slunce tak zajišťuje dva zásadní druhy energie pro život. Fotochemickou, která je absorbována fotosyntetizujícími rostlinami a přeměněna na chemickou, a energii tepelnou, která je zodpovědná za vodní cyklus a zahřívá atmosféru Země (Sahu a Choudhury, 2005).

Zachování a přenos energie podléhají dvěma zákonům termodynamiky definovaným v roce 1850 Clausiem. První zákon udává, že energie nemůže být vyrobena nebo zničena, může být pouze transformována na jinou. Energie může být přenesena z jednoho místa na jiné, ale celkové množství energie zůstává stejné. Druhý zákon uvádí, že kdykoliv se energie přeměňuje nebo přenáší, část se změní na nedostupnou tepelnou energii. Proto žádný proces není stoprocentně efektivní. Clausius při definování obou zákonů vycházel z práce Carnota, který může být považován za zakladatele termodynamiky. Měření této nedostupné energie v systému se nazývá entropie. Tento pojem definoval taktéž Clausius (Müller, 2007).

Druhým důležitým procesem po toku energie jsou cykly toků. Významný je cyklus živin, které jsou díky toku energie ze slunce za pomoci fotosyntézy produkovány primárními producenty z anorganických látek přijímaných z půdy, následně jsou poskytnuty dalším trofickým úrovním a přes dekompozitory se vrací zpět do půdy, kde mohou být využity opět primárními producenty (Marschner a Rengel, 2007).

Nepostradatelný je dle Braniše a Hůnové (2009) i cyklus vody, díky kterému je voda přístupná primárním producentům v půdě a bez které by nemohla probíhat fotosyntéza. Voda se dále výparem či odtokem vlivem gravitace či rozdílu gradientů přesouvá dále až do oceánů, kde díky toku energie ze slunce může být opět odpařena, atmosférou přemístěna v podobě vzdušné vlhkosti a srážek zpět nad pevninu a kondenzací se opět dostat do půdy a být znovu přístupná primárním producentům. Autor dále uvádí, že voda je také hlavním faktorem při pohybu jak živin, tak anorganických látek v půdě.

Podle Bláhy et al. (2010) je agroekosystém uměle vytvořený systém související se zemědělskou činností. Tok energie zde podle Strašila a Homolky (2005) probíhá v cyklu rostlinná výroba-živočišná výroba-půda.

Rostlinná výroba závisí na procesu fotosyntézy a na přidané dodatečné energii za tvorby biomasy primárními producenty (Bláha et al., 2010). Na rozdíl od bilancí přirozených ekosystémů se do těch umělých tedy započítávají i dodatečné energetické vklady. Cílem bilancí u umělých systémů je především optimalizace výrobních procesů vedoucích k vyšší efektivitě. I přes poměrně malé využití slunečního záření rostlinou se jedná o zásadní složku v energetické bilanci. Převyšuje totiž mnohonásobně energii získanou z energie dodatečné (Strašil a Homolka, 2005).

Při produkci biomasy je nutné počítat s nevratnými ztrátami energie v podobě tepla. Dále ne všechna vyprodukovaná biomasa je užitečnou složkou, skládá se i ze zbytků, či kořenového systému rostlin. Část této neúžitné biomasy se však vrací v podobě energie do půdy. Na základě takových znalostí je možné sestavovat energetické bilance skládající se ze: zisku (rozdíl vložené a získané energie), koeficientu (poměr získané a vložené energie) a účinnosti (podíl získané a vložené energie). Zde je nutné počítat s dodatkovými vstupy, které se značně liší v závislosti na pěstované plodině (Bláha et al., 2010). Dodatkové vstupy jsou často uváděné v podobě dodatkové energie, tedy energie do systému vložené člověkem, kde nevyšší podíl z těchto energií zaujímá energie z minerálních hnojiv (Stražil, 1998).

Z běžných zemědělských plodin pěstovaných v našem podnebném pásu má nejvyšší náročnost na dodatkovou energii, a to 39,87 GJ·ha⁻¹ cukrová řepa (*Beta vulgaris* L.). Na opačném konci je s nízkou potřebou vkladu dodatkové energie tolíce vojtěška (*Medicago sativa* L.) 12,85 GJ·ha⁻¹, tedy s nejvyšším přírůstkem energie na jednotku vstupů energie dodatkové (Stražil a Homolka, 2005). Případný podíl různých vstupů na celkové dodatkové energii je značně variabilní, ale vysoký podíl náleží především agrochemikáliím, které jsou však z energetického pohledu velmi náročné na výrobu. Vysoká bývá i složka fosilních paliv či závlahy (Bláha et al., 2010).

Samozřejmě ani fotosyntéza nemůže být stoprocentně účinná, jak uvádí Bláha et al. (2010). Dle autorů je její účinnost někde v rozmezí 25 % až 44 % co se týče absorpce záření a je ovlivněna mnoha faktory. Z pohledu čisté primární produkce za vegetační období však porost naváže obvykle pouze asi 1 až 2,5 % z dopadajícího záření. U nás dosahuje nevyššího využití dopadajícího záření cukrová řepa, a to až 2,7 %. Na druhé straně velmi nízkých hodnot dosahují pšenice setá (*Triticum aestivum* L.) a ječmen setý (*Hordeum vulgare* L.), pouze okolo 0,7 %. I tak je ale obsah rostlinné produkce v umělých agroekosystémech tvořen z 98 % energií slunečního záření a pouze z 2 % energií dodanou člověkem v podobě hnojiv či živé práce. Tato dodatková energie bývá podle autora využita z asi 62 %.

Rostlinné tělo, jak již bylo zmíněno, je tvořeno v závislosti na druhu a stáří přibližně z 95 % organickými sloučeninami uhlíku a zbylých 5 % tvoří popeloviny. Právě v těchto organických sloučeninách je uložena energie ze slunečního záření a v malé míře i energie dodatková. Při oxidaci organických látek a vzniku CO₂ je značná část energie přeměněna na teplo, které kromě regulace teploty již do dalších procesů nevstupuje a uniká ze systému. Vzniklý CO₂ však může znovu vstoupit do fotosyntetického cyklu (Bláha et al., 2010)

Z celkových průměrných dodatkových vstupů 30,19 GJ·ha⁻¹ zaujímá největší podíl energie spotřebovaná na výrobu chemických prostředků, a to 46,1 %, kde energeticky nejnáročnější je výroba průmyslového dusíku. Následuje energie z fosilních paliv s 22,3 %, energie na výrobu strojů s 12,8 %, energie na přípravu osiva s 9,9 % a energie živé práce s 9,4 % (Stražil a Homolka, 2005).

Energetické výstupy jsou nejvyšší u cukrové řepy s 214,31 GJ·ha⁻¹, oproti tomu u lilku bramboru (*Solanum tuberosum* L.) je to pouze 88,62 GJ·ha⁻¹. Pro vojtěšku je energetický výstup 107,08 GJ·ha⁻¹. Po sestavení energetických bilancí se jako nejpříznivější ukazuje bilance u vojtěšky, jak již bylo řečeno, s hodnotou 0,12 měrné spotřeby energie na 1 vyprodukovaný GJ plodiny. Ostatní významné plodiny následují s 0,19 pro cukrovou řepu, 0,24 pro pšenici a 0,43 pro brambory (Stražil a Homolka, 2005).

Jako praktický příklad bilance agroekosystému může být použita bilance cukrové řepy (*Beta vulgaris* var. *altissima* L.) a jejího pěstování na území ČR. Energetické zdroje byly rozděleny na přímé (paliva, stroje a chemikálie), nepřímé (energie potřebná na výrobu přímých zdrojů), obnovitelné (lidská práce a voda), a neobnovitelné (stroje, hnojiva a chemikálie). Energie uložená v rostlinách cukrové řepy byla měřena pomocí metody spalné kalorimetrie (Hnilička et al., 2018).

Hodnoty energetických vstupů byly pro všechny odrůdy, díky stejné použité výrobní technologii, stejné a vypočítané byly na $33,21 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Podobné hodnoty byly vyčísleny i pro obdobný výzkum v Německu, pravděpodobně díky podobným podmínkám pěstování a podobným pěstebním postupům, ale například v Turecku byly energetické vstupy vyčísleny skoro na $40 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, díky odlišným podmínkám i postupům a jejich úrovni. Nejvyšší podíl na vstupech byl zjištěn pro vstupy nepřímé, a to konkrétně na energii chemických látek, která tvořila 40 % z celkových vstupů (Hnilička et al., 2018).

Na druhou stranu nejnižší podíl na vstupech tvořila energie na osivo, a to pouze 2 %. Přímé energetické vstupy tvořily 22 % z celku. Z výsledků se podařilo také prokázat vliv genotypu na sledované parametry, a to jak na obsah energie v rostlině, tak na výši výnosu (Hnilička et al., 2018).

Další součástí výše uvedeného cyklu živin je půda, která je důležitým vstupem energie pro rostlinnou výrobu a následně z ní pro výrobu živočišnou. Díky různým organismům obývajícím tento prostor se organické zbytky přeměňují zpět na humus a živiny potřebné pro primární producenty. Toto je první způsob vstupu energie do půdy. Druhým je vstup energie do půdy ze slunečního záření, která je převážně využita na procesy spojené s koloběhem vody a na výměnu tepla. Pouze nepatrná část energie ze slunečního záření je přeměněna na energii v chemických vazbách. V půdě se energetické bilance stanovují za pomoci organické hmoty a dusíku v ní obsaženém. Sušina humusu v půdě se nachází v poměru uhlíku a dusíku 10:1. Z bilancí půdy lze odvodit, že podíl energie organických hnojiv na celkové energii vstupující do půdy je okolo 20 %, ale jejich přeměna na humus je podstatně příznivější, než je tomu například u zbytků kořenů rostlin (Bláha et al., 2010).

Dle Vilčeka a Bujnovského (2014) však půda kromě funkce ekonomické poskytuje i funkce sociální a environmentální, které jsou pro člověka taktéž významné a způsob, jakým se o půdu staráme, dále ovlivňuje její vlastnosti a možnosti jejího využití, stejně jako stabilitu ekosystémů, v rámci kterých se nachází. Je to především její schopnost zadržovat vodu, která je pro ekosystémy tak významná, ale i její schopnost přemísťovat a transformovat rizikové prvky v ní obsažené. Tyto funkce však dle autora často nejsou zohledňovány na úkor funkce produkční, tedy ekonomické.

3.4.4 Stresová fyziologie rostlin

Přežití rostliny závisí na její fyziologické odezvě na stresory působící na ni z prostředí. V ekologii a zemědělství je za stresor považován jakýkoliv vliv, který negativně ovlivňuje schopnost rostliny růst, vyvíjet se a reprodukovat se pod úroveň svého genotypového potenciálu (Osmond et al., 1987).

Během svého života je každá rostlina ovlivněna nějakým stresem či spíše kombinací více stresorů působících zároveň. Každá disturbance v ekosystému vyústí ve stres, který

ovlivní rostliny žijící v daném ekosystému. Mechanismus působení stresorů na buněčné úrovni je již poměrně dobře popsán, ale k pochopení ekologických dopadů působení stresorů na rostliny je třeba pochopit dopady jednotlivých stresorů z pohledu času a prostoru, vliv genotypu na odpověď organismu na stres, potenciál rostliny se stresu přizpůsobit a interakci mezi stresem a rostlinou (Osmond et al., 1987).

Stres je u rostlin vnímán receptory na buněčné membráně. Signál je poté dále veden po přirozeném směru proudu v rostlině a ústí v tvorbu sekundárních posílů, jako je například vápník. Tyto sekundární posílové dále mění úroveň vápníku v buňce. Změna v úrovni Ca^{2+} v cytosolu je vnímána proteiny zvanými Ca^{2+} senzory. Tyto senzory poté interagují se svými partnery a ovlivňují geny. Produkty těchto genů dále vedou k přizpůsobení rostliny na stres a pomáhají rostlině přežít. Rostlina tak odpovídá na stres na buněčné úrovni a zároveň na úrovni celé rostliny (Mahajan a Tuteja, 2005).

Rostlinné stresory se podle Bláhy et al. (2010) dají obecně rozdělit na biotické (paraziti, škůdci) a abiotické (teplota, voda, pH půdy, klimatické podmínky). Dle Osmonda et al. (1987) se na severní polokouli jeví jako nejzásadnější vliv teploty a dostupnosti vody a společně s dostupností a množstvím slunečního záření a biologickými stresory tvoří velmi komplexní gradienty, podél kterých rostou různé druhy rostlin přizpůsobených na dané podmínky.

Podle Osmonda et al. (1987) jsou při působení stresoru na rostlinu pozorovatelné dva druhy chování: tolerance a vyhýbání se stresu. Mechanismus tolerance dovoluje rostlině udržovat vysokou metabolickou aktivitu při středním ovlivnění stresorem a snížit její aktivitu při vysoké intenzitě stresu. Mechanismus vyhýbání se stresu dovoluje rostlině snížit autotrofní aktivitu a přejít do dormance při vystavení vysoké intenzitě stresu. Pro zemědělství jsou vybírány druhy odolné vůči různým typům stresů, ale zdá se, že tento způsob zvyšování produkce již dle uvedených autorů dosáhl svého stropu a další selekce pro zvyšování výnosu ve stresovém prostředí již nebude mít efekt.

Vystavení stresu má samozřejmě vliv na obsah energie v rostlině a jejich zkoumání je značně problematické vzhledem k tomu, že stresory téměř vždy působí v nějaké kombinaci. V případě biotických stresů, po napadení rostliny parazitem obvykle dochází ke zvýšení obsahu energie a zvýšení množství sacharidů v napadených orgánech (Bláha et al., 2010).

3.4.4.1 Biotické stresory

Podle Wrighta et al. (1995) se biotické stresory navzájem také ovlivňují. Parazit působí na tělo hostitele, ale i tělo hostitele a jeho metabolismus ovlivňují parazita, který může být dále ovlivněn parazitem kompetujícím s ním. Jedinec napadený patogenním organismem zpravidla vykazuje vyšší obsah energie, než jedinec patogenem neovlivněný a předpokládá se tak, že patogen nepřímo ovlivňuje míru fotosyntézy i respirace hostitelského organismu, a mění tak i sink a source energie v něm. Co se týká ovlivnění abiotickými stresory, ať už se jedná o nedostatek vody, či nízké pH půdy, dochází podle autora jejich vlivem k úbytku energeticky bohatých látek v biomase celé rostliny.

Lemoine et al. (2013) uvádí, že rostliny se během svého vývoje musí potýkat s mnoha druhy biotických stresorů, jako jsou různé druhy mikroorganismů, ale i s herbivory, či jinými rostlinami, které se chovají jako parazitické. Všechny takové organismy se vyvíjejí na úkor

cukrů produkovaných rostlinou a mohou ovlivnit transport cukrů floemem rostliny. Mikroorganismy se dle autora dále rozlišují podle způsobu jejich života na mutualistické a patogenní. Oba typy mikroorganismů mohou napadat jak orgány sinku, tak source, a mohou tak ovlivňovat vyváženost sink a source napadené rostliny.

Biologický stres je nejvyšší v tropických lesích a nejnižší na polárních pouštích. Jak ovlivňují biologické stresy oproti stresům prostředí rozmístění organismů podél gradientů je jedna z hlavních otázek, kterou se dle autora zabývá ekologie rostlin (Gallagher et al., 1999).

Pomocí kalorimetrických metod lze sledovat a posoudit aktivitu například houbových onemocnění rostlin a monitorovat tvorbu fungicidních metabolitů v nich. Kalorimetrii lze také využít k odhalení míry napadení uskladněné pšenice hmyzem. Změřena byla míra respirace hmyzu a naměřené hodnoty aplikovány na uskladněnou pšenici a sledována změněná míra tepla v ní (Gallagher et al., 1999). Na druhou stranu při vystavení rostliny stresům abiotickým dochází ke snížení obsahu energie v celé biomase. Abiotické stresory mají totiž negativní vliv na fotosyntézu a tvorbu asimilátů rostlinou. Toto má samozřejmě vliv i na kvalitu osiva, a tudíž vážný dopad na zemědělství (Bláha et al., 2010).

3.4.4.2 Abiotické stresory

Vysoké a nízké teploty jsou velmi běžné abiotické stresory. Metody kalorimetrické dokáží popsat dopad vysokých i nízkých teplot na rostlinná pletiva v závislosti na čase. U mnoha rostlin může být stabilita při nízkých teplotách spojena se schopností udržet dostatečnou míru respirace k překonání degračních účinků například fotooxidace probíhající při nízkých teplotách. Rostliny schopné udržet dostatečnou míru respirace při nízkých teplotách jsou schopny taková poškození opravit (Gallagher et al., 1999). Nízké teploty mají dle Lemoine et al. (2013) negativní vliv také na transport cukrů floemem.

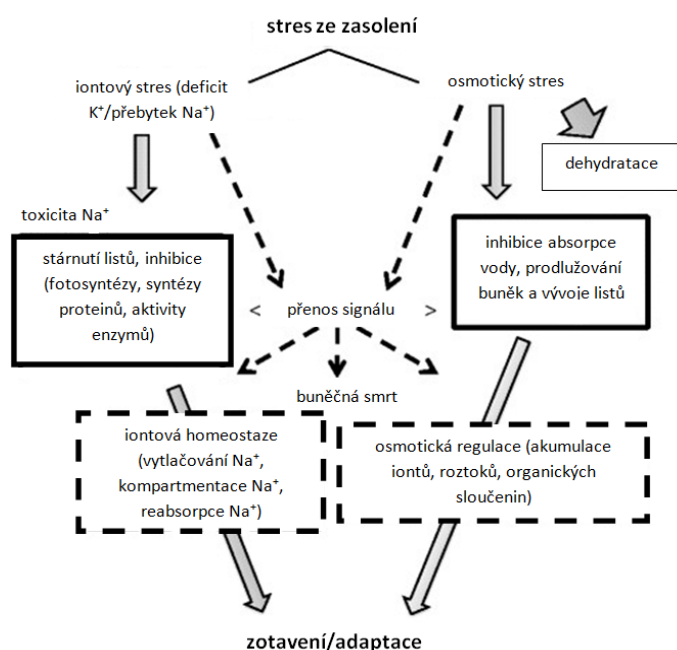
Rozšíření různých druhů rostlin je závislé především na klimatických faktorech a teplota je jedním z nejdůležitějších. Rostliny z prostředí, kde dochází ke značným výkyvům teplot, rostou například v prostředí se stabilnějším teplotním režimem hůře a mají pomalejší metabolismus, než ve svém původním prostředí, což je dáno převážně jejich genotypem. Vztah metabolismu a teplot může sloužit k určování vhodnosti různých druhů rostlin do různých prostředí (Gallagher et al., 1999). Podle Morisona a Lawlora (1999) se zvyšující se průměrnou teplotou na planetě a zvyšujícím se procentem CO₂ v atmosféře a většími výkyvy v teplotě je nutné se na tyto faktory zaměřit, poněvadž jejich společný vliv na rostliny a jejich společenstva je velmi komplexní a je třeba ho dále studovat.

Jedním z nejběžnějších rostlinných stresů je podle Bláhy et al. (2010) také stres z nedostatku vody. Coelho et al. (2019) uvádí, že s nárůstem využívání biomasy jako zdroje energie se tento problém týká nejen produkce potravin, ale i stability energetické produkce. Nejen z tohoto důvodu uvedený autor provedl výzkum na vliv stresu z vodního deficitu na cukrovou třtinu, která je často využívaným zdrojem biomasy pro produkci tepla a energie ve státech s příhodnými podmínkami pro její pěstování, jako jsou USA a především Brazílie, která je největším světovým producentem této plodiny.

Výroba energie z biomasy přímo závisí na energii získané při jejím spalování, proto je nutné sledovat nejen výnos z hektaru půdy, ale i spalné teplo, či výhřevnost na jednotku hmotnosti. Zde se opět uplatní metoda spalné kalorimetrie. U cukrové třtiny se hodnota

spalného tepla pohybuje v průměru kolem $18 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$, a i proto je cukrová třtina vhodná jako zdroj biomasy pro energetické účely. Ovšem stejně jako jiné rostliny i cukrová třtina je během svého růstu ovlivňována vodním deficitem. Nedostatek vody nemá vliv pouze na výtěžek z hektaru, ale může dále ovlivňovat i kvalitu produkce, jako je například její chemické složení. Z pohledu využitelnosti jako zdroje energie se nejběžněji z chemického hlediska sleduje zastoupení ligninu, celulosy a hemicelulosy v rostlinném materiálu, kdy energeticky nejbohatší je lignin s hodnotou $26,27 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$, což je o 30 % více, než u celulosy. Vzájemný poměr těchto složek je tedy velmi významný, závisí především na genotypu, ale může být ovlivněn i jinými faktory, jako jsou právě stresy (Coelho et al., 2019).

V Brazílii se podle Coelho et al. (2019) uskutečnil výzkum na vliv vodního stresu nejen na výtěžek, ale i jeho vliv na obsah spalného tepla produktu a jeho chemické složení. Výzkum byl proveden na 8 variantách cukrové třtiny, při 3 úrovních kapkového zavlažování (polní vodní kapacita PVK – 100 %, 75 % a 50 %) a ve 4 různých délkách a intenzitách vysušení před sklizením. Všechny vzorky byly poté dosušeny při teplotě 65°C a testovány v kalorimetru. Z výsledků vyplynulo, že spalné teplo se u různých částí rostliny nijak zásadně neliší. Použité závlahové dávky nijak neovlivnily hodnoty spalného tepla sledovaných rostlin, ale byl potvrzen vliv genotypu jak na produkci biomasy, tak na hodnoty jejího spalného tepla. Nejdůležitějším se tak dle autora ukázal vliv závlahy na výtěžek na jednotku plochy, kde rostliny pěstované v podmínkách PVK vykázaly dvojnásobný výtěžek oproti rostlinám pěstovaným při 50 % PVK.



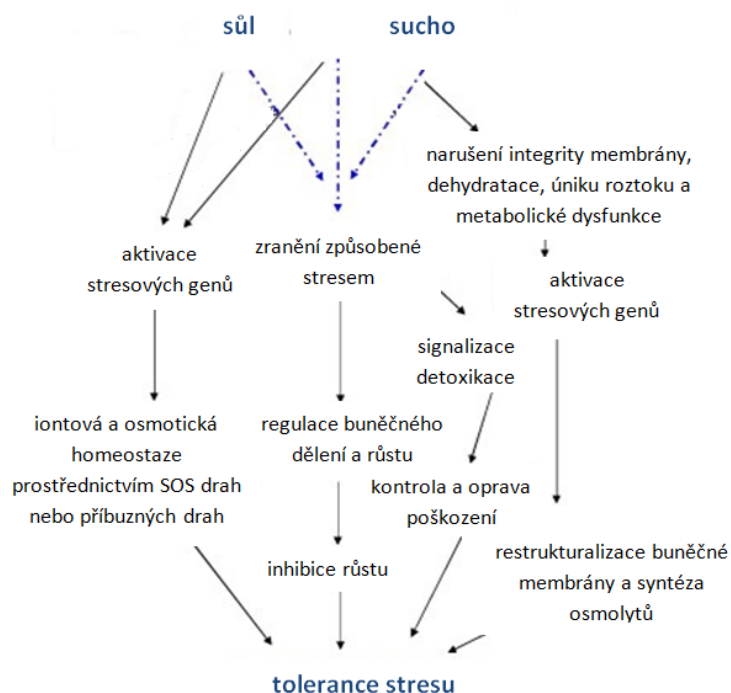
Obrázek 5: Adaptivní odpovědi rostlina na stres ze zasolení (upraveno podle <https://www.intechopen.com/books/responses-of-organisms-to-water-stress/comparison-between-the-water-and-salt-stress-effects-on-plant-growth-and-development>)

Zasolování půd je velmi závažným stresorem, který se přímo dotýká rostlinné produkce, kdy podle odhadů dojde ke ztrátě až 50 % orné půdy do poloviny 21. století právě v důsledku zvýšené salinity. Zasolení půdy závisí na mnoha faktorech. Důležitá je míra evaporace a srážek a také eroze hornin. Zemědělské půdy, které byly intenzivně zavlažovány,

také vykazují vysokou salinitu, jsou totiž v sušších oblastech, kde dochází k vysoké míře evapotranspirace a soli rozpuštěné ve vodě určené k závlaze se postupně koncentrují v půdě. Zemědělsky využívané rostliny jsou na míru zasolení velmi citlivé, včetně rýže, sóji a kukuřice (Mahajan a Tuteja, 2005).

Vysoký obsah sodných kationtů v půdě mění strukturu půdy, neboť snižuje pórovitost, a tedy její provzdušnění i retenční vlastnosti. Stres ze zasolení, viz obrázek 5, tak vede k nedostatku vody. Dochází k narušení iontové vyváženosti, kdy nadbytek Na^+ snižuje potenciál membrány a usnadňuje příjem Cl^- . Na^+ je toxický pro buněčný metabolismus a ovlivňuje funkce některých enzymů. Vysoká koncentrace Na^+ zapříčiňuje osmotickou nevyváženost a vede také ke snížení fotosyntetické aktivity i oxidativnímu stresu. Na rozdíl od sodného kationtu, který je pro rostlinu toxický, kationt draselný je esenciálním prvkem a rostlina ho nutně potřebuje k vyrovnávání osmotického tlaku, k plné funkčnosti stomat a také je kofaktorem mnoha enzymů. Mnoho transportních systémů K^+ vykazuje jistou afinitu vůči Na^+ , sodný kationt tak často proniká do buněk namísto K^+ (Mahajan a Tuteja, 2005).

Dalším významným iontem je pro rostlinu Ca^{2+} , který poskytuje jistou toleranci vůči zvýšené salinitě. Zvýšená salinita způsobuje zvýšený obsah Ca^{2+} v cytosolu, který je transportován z apoplastu a jeho vyšší obsah v cytosolu iniciuje pro rostlinu signál k adaptaci na vyšší zasolení (Mahajan a Tuteja, 2005).



Obrázek 6: Schéma mechanismu tolerance zasolení a vodního stresu u rostlin (upraveno podle <https://www.intechopen.com/books/responses-of-organisms-to-water-stress/comparison-between-the-water-and-salt-stress-effects-on-plant-growth-and-development>)

Vyšší salinita, která velmi často působí jako stresor zároveň se suchem, vede také ke snížení obsahu vody v buňkách, viz obrázek 6. Aby této ztrátě rostlina zamezila, akumuluje v buňkách mnoho různých metabolitů s osmotickou funkcí, které nijak neomezují její

metabolickou aktivitu a díky snižování vodního potenciálu v buňce zamezují ztrátě vody z ní (Mahajan a Tuteja, 2005).

Jak však uvádí Mořková et al. (2014), důležité je udržení dostatečně vysokého poměru K^+ ku Na^+ . K udržení vody v buňkách jsou dále syntetizovány aminokyseliny, sulfonové sloučeniny a cukerné alkoholy, které se nacházejí v cytosolu. Dalším důležitým osmoprotektantem je podle autorky například glycinbetain nalezený u čeledi *Poaceae*, což je amoniová sloučenina syntetizovaná v chloroplastech. Významný je i prolin nacházející se také v cytosolu, který kromě osmoprotektivní funkce pomáhá regulovat množství využitelného dusíku.

Zcela zásadní význam pro toleranci rostliny k zasolení i jiným stresům má její genotyp. Tolerance k zasolení je závislá na mnoha genech a jejich vzájemném působení, tedy další studium v tomto oboru je nezbytné pro pochopení principu tolerance a pro možné uplatnění v produkci potravin (Liang et al., 2018). V rámci pochopení tolerance k zasolení se jeví jako velmi vhodné studium rostlin, které takovouto toleranci mají přirozeně, např. merlík čilský (*Chenopodium quinoa* L.), který dokáže akumulovat ionty solí v pletivech a regulovat tak vodní potenciál v listech, a tím předejít poškození (Schabes a Sigstadová, 2005).

Stres působený salinitou může být zkoumán pomocí kalorimetrických metod. Měřeno může být metabolické teplo při různých mírách zasolení či spalné teplo. Některé rostliny, jako například ječmen setý (*Hordeum vulgare* L.), snášejí zasolení do určité míry beze změn produkce metabolického tepla, ale od určité koncentrace tato produkce rapidně klesá. Ale například bytel metlatý (*Bassia scoparia* L.) reaguje na zasolení skoro lineárním snižováním produkce metabolického tepla (Gallagher et al., 1999).

Mezi významné abiotické stresory dle Schabese a Sigstadové (2005) bezesporu patří rizikové látky, které se ve zvýšené míře vyskytují v antropogenně ovlivněné krajině, například po těžbě či průmyslovém zpracování kovů. Autoři dále uvádí, že rostliny jsou těmito stresory silně ovlivnitelné vzhledem ke své schopnosti akumulovat je ve svých pletivech a tyto naakumulované prvky poté ovlivňují energii uloženou v rostlinách. Tyto látky se opět dostávají do půdy ve formě odpadu z rostlin a stávají se součástí humusu, kde mohou ovlivňovat cyklus výměny živin. Důležité je dle uvedených autorů brát v potaz i nadmořskou výšku, ve které rostliny rostou, protože ta má zásadní vliv na výskyt i koncentrace těchto prvků především kvůli jejich různé reakci a pohyblivosti v návaznosti na PH půdy.

Vliv těžkých kovů na rostliny studovali na Slovensku např. Kuklová et al. (2017). Autoři sledovali vliv Cd, Zn a Cu na silně antropogenně ovlivněném území Spišska na transport těchto prvků mezi rostlinou a půdou a změřili změny energie v půdě a rostlinách v návaznosti na obsah těchto prvků v nich se souběžným zhodnocením vlivu nadmořské výšky na jejich výskyt i koncentrace. Podle těchto autorů je obsah energie v půdě výrazně vyšší v nadmořských výškách nad 960 m. n. m. nejspíše z důvodu pomalejšího rozkladu organického materiálu. Vztah mezi energií uloženou v půdě a koncentrací kovů v ní byl u Zn negativní a u Cu výrazně negativní. Dále byl pozorován také vztah, kdy zvyšující se koncentrace Zn a Cu souvisela se snižujícím se obsahem energie v půdě v případě Cd i s energií uloženou v listech buku.

Mezi abiotické stresory dle Gallaghery et al. (1999) patří také herbicidy. Kalorimetrická metoda na zjištění vlivu herbicidů na rostliny spočívá dle uvedeného autora v měření rozdílů metabolických odpovědí mezi biotopy odolnými vůči herbicidům a biotopy na

ně citlivými. Herbicidy se aplikují na mladé rostliny a poté se měří míra produkce metabolického tepla meristemických pletiv. Díky kalorimetrii se dá velmi rychle odhalit míra odolnosti plevelů na herbicidy, a může tak pomoci v boji s nimi v umělých systémech.

3.4.5 Spalné teplo a vliv nepůvodních a invazivních druhů

S invazivními a nepůvodními druhy rostlin je možné se setkat skoro na všech místech světa. Změny složení druhů na různých místech mohou mít různé důvody. Od změn klimatických, kdy nové místní podmínky lépe vyhovují druhům jiným, než které jsou považovány za původní, po zavlečení nových druhů do nepůvodního prostředí lidmi z důvodů potravinářských či jen z důvodů čistě okrasných (Dibble et al., 2007). V této souvislosti je třeba zaměřit se na možnost ovlivnění ekosystémových služeb, v rámci jejichž vylepšování jsou často zavlékány nepůvodní druhy rostlin, které ale ve výsledku původní ekosystém poškozují a negativně ovlivňují ekosystémové služby jako celek (Potgieter et al., 2019). Často tak podle Dibbleho et al. (2007) dochází k vytlačování původních druhů novými, například kvůli vyšší odolnosti vůči místním herbivorům či nemocem, nebo jsou i nemoci s druhy na nová místa zavlečeny a decimují druhy původní, což sebou přináší mnoho důsledků.

Mnoho regionů světa je často postihováno požáry, a je tedy nutné se také zaměřit na aspekt, jaký vliv mají nepůvodní druhy rostlin na vznik či šíření požárů. Za pomoci kalorimetru byly zkoumány vzorky listů a výhonů 21 neinvazivních původních druhů a 21 invazivních, z toho 18 nepůvodních druhů rostlin z 12 oblastí severovýchodu USA. Z výsledků kalorimetrických měření nebyl zjištěn konkrétní trend ve vyšším obsahu spalného tepla u invazivních či neinvazivních rostlin. Některé invazivní druhy vykazovaly nižší hodnoty spalného tepla než některé druhy neinvazivní. Na místech s vyšším výskytem druhů invazivních byly pozorovány oproti místům s původními druhy změny v zápoji, výskytu i výšce keřového patra, ale i v hmotě opadu. Místa bez invazivních rostlinných druhů měla řidší a nižší keřové patro a více hmoty opadu a na některých místech vytvořily invazivní druhy, například lipnice hajní (*Poa nemoralis* L.), velmi hustou přízemní vrstvu velmi dobře hořlavého materiálu (Dibble et al., 2007).

Takovéto změny v porostu mohou přímo ovlivňovat frekvenci výskytu a rozsah požárů. Riziko požárů na rozhraní neobývané a lidmi obývané půdy, tzv. WUI (wildland-urban interface), je ovlivněno vzrůstajícím počtem obydlí na tomto rozhraní, ale také opětovným zalesňováním, přírodními pohromami a vyšší úmrtností porostů napadaných škůdci a nemocemi. Pokud se invazivní druhy dostanou do porušeného porostu, mohou velmi rychle omezit i vytlačit druhy původní, a to zejména v blízkosti lidských sídel, která mohou sloužit jako zdroj těchto druhů. Avšak ne všechny invazivní druhy potřebují porušený porost pro svoji úspěšnou kolonizaci, jako třeba dřívěšník Thunbergův (*Berberis thunbergii* DC.), který úspěšně proniká i do vzrostlého zdravého lesního ekosystému (Dibble et al., 2007).

Frekvence a rozsah požárů je ovlivněn spalným teplem každého rostlinného druhu. Teplo produkované při hoření je nepostradatelnou veličinou při modelování požárů pro konkrétní místa a porosty a údaje získané z kalorimetrických měření přispívají k přesnějším modelům požárů porostů s novým druhovým složením, především v případech, kdy u některých invazivních druhů bylo naměřeno ve vzorcích vyšší spalné teplo, než u neinvazivních. Například u invazivního zimolezu japonského (*Lonicera japonica* Thunb.) a

janovce metlatého (*Cytisus scoparius* L.) byly naměřeny vysoké hodnoty spalného tepla, a to $14,48 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ a $16,92 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$. Naopak invazivní trnovník akát (*Robinia pseudoacacia* L.) vykazoval nízké hodnoty energie uvolněné při hoření, a to $11,28 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$. Nižší hodnoty spalného tepla konkrétního vzorku také mohou být více než vyrovnány rychlostí nárůstu biomasy rostliny, ze které vzorek pochází i dalšími jejími vlastnostmi. Ke zvážení je ovšem také myšlenka, že některé ekosystémy jsou přirozeně požárům pravidelně vystavovány a druhy nejen rostlinné jsou těmto disturbancím přizpůsobeny, tudíž zamezování vzniku požárů může vážně a nenávratně poškodit tyto ekosystémy. Na změnu druhové skladby je tak nutno pohlížet komplexně a brát v potaz všechny faktory, které mohou přímo i nepřímo ovlivňovat nejen zvyšování rizika požárů (Dibble et al., 2007).

3.5. Obnovitelná energie z biomasy

Lidé využívají biomasu k produkci tepla od pradávna. V dnešní době, kdy se tak často mluví o dopadech vyčerpání ropných zásob na celý svět, se jeví spalování biomasy opět jako výborný a znovuobnovitelný zdroj energie pro lidstvo. Je důležité si uvědomit, že ideální je spalovat biomasu s vysokou výhřevností a rychlým nárůstem jejího objemu, tudíž je nutné pro tyto účely pěstovat rostliny vhodné pro dané klimatické podmínky. Zaměření na využití moderních technologií při produkci energie z obnovitelných zdrojů, včetně těch zemědělských, je možné pozorovat celosvětově (Szyszlak-Bargłowicz et al., 2012).

Energie získaná z biomasy se na celkové světové energetické produkci podílí asi ze 14 %, ale v rozvojových zemích je tento podíl často mnohem nižší. Ve vyspělých zemích je podíl energie získané z obnovitelných zdrojů významný a do budoucna se bude zvyšovat (Szyszlak-Bargłowicz et al., 2012).

V ČR se využíváním obnovitelných zdrojů včetně biomasy zabývá energetická koncepce státu, kterou formuje vláda ČR. Tato koncepce stanovuje cíle a priority energetiky v ČR, kdy se snaží dosáhnout cenově dostupné, spolehlivé a udržitelné energie pro průmysl i domácnosti. Hlavním parametrem je správný energetický mix, který k těmto cílům povede a jehož součástí je i akční plán pro biomasu. Energie z obnovitelných zdrojů se na spotřebě energie v ČR momentálně podílí z 8,3 % a cílem je do roku 2020 dosáhnout podílu 13 %, a to především za využití biomasy (Státní energetická koncepce České republiky, 2014). Tento trend je možné pozorovat již dnes. Důležitý vliv na něj má především to, že spalování biomasy se jeví jako CO_2 neutrální, poněvadž CO_2 uvolněné při jejím spalování do atmosféry je opět využito rostlinami při jejich růstu a produkci biomasy nové, oproti uvolňování CO_2 z fosilních paliv, kde je CO_2 vázáno miliony let a do atmosféry by se bez lidského přičinění zpět neuvolnilo (Szyszlak-Bargłowicz et al., 2012).

Podle Szyszlak-Bargłowicze et al. (2012) je v Polsku využívána přednostně biomasa získávaná z lesnictví, údržby veřejných a obecních zelených ploch a z organické části odpadů. Do budoucna se uvažuje o značném využití rostlin s vysokou mírou obnovy, jako jsou vrba, vlákeň a ozdobnice. Zvyšující se míry využívání spalování biomasy pro produkci energie v Polsku si všímá Sherrard (2016), který uvádí, že v regionu Lębork, který je značně zemědělsky orientován, byla za pomoci mezinárodního projektu přebudována stará uhelná elektrárna na moderní kogenerační elektrárnu pro spalování biomasy, která využívá nejen

vedlejší produkty zemědělství, ale právě i zde pěstované rychle rostoucí dřeviny, jako je například vrba.

Vrba jako druh je rozšířena od tropických po arktické oblasti, a jeví se tak jako vhodná pro výzkum jejího využití jako zdroje energie díky rychlosti svého růstu a rychlosti obnovy biomasy po sklizení (Christian et al., 2008). V Polsku jsou nejčastěji jako zdroj energie pěstovány vrby *Salix viminalis* L. a *Salix purpurea* L. a různé jejich hybridy. Biomasa pocházející z vrbových plantáží může být sklizena v 1, 2, 3 nebo 4ročních cyklech po dobu až 25 let. V závislosti na pěstované variantě, půdě, cyklu a agronomických procedurách je výtěžek z vrbových plantáží až 18 tun na hektar. Takto sklizená biomasa může být pálena, nebo využita k produkci metanolu. Nespornou výhodou vrby je možnost jejího pěstování na degradovaných půdách například po těžební činnosti, i když v tomto případě bude výtěžek samozřejmě nižší (Szyszlak-Bargłowicz et al., 2012).

Vlákeň oboupohlavná (*Sida hermaphrodita* L. *Rusby*) pochází původně ze severní Ameriky a je velmi tolerantní ke kvalitě půdy. Výtěžek biomasy se pohybuje v průměru 15 až 20 t·ha⁻¹. Výhodou této rostliny je podle Borkowské et al. (2009) různé množství vody v ní obsažené podle období sklizně. Při zimní sklizni je obsah vody ve sklizené biomase o 20 % nižší, než při sklizni na podzim. Spalné teplo sušiny je 18,7 kJ·g⁻¹.

Vhodnou rostlinou pěstovanou pro sklizeň biomasy je také ozdobnice obrovská (*Miscanthus × giganteus*) dlouhá léta používaná pouze jako okrasná tráva. K produkci biomasy je využívána od 80. let a nyní je pěstována na mnoha místech světa. Tato tráva bývá vysazována na 15 let a výnos suché biomasy je až 26,3 t·ha⁻¹ a sklizena je jednou ročně (Christian et al., 2008).

Ze všech používaných metod je spalování nejběžnější a nejpropracovanější metodou získávání energie z biomasy. Způsoby spalování se odvíjejí od charakteristik spalované biomasy, jako jsou obsah vody, vlastnosti popelovin a spalné teplo. Spalné teplo popisuje obsah energie v biomase, a je tak základním parametrem při využívání biomasy pro spalování (Szyszlak-Bargłowicz et al., 2012). Další charakteristikou je obsah fixovaného uhlíku a těkavých látek, obsah popelovin, obsah alkalických kovů a poměr celulózy a ligninu (McKendry, 2002).

Spalovaná biomasa se z 97 až 99 % skládá z O, H a C. Množství C a H pozitivně ovlivňuje hodnoty spalného tepla, kdy se oba tyto prvky oxidují během exotermní reakce, zatímco obsah O se na hodnotě spalného tepla podepisuje negativně (Szyszlak-Bargłowicz et al., 2012).

Co se týče využívání biomasy k získávání energie, velmi problematický je obsah vody v ní, obvykle tvoří 50 % hmotnosti po sklizni. Obsah vody je značně variabilní v závislosti na sklizeném druhu i na ročním období sklizně (Szyszlak-Bargłowicz et al., 2012). Vlhkost biomasy ale může být rozdělena na dva typy ovlivňující její využití pro energetiku. Kromě vlhkosti obsažené v rostlině samotné je třeba také brát zřetel na vlhkost způsobenou vlivy počasí, která se při převozu i spalování může také ekonomicky projevit (McKendry, 2002).

Spalování materiálu s vysokým obsahem vody značně snižuje jeho spalné hodnoty a vysoušení před spalováním zvyšuje náklady. Dalším problémem je hmotnost vody obsažené v biomase s ohledem na přepravu na místo spalování, které bývá většinou velmi vzdálené od místa sklizně, což opět značně zvyšuje náklady. Zatímco běžná biomasa obsahuje okolo 50 %

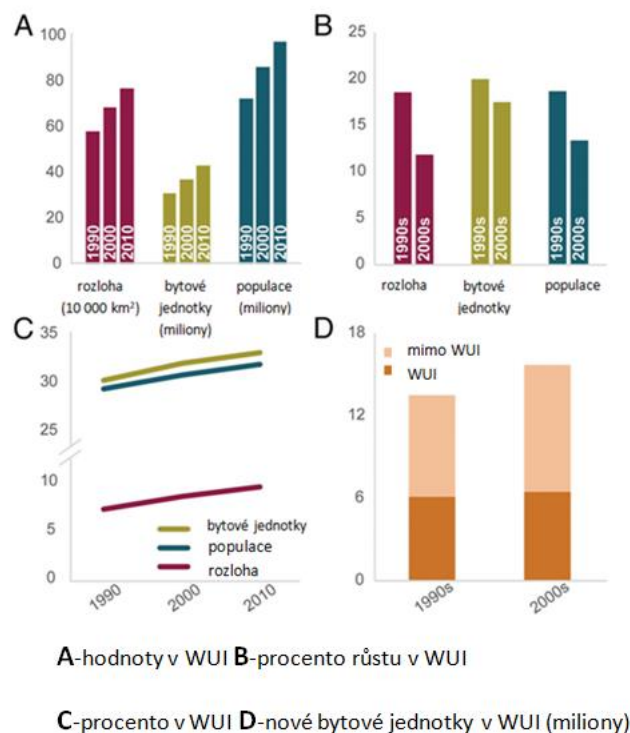
vody, obsah vody ve vlákni oboupohlavné při zimní sklizni je poloviční, tudíž 25 %. Využívání této rostliny k účelům získávání energie se tak jeví perspektivně, vzhledem ke snížení nákladů spojených s přepravou a následným vysoušením. V evropských klimatických podmínkách dorůstá vlákeň do výšky až 4 metrů a velké lány této rostliny mohou působit nevzhledně, především pokud bude sklizena až v zimě. Na druhou stranu tento vysoký hustý porost může poskytovat útočiště pro mnohé druhy ptáků a savců mnohem lépe než pole porostlá třeba kukuřicí (Szyszlak-Bargłowicz et al., 2012).

Využívání biomasy k produkci energie může také pozitivně ovlivňovat závislost na fosilních palivech dovážených často z jiných částí světa a ze zemí, které bývají nestabilní, což představuje riziko pro ekonomiku země (Szyszlak-Bargłowicz et al., 2012).

Jedním z možných řešení problému s nedostatkem energie může být spalování biomasy z nevyužitých zbytků ze zemědělské produkce, a to především v zemích, které disponují vhodnými podmínkami pro pěstování rostlin, nebo v zemích s velkým objemem zbytků z jejich zpracování. Velmi významným a málo využívaným rostlinným zbytkem jsou obaly obiliek rýže. Zemí, která disponuje obrovským množstvím zbytků biomasy právě z rýžových obalů, je Turecko. V Turecku se uskutečnil pokus zaměřený na spalování těchto zbytků a biomasy z ozdobnice a topolu. Za pomoci metod DSC a TGA byl zjištěn nejvyšší bod vzplanutí u vzorku obalů rýže. Při rychlejším spalování vykazoval vzorek obalů rýže také nejvyšší hodnotu uvolněného tepla, a jeví se tudíž vhodným na využití pro získávání energie spalováním (Kok a Özgür, 2013).

3.6. Energie rostlin a riziko požárů

Počet lidských obydlí na rozhraní neobývané a lidmi obývané půdy (WUI) narůstá (Radeloff et al., 2018), viz obrázek 7. Požáry v takových oblastech nejsou ničím novým, ovšem se zvyšujícím se počtem lidských obydlí na tomto rozhraní a zvyšující se hustotou těchto osídlení značně roste riziko přenosu požárů z vegetace na domy a obráceně i mezi nimi navzájem. Z těchto důvodů je nutné vytvořit nové modely chování požáru v těchto lokalitách a stanovit pro ně doporučení. WUI je komplexní prostředí plné hořlavých prvků jak rostlinných, tak lidmi postavených (Mahmoud a Chulahwat, 2018). V řídké osídlených oblastech převládá vliv hoření porostu, ale v hustěji osídlených lokacích hoření lidských struktur značně ovlivňuje chování požáru a dochází k vytváření speciálních vzorců šíření požáru. Většina modelů požárů nedokáže pojmout komplexnost tohoto prostředí a ještě ji vztáhnout na různé stupně hustoty zastavění prostoru. Různé kombinace běžné a okrasné vegetace a různých struktur vytváří specifické prostorové vzorce, které ovlivňují šíření požáru (White a Zipperer, 2010). Na zamezení či zpomalení šíření požáru jistá doporučení již existují. Jedná se především o úplné odstranění vegetace v okolí budov (Doran et al., 2004). To má ale negativní vliv na zadržování vody, náklady na energie, hluk či soukromí. Vhodné je vysazovat méně hořlavé rostliny a odstraňovat jejich odumřelé části, což dovoluje zachovat ostatní funkce porostu oproti celkovému odstranění a zachovat nižší riziko vzniku a šíření požáru (White a Zipperer, 2010).



Obrázek 7: Trendy v WUI v USA (upraveno podle <https://www.pnas.org/content/115/13/3314>)

Na světě je používáno mnoho propagačních modelů šíření požárů, které používají výzkumníci i agentury zabývající se požáry, jako jsou National bushfire model, FARSITE, či WIFIRE a mnoho dalších (Mahmoud a Chulahwat, 2018). Seznamy vhodných rostlin pro různé účely a podmínky již samozřejmě také existují, seznamy rostlin pro tvorbu krajiny ve WUI jsou však často zavádějící a plně vědecky neodůvodnitelných chyb. Podle Whitea a Zipperera (2010) je nutné hodnotit všechny aspekty rostlin odpovědné za jejich hoření za užití různých technik měření a vytvořit standardizované seznamy vhodných rostlin. Jako zásadní se při tomto výzkumu ukazuje kalorimetrická metoda měření spotřeby kyslíku rostlinou, poněvadž je možné ji použít pro zjišťování hořlavosti rostliny jako celku. Abychom mohli hovořit o hořlavosti, je nutné vědět, co to je a jak se dá popisovat. Hořlavost bývá dle uvedeného autora popisována čtyřmi vlastnostmi:

Vznětlivost. Vznětlivost je nejčastěji popisována jako minimální teplota, nebo tepelný tok nutný ke vznícení, či jako čas nutný ke vznícení při vystavení externímu zdroji tepla.

Snadnost hoření (kombustibilita). Snadnost hoření odráží rychlost, jakou bude oheň spalovat vzorek po vznícení. Náchylnost k šíření požáru je velmi často zmiňována v souvislosti s hořlavostí, a tak v pokusech zabývajících se šířením ohně je kombustibilitou popisována rychlost šíření plamene.

Udržitelnost. Udržitelnost popisuje, jak bude hoření pokračovat s nebo bez externího zdroje tepla.

Spalitelnost. Spalitelnost popisuje, jak velká část rostliny je při hoření spálena.

Hořlavost vegetace vždy znamená dopad vznětlivosti na ostatní tři popsání vlastnosti, poněvadž bez vznícení jsou ostatní tři vlastnosti irelevantní. Vzájemná propojenost všech čtyř

vlastností ukazuje na nutnost komplexity při popisu hořlavosti. Jak udržitelnost tak vznětlivost jsou měřeny časem, spalitelnost změnou hmotnosti a struktury. Tato měření jsou tudíž jasně definována a jejich výsledky lze snadno porovnávat. Kombustibilita je problematictější a její měření a výsledky závisí na zvolené použité technice, a je tedy třeba do budoucna pro toto měření vytvořit standardizaci (White a Zipperer, 2010).

Hořlavost je samozřejmě ovlivňována mnoha faktory, které se dají rozdělit do dvou skupin. Zprvce fyzická struktura, jako jsou tvar, povrch a velikost listu, či zastoupení a rozmístění odumřelého materiálu. Zadruhé fyziologické a buněčné složky, jako jsou těkavé látky, vlhkost, zastoupení ligninu či vosků (White a Zipperer, 2010). Pro použití v praxi byly stanoveny také tři typy vzorků, a to části rostlin, celé rostliny a skupiny rostlin. Pro celé rostliny a jejich skupiny je zásadní také jejich prostorové uspořádání biomasy. Vliv má i uspořádání větví, opadavost či neopadavost, hustota olistění či zápoj, ale i výskyt dalších hořlavých materiálů, tudíž hořlavost není dána pouze druhově, ale značný vliv má i prostředí, v němž se rostlina nachází (Doran et al., 2004).

Největší vliv na hořlavost má dle Whitea a Zipperrera (2010) vlhkost rostlin i prostředí, poněvadž zvyšuje tepelnou kapacitu tkání a ovlivňuje chemické reakce hoření. Při zkoumání hoření a jeho šíření se používá řada metod od vizuálních po infračervené snímkování, ale až kalorimetrická metoda měření spotřeby kyslíku nabídla sledování chování vegetace během testů. Vystavení zdroji žaru probíhá třemi typy přenosu tepla: konvekcí, kondukcí a zářením.

Aplikace laboratorních výsledků na přírodní podmínky není však vždy přesná a vyžaduje mnoho pozorování hoření rostlin v přírodních podmínkách k popisu jeho chování (White a Zipperer, 2010). Tyto výzkumy však mohou být do budoucna velmi prospěšné, neboť pouze americká vláda vydá ročně přes 2 miliardy dolarů (2017) na boj s požáry (Radeloff et al., 2018). Pro testování malých vzorků a jejich spalných charakteristik se podle Whitea a Zipperera (2010) běžně používá TGA, DTA i DCS, ale díky vývoji v oboru kalorimetrie, i nové mikroškálové spalné kalorimetry a pyrolýzo-spalné kalorimetry.

Adiabatický kalorimetr je snadno dostupný díky svému širokému využití a poskytuje informace o teple uvolněném při úplném spálení materiálu, a je tak vhodný pro identifikaci vegetace s vysokým podílem vysoce hořlavých látek, jako jsou například pryskyřice či těkavé látky. V nelaboratorních podmínkách však často k úplnému spálení nedojde a zůstávají tak uhlíková rezidua, která jsou jinak v kalorimetru spálena. Vysoké zastoupení ligninu v rostlině tak při hoření v běžných podmínkách zapříčiňuje vznik více uhlíkových reziduí a vznik méně hořlavých plynů, a tepelná efektivita se tak snižuje. Tepelná efektivita hoření v běžných podmínkách je tak mnohem nižší, než ta naměřená adiabatickými kalorimetry (White a Zipperer, 2010).

Novější metodou je kalorimetrie spotřeby kyslíku, která se hojně využívá při testech hoření po celém světě (White a Zipperer, 2010). Tato metoda podle Babrauskase a Graysona (1992) funguje na principu výpočtu množství tepla uvolněného při měření spotřeby kyslíku v odváděných plynech. Tuto metodu je možná dle autora aplikovat díky známé průměrné hodnotě výhřevnosti materiálů tvořených C, H, O a N. Ta je stanovena na $13,1 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ kyslíku. Měření uvolněného tepla pouze za pomoci měření spotřeby kyslíku v odváděných plynech značně zjednodušilo metody popisu charakteristik souvisejících s hořením a umožnilo aplikovat měření na celé objekty včetně celých těl rostlin. Kromě uvolněného tepla lze dále měřit ztrátu hmoty, kombustibilitu i čas nutný ke vznícení. Bohužel, jako u jiných

kalorimetrických metod, ani u této není bráno v potaz proudění vzduchu v systému (White a Zipperer, 2010).

Seznamy rostlin vhodných pro různé podmínky se již staly součástí snahy o ochranu proti požárům na rozhraní WUI a majitelé obydlí a pozemků v těchto lokalitách mohou díky nim lépe chránit svůj i cizí majetek. Tyto seznamy i přes množství chyb a nepřesností v nich obsažených slouží jako doporučení (White a Zipperer, 2010). Bohužel hlavním kritériem vždy bude voda, a pokud je porost vyschlý, bude hořet nehledě na to, z jakých konkrétních rostlin se bude skládat, ale díky odborně sestaveným seznamům doporučených rostlin se může alespoň snížit rychlost šíření požárů, či snížit riziko jejich vzniku (Doran et al., 2004). University of California dala dohromady mnoho těchto vydaných seznamů a zhodnotila 598 druhů rostlin v nich uvedených. Po přezkoumání všech druhů uvedených v těchto seznamech bylo zjištěno mnoho doporučení navzájem konfliktních a dokonce vybráno 17 druhů, které jsou, co se týká vzniku a šíření požárů, zcela nevhodné. Dalším zjištěním bylo, že mnoho seznamů a druhů rostlin uvedených v nich je pouze přejato ze seznamů jiných a vůbec tak nemusí odpovídat klimatickým podmínkám v místech, pro něž byly poté vydány. Většinou však byly seznamy vyhodnoceny jako prospěšné (White a Zipperer, 2010).

Příkladem využití seznamů doporučených rostlin může být Orange County v Kalifornii, kde je tento seznam součástí vymahatelných regulačních požadavků. Seznamy samotné však nestačí a je vždy nutné dbát na odstraňování mrtvé biomasy a vhodnou závlahu, pokud je možná, a další opatření, což by mělo být součástí osvěty nejlépe již při studiu na škole alespoň v regionech, kterých se tato problematika přímo dotýká. Kvůli probíhající změně klimatu se takové seznamy budou možná brzy tvořit i pro region střední Evropy (White a Zipperer, 2010).

3.7. Další využití spalné kalorimetrie

Spalná kalorimetrie v biologii se dá využívat nejenom v rámci hodnocení ekosystémů, ale i v dalších součástech této vědní disciplíny. Jednou z možností je využití v rostlinné taxonomii, kdy se spalná kalorimetrie využívá při stanovení rychlosti dýchání jednotlivých druhů či rodů (Gallagher et al., 1999).

V rámci fyziologických procesů probíhajících v rostlinných pletivech je možné spalnou kalorimetrii využít při detekci dormance, klíčení a jarovizace. Prát jako první popsal souvislost mezi mírou produkce tepla a mírou klíčení. Měření energie v suchých semenech pomáhá určit míru budoucího přežití sazenic. Kalorimetrická měření dýchání pomáhají sledovat a popisovat dormanci pletiv a určovat, kdy dojde ke klíčení semen. Komerčně se těchto poznatků využívá například k zabránění předčasného vyklíčení přidáním vhodných rostlinných hormonů (Gallagher et al., 1999). Účinek hormonů na dormanci a klíčení je však také velmi komplexní téma, poněvadž některé hormony navzájem svůj účinek posilují a jiné naopak účinek ovlivňují negativně. Podle Kucery et al. (2005) má na dormanci největší vliv kyselina abscisová (ABA), která zároveň negativně ovlivňuje klíčení. Podle autorů efekt ABA potlačují především gibberelliny (GA) a dále i etylen a brassinosteroidy (BR).

Gallagher et al. (1999) uvádí, že kalorimetrie také pomohla najít propojení mezi časem potřebným k jarovizaci a vitalitou sazenic měřenou mírou metabolického tepla či časem

potřebným k jarovizaci a mírou tepelné senzitivity. Delší jarovizace zvyšuje vitalitu sazenic, ale snižuje teplotu, ve které je rostlina schopna žít bez újmy.

Kalorimetrie nachází využití i v oborech spojených s ekologií. Zjišťováním spalného tepla různých druhů rostlin a jejich pletiv lze zkoumat vztahy například mezi houbami a rostlinami, na kterých žijí. Měření a výzkum metabolických vlastností má do budoucna předpoklad přispět ke studiu ekologie. Uvažuje se, že rozmístění druhů a jeho změny by bylo možno popsat za pomoci znalostí vlivu teploty na parametry respirace (Gallagher et al., 1999).

Mnoho studií zabývajících se vlivem teploty na rozmístění druhů se podle Gallaghera et al. (1999) zaměřuje na přežití a schopnost rozmnožování v teplotních extrémech a na biochemické odpovědi rostlin na extrémní teploty. Avšak teplota ovlivňuje rostliny dvěma způsoby. Teplotní extrémy mohou poškodit či úplně zničit schopnost rozmnožování. To je velmi dobře známo a popsáno. Mnohem méně je však popsán dopad malých teplotních změn na ekologické atributy, jako kompetiční úspěšnost a rozmnožovací úspěšnost, ale za pomoci kalorespirometrie je možné s takovýmto výzkumem pokročit. Zvyšování teploty na planetě bude mít zajisté velký vliv na rostliny, ale tento vliv se může podle druhu značně lišit a je třeba mnoho výzkumů v této oblasti pro pochopení nadcházejících změn klimatu a jejich dopadu na rostliny.

Gallagher et al. (1999) dále uvádí možnost využití spalné kalorimetrie v molekulární biologii, kdy je popsáno 7 respiračních vlastností rostlin měřitelných pomocí kalorespirometrie a 3 vypočitatelné, které určují míru růstu a schopnost adaptace na dané prostředí. Tyto vlastnosti se objevují v různé míře a kombinacích u různých druhů. Každá z vlastností specificky přispívá k míře růstu a schopnosti adaptace na různé teploty, a je tedy možné vyšlechtit rychle rostoucí genotypy za pomoci kombinace vhodných respiračních vlastností, což by významně přispělo ke zvýšení produkce biomasy.

K vyšší produkci biomasy vede také genetické inženýrství. Bylo již nalezeno několik genů, které se jeví jako vhodní kandidáti pro zvýšení míry růstu. Kalorespirometrické studie se zabývají hledáním možných genových sekvencí, jejichž změnami by se zvýšila míra růstu za pomoci rozpoznávání odlišných projevů metabolismu, které jsou zodpovědné za růst (Gallagher et al., 1999).

4. Praktická část

V pokusu byl sledován vliv zasolení na spalné teplo vybraných zástupců čeledi tykvovité. Pokusnými rostlinami byly: lagenárie obecná, okurka setá 'Markýza F1' a tykev obecná 'Startgreen F1'

4.1. Charakteristika pokusného materiálu

Osivo sledovaných druhů rostlin bylo získáno z komerčního zdroje.

Lagenárie obecná (*Lagenaria siceraria* L.) je jednoletá jemně chlupatá liána s až desetimetrovými výhonky, listy jsou dlouze řapíkaté, srdčité. Kvete bíle. Plody jsou hladké mnohosemenné bobule s voskovitým povrchem. Rostlina je tropická, původní v Africe a jihovýchodní Asii (<https://botany.cz/cs/lagenaria-siceraria/>).

Okurka setá (*Cucumis sativus* L.). Odrůda Markýza F1' je jednoletá rostlina s drsně štětinatou lodyhou, listy jsou dlanitolaločnaté se špičatými laloky. Plody jsou elipsovité mnohosemenné bobule. Rostlina je teplomilná a náročná na závlahu, původní v Indii (<https://botany.cz/cs/cucumis-sativus/>).

Tykev obecná (*Cucurbita pepo* L.). Odrůda 'Startgreen F1' je jednodomá jednoletá rostlina s popínavou lodyhou, listy jsou trojúhelníkovité, dlouze řapíkaté, dlanitolaločné. Plody jsou mnohosemenné bobule, které mohou dosahovat hmotnosti i několika kg. Rostlina je to teplomilná, původní ve střední Americe (<https://botany.cz/cs/cucurbita-pepo/>).

4.2. Založení pokusu

Pokus byl založen v částečně řízených podmínkách skleníku KBFR FAPPZ. Teplota během pokusu byla nastavena na 25 °C ve dne a 19 °C v noci, při přirozeném světelném režimu (14 hodin světla, 10 hodin tmy). Pokusné rostliny byly pěstované v nádobách o velikosti 11 × 11 cm ve směsi zahradního substrátu s vysokým obsahem organických látek a křemičitého písku v poměru 2:1. Použitý zahradní substrát byl jemný (maximálně 10 % částic nad 10 mm), udržující vzdušnost prostředí, nesléhavý, nezasolený, pH ve vodném roztoku 5,5 – 6,5, bez plevelů a škůdců, obsahující 55 % spalitelných látek ve vysušeném vzorku, s podílem částic nad 25 mm max. 5 %. Obsah živin byl následující: N: 80120 mg·l⁻¹, P₂O₅: 50 – 100 mg·l⁻¹, K₂O: 100 – 150 mg·l⁻¹. Obsah rizikových prvků splňuje zákonem stanovené limity mg·kg⁻¹ sušiny: Cd 1; Pb 100; Hg 1; As 10; Cr 100; Cu 100; Ni 50; Zn 200 (agrocs.cz, 2015).

Design pokusu zahrnoval 4 varianty a 6 opakování odběru vzorku. Kontrolní varianta (K) byla zalévána pravidelně závlahovou dávkou 0,15 l modifikovaného roztoku dle Hoaglanda. Následující 3 varianty byly pokusné, které představovaly stres zasolením (S1 – S3). Pro navození stresu zasolením byl použit NaCl. Jednotlivé stresované varianty představovaly následující koncentrace NaCl v roztoku 0,15 mmol·l⁻¹ (S1), 0,20 mmol·l⁻¹ (S2), 0,25 mmol·l⁻¹ (S3). První odběr byl proveden ve fázi, kdy každá z pokusných rostlin měla již 4 pravé listy. Interval dalších odběrů byl vždy jeden týden a postupně bylo provedeno 6 odběrů od každé rostliny a každé varianty zasolení.

4.3. Metody měření fyziologických charakteristik

4.3.1 Stanovení hmotnosti sušiny

Hmotnost sušiny se stanovovala standardními metodami dle Šestáka a kol. (1960), kdy rostlinný materiál byl umístěn do sušárny a sušen při teplotě 80 °C do konstantní hmotnosti. Po namletí byly vzorky naváženy na 0,5 g na analytických laboratorních vahách Ohaus AX124.

4.3.2 Stanovení spalného tepla

Vzorky rostlinného materiálu po sušení byly homogenizovány na rychlomlýnku p14 FRITCH na velikost částic 0,2 mm. Energetický obsah ve vzorcích byl sledován metodou spalné kalorimetrie, úplné spálení vzorku probíhalo ve 100% kyslíkové atmosféře při tlaku 30 MPa. K měření byl použit suchý spalný adiabatický kalorimetr LAGET MS 10A (Laget, SRN). Na kalorimetru byl měřen tepelný skok na 5 desetinných míst ve stupních Celsia. Pro stanovení spalného tepla rostlinného materiálu byly použity normy ČSN EN 14918 a ČSN ISO 1928.

Hodnota spalného tepla byla vypočtena z opravného teplotního vzestupu a efektivní tepelné kapacity kalorimetru, se zřetelem na podíly energie při zapálení, spálení zapalovacího prostředku a tepelné účinky z vedlejších reakcí. Hodnota výhřevnosti vzorku byla vypočtena z hodnoty spalného tepla zmenšené o výparné teplo vody vzniklé z paliva během hoření po započítání oprav (spalné teplo kyseliny sírové a kyseliny dusičné vznikajících vedlejší reakcí).

Pro výpočet spalného tepla byl použit následující vztah:

$$Q = \frac{(C \cdot Dt) - c}{mv - mp}$$

Kde: Q = spalné teplo vzorku

C = tepelná kapacita kalorimetru

Dt = celkový vzestup teploty (°C)

c = součet oprav (spalné teplo HNO₃ + H₂SO₄)

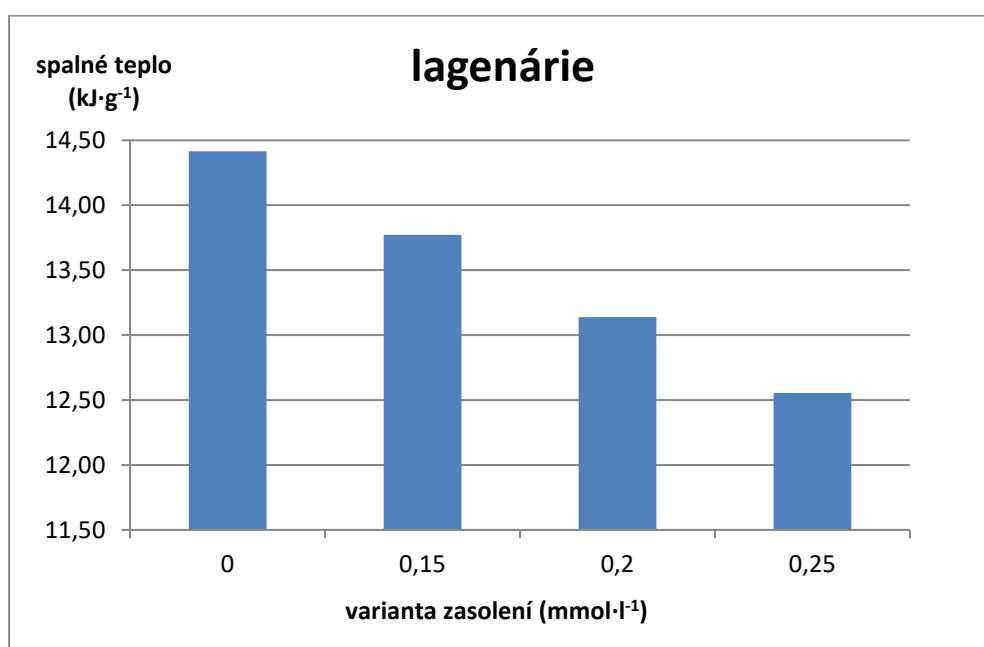
mv = hmotnost navážky vzorku

mp = hmotnost popelovin

5. Výsledky

Veškeré naměřené hodnoty spalného tepla u všech pokusných rostlin a variant jsou souhrnně uvedeny v tabulce v Příloze.

Z grafu 1 je patrné, že průměrná hodnota spalného tepla nadzemní biomasy lagenárie byla ovlivněna variantou zasolení. U kontrolní rostliny byla zjištěna nejvyšší průměrná hodnota spalného tepla ($14,41 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$) v porovnání s ostatními variantami pokusu. Spalné teplo bylo v případě rostlin stresovaných ovlivněno koncentrací soli v roztoku, kdy nejvyšší průměrné spalné teplo bylo stanoveno u varianty $0,15 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ($13,77 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$) a naopak nejnižší u varianty $0,25 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ($12,55 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$). Se zvyšující se koncentrací soli v roztoku se obsah energie v nadzemní biomase lagenárie lineárně snižoval. Rozdíl průměrných hodnot spalného tepla mezi nejvyšší a nejnižší koncentrací NaCl činil $1,86 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ ($12,91 \%$).

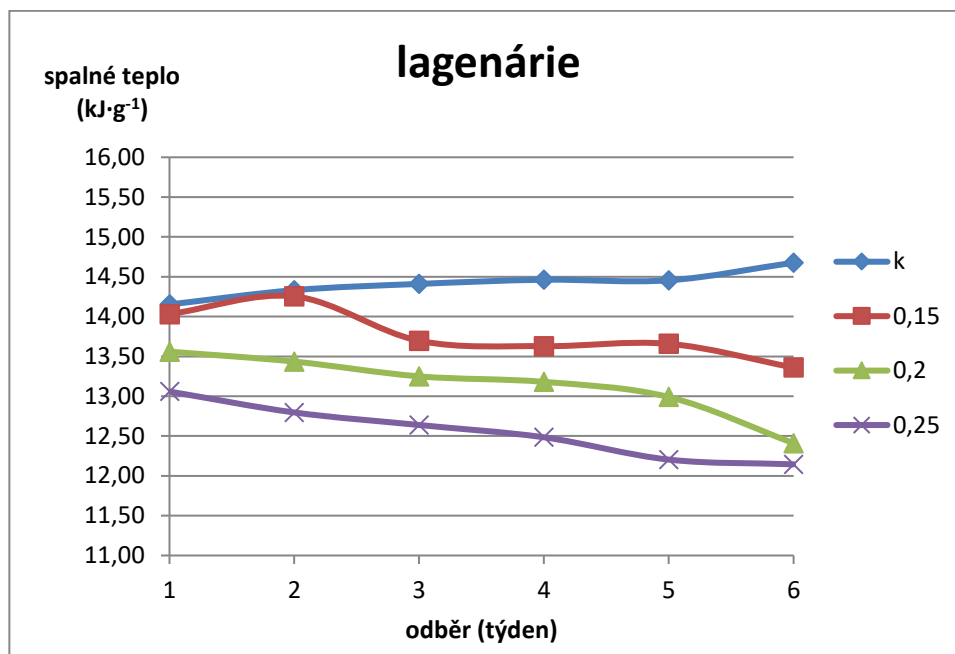


Graf 1: Změny hodnot spalného tepla ($\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$) v nadzemní biomase lagenárie v závislosti na koncentraci soli

Obsah energie v biomase lagenárie byl vedle míry zasolení ovlivněn také délkou expozice stresu a ontogenetickým vývojem rostlin, viz graf 2. Z uvedeného grafu vyplývá, že obsah energie v kontrolních (nezasolených) rostlinách s vývojem rostliny narůstal. V době zahájení pokusu byl obsah energie $14,15 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ a na jeho konci $14,68 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$.

Naopak u rostlin stresovaných byl zaznamenán pokles obsahu energie v závislosti na délce působení stresoru. Z výsledků uvedených v grafu 2 je patrné, že u varianty s nejnižší koncentrací NaCl v roztoku ($0,15 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) se na počátku pokusu v druhém týdnu odběru obsah energie zvýšil z hodnoty $14,03 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ na hodnotu $14,25 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$, ale toto zvýšení energie bylo poté vystřídáno poklesem, který trval až do konce pokusu. V tomto období naměřený interval hodnot spalného tepla klesl z $14,25 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ na $13,36 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$. U varianty zasolení $0,20 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ se obsah energie téměř lineárně snižoval až do 6. termínu měření.

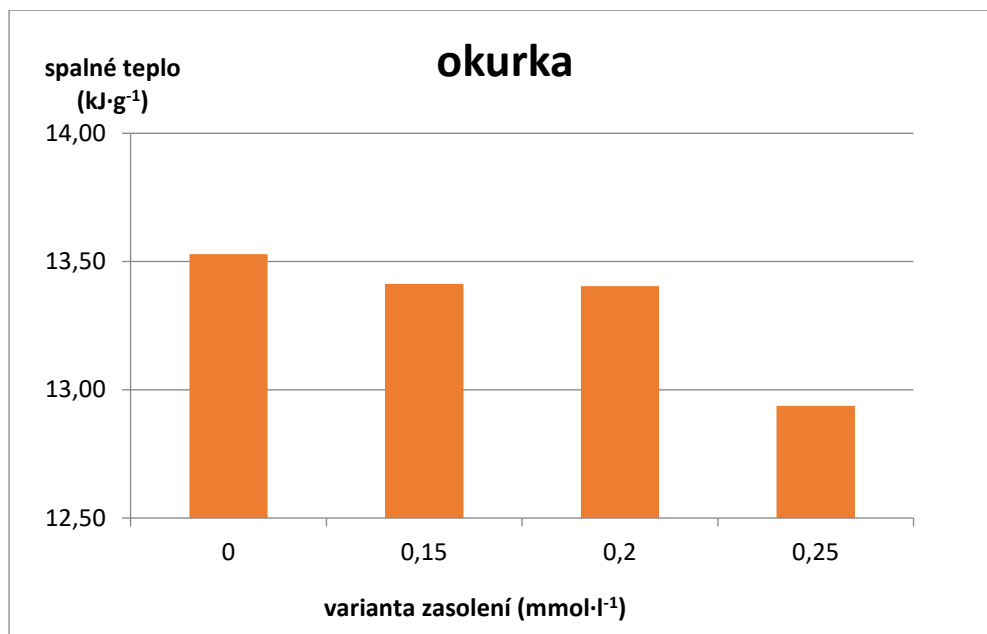
Obsah energie na konci tohoto období byl $12,41 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$, tedy o $1,15 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ nižší než v době zahájení pokusu. Výrazný pokles hodnot spalného tepla byl zjištěn na konci pokusu také u varianty s nejvyšší mírou zasolení ($0,25 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$), kde hodnota spalného tepla lineárně klesala po celé sledované období z $13,06 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ na $12,14 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$, viz graf 2.



Graf 2: Vliv varianty a odběru (týden) na spalné teplo v nadzemní biomase lagenárie ($\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$)

U dalších dvou druhů rostlin byl pozorován obdobný trend ve snižování průměrné hodnoty spalného tepla se vzrůstající mírou zasolení. Vliv délky expozice stresu se však u jednotlivých druhů rostlin a variant zasolení lišil.

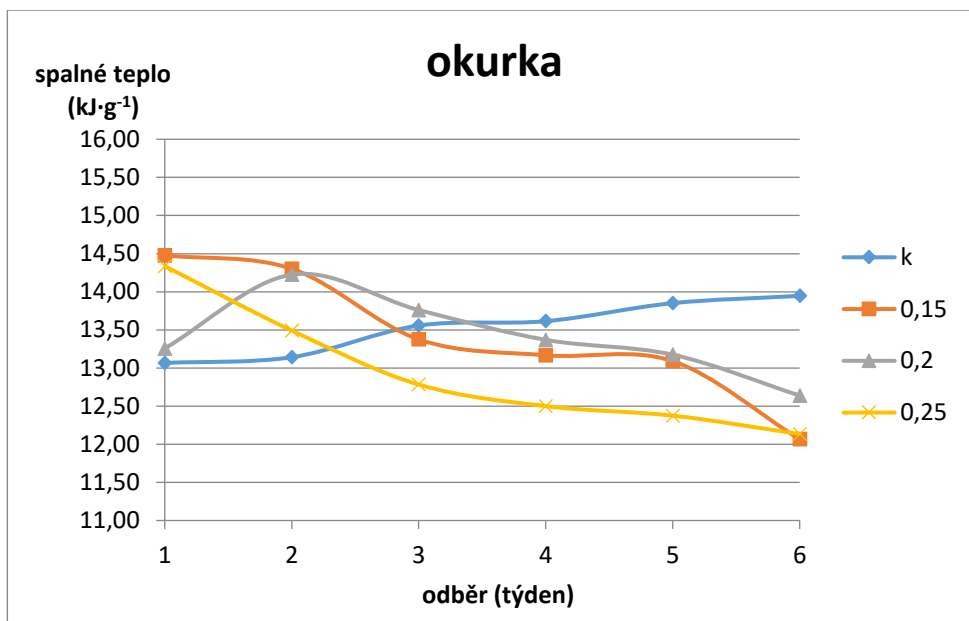
Také u okurky byla nejvyšší průměrná hodnota spalného tepla zjištěna u kontrolní rostliny ($13,53 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$). V případě rostlin stresovaných bylo spalné teplo ovlivněno mírou zasolení, přičemž u varianty zasolení $0,15 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ bylo stanoveno nejvyšší průměrné spalné teplo ($13,41 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$), zatímco varianta zasolení $0,25 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ měla stanovené průměrné spalné teplo nejnižší ($12,94 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$). Se zvyšující se koncentrací soli v roztoku se obsah energie v nadzemní biomase okurky lineárně snižoval. Rozdíl průměrných hodnot spalného tepla mezi nejvyšší a nejnižší koncentrací NaCl činil $0,59 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ (4,38 %).



Graf 3: Změny hodnot spalného tepla ($\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$) v nadzemní biomase okurky v závislosti na koncentraci soli

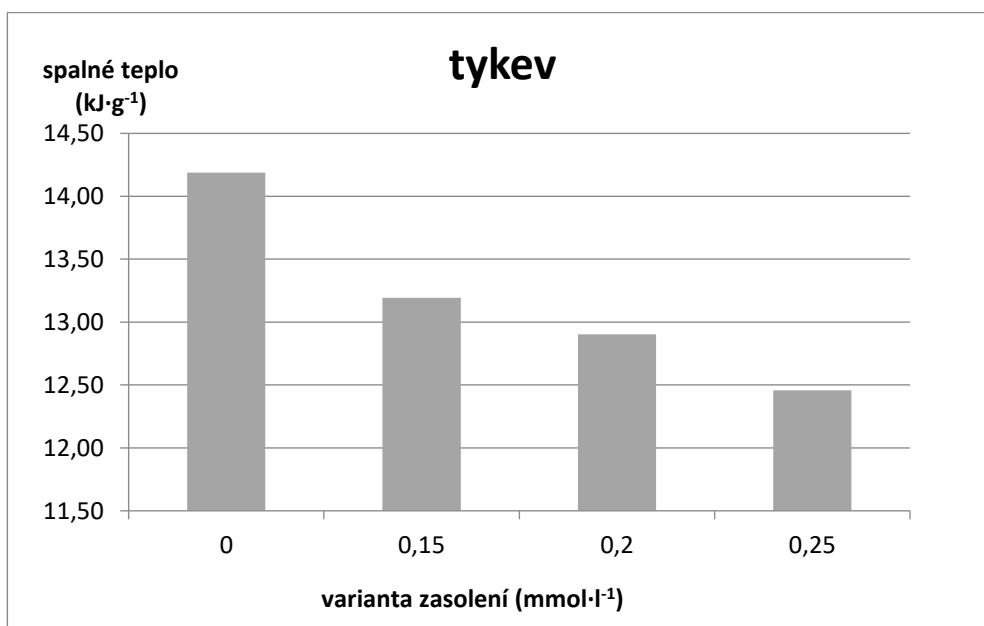
Obsah energie v biomase okurky byl vedle varianty zasolení ovlivněn také délkou expozice stresu a ontogenetickým vývojem rostlin, jak je uvedeno v grafu 4. Z grafu vyplývá, že obsah energie v kontrolních nezasolených rostlinách v průběhu vývoje vzrůstal. V době zahájení pokusu byl obsah energie $13,07 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ a na jeho konci $13,95 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$.

Naopak u rostlin stresovaných byl pozorován pokles obsahu energie v závislosti na délce působení stresoru. U varianty s koncentrací NaCl v roztoku $0,2 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ se obsah energie v druhém týdnu odběru zvýšil z hodnoty $13,26 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ na hodnotu $14,22 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$, od níž však následně postupně klesal až na $12,64 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ v posledním týdnu odběru. Oproti tomu u obou dalších variant zasolení ($0,15 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ a $0,25 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) měřený obsah energie lineárně klesal po celou dobu provádění pokusu. U varianty $0,15 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ byl obsah energie na konci tohoto období $12,07 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$, tedy o $2,41 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ nižší než v době zahájení pokusu. Podobný byl pokles hodnot spalného tepla u varianty $0,25 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (nejvyšší míra zasolení), kde hodnota spalného tepla klesla z $14,34 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ na $12,13 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$, viz graf 4.



Graf 4: Vliv varianty a odběru (týden) na spalné teplo v nadzemní biomase okurky ($\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$)

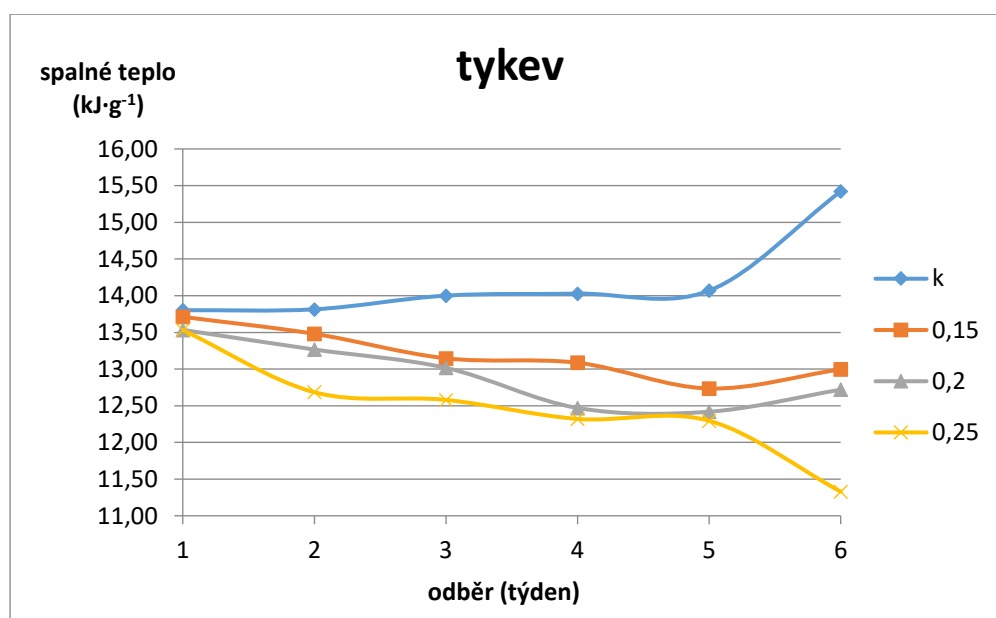
Stejně jako u obou předchozích pokusných druhů také tykev vykazovala nejvyšší průměrnou hodnotu spalného tepla v kontrolní variantě bez zasolení ($14,19 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$). V případě rostlin stresovaných bylo spalné teplo ovlivněno koncentrací soli v roztoku, kdy nejvyšší průměrné spalné teplo bylo stanoveno u varianty $0,15 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ($13,19 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$) a naopak nejnižší u varianty $0,25 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ($12,46 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$). Se zvyšující se koncentrací solí v roztoku se obsah energie v nadzemní biomase tykve lineárně snižoval. Rozdíl průměrných hodnot spalného tepla mezi nejvyšší a nejnižší koncentrací NaCl činil $1,73 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ ($12,21 \%$).



Graf 5: Změny hodnot spalného tepla ($\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$) v nadzemní biomase tykve v závislosti na koncentraci soli

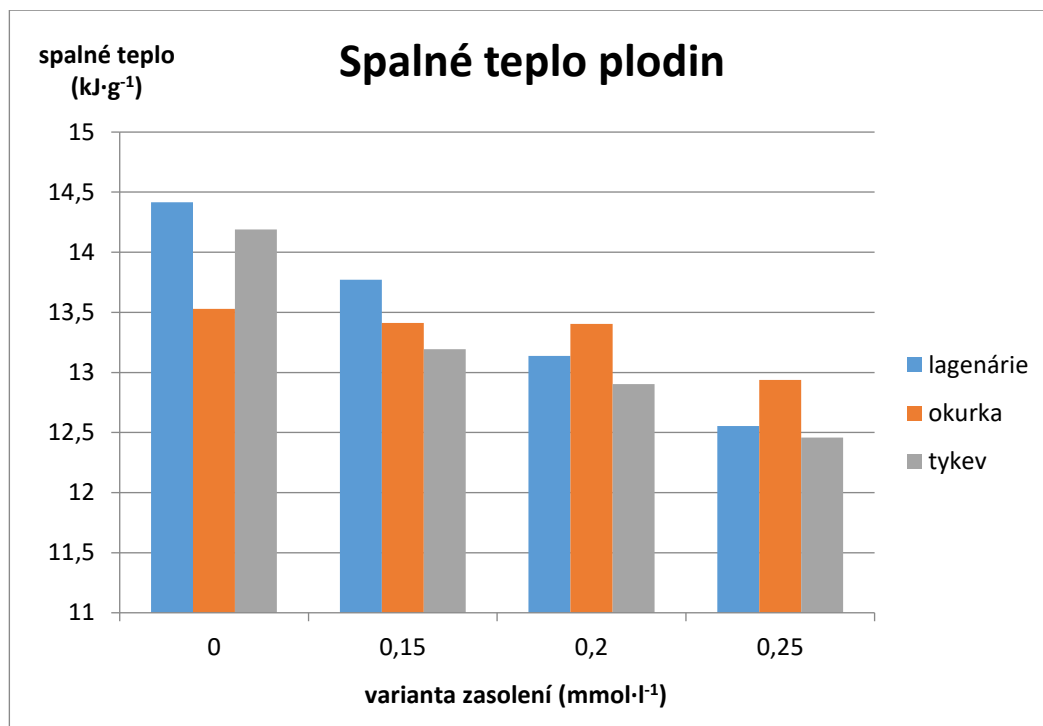
Délka expozice stresu a ontogenetický vývoj rostlin měly v jednotlivých variantách zasolení různý efekt, viz graf 6. Z uvedeného grafu vyplývá, že obsah energie v kontrolních rostlinách postupně s vývojem narůstal. Hodnota spalného tepla v prvním týdnu měření byla $13,80 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ a v posledním týdnu měření pak $15,42 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$.

U stresovaných rostlin byl zaznamenán pokles obsahu energie v závislosti na délce expozice stresu. Z výsledků uvedených v grafu 6 je patrné, že u varianty s koncentrací NaCl v roztoku $0,15 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ se energie téměř lineárně snížila z hodnoty $13,71 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ u prvního odběru na hodnotu $12,74 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ u 5. odběru, ovšem u posledního odběru hodnota energie naopak vzrostla na $13,00 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$. Stejný trend vykázala také varianty zasolení $0,20 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, kdy byl opět pozorován lineární pokles energie z prvního ($13,53 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$) do pátého odběru ($12,42 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$) a následně nárůst hodnoty energie na $12,72 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ v posledním odběru. Výrazný pokles hodnot spalného tepla byl zjištěn na konci pokusu u varianty s nejvyšší mírou zasolení ($0,25 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$), kde hodnota spalného tepla klesala po celé období z $13,53 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ u prvního odběru na $11,33 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ u posledního odběru, viz graf 6.



Graf 6: Vliv varianty a odběru (týden) na spalné teplo v nadzemní biomase tykve ($\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$)

Porovnání naměřených průměrných hodnot spalného tepla u všech sledovaných rostlin je uvedeno v grafu 7. Z grafu je patrný lineární úbytek hodnoty spalného tepla se zvyšující se mírou zasolení oproti kontrolní skupině, a to zvláště u lagenárie a tykve. U okurky je tento trend méně patrný v důsledku nižších rozdílů hodnot mezi jednotlivými variantami pokusu.



Graf 7: Změny průměrných hodnot spalného tepla ($\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$) v nadzemní biomase v porovnání všech tří sledovaných druhů v závislosti na koncentraci soli

6. Diskuse

Z výsledků měření je patrné, že s rostoucí mírou zasolení celkově klesá obsah energie uložené ve všech pokusných rostlinách, snižuje se tedy i jejich spalné teplo. Pokusem se podařil prokázat negativní dopad zasolení půdy na rostliny a obsah energie v nich.

Z výsledků měření lze také vypožorovat trend, kdy u kontrolních rostlin, tedy rostlin nestresovaných, se míra spalného tepla jejich nadzemní biomasy s postupem času zvyšuje. U rostlin stresovaných lze u všech variant pozorovat celkový trend snižování hodnoty spalného tepla s postupem času, i když u některých genotypů a variant zasolení došlo k naměření krátkodobých opačných trendů, což ale může být způsobeno nehomogenitou vzorku rostlinného původu, neboť rostlinný materiál je po chemické stránce velmi heterogenní. I přes drobné výkyvy v hodnotách spalného tepla lze konstatovat, že celkově se energie uložená v rostlinách stresovaných s postupem času snižuje.

Jako jeden z hlavních faktorů negativně ovlivňující růst i výnos plodin označuje salinitu i Liang et al. (2018). Zvýšená salinita půdy podle autora způsobuje osmotický a oxidativní stres, který vždy rostliny ovlivní negativně. Z autorovy práce je také zřejmé, že významným faktorem při toleranci stresu ze zasolení je genotyp rostliny. Za negativní ovlivnění veskrze všech vlastností rostlin způsobené salinitou půdy je podle Mahajana a Tuteji (2005) odpovědné také toxické působení Na^+ na buněčné metabolismy, díky jeho nepříznivému vlivu na funkčnost některých enzymů. A dále v neposlední řadě vliv Na^+ na snížení míry fotosyntézy.

Vliv genotypu na míru tolerance k zasolení je jasně patrný z práce Mořkové et al. (2014), zabývající se halofytními rostlinami, která ve své práci popisuje látky a mechanismy, kterými se rostliny snaží omezit vliv stresu ze salinity, který hypersomatickým stresem inhibuje růst rostlin a dále popisuje vliv zvýšené hladiny Na^+ v okolí kořenů na příjem K^+ , který napomáhá udržovat membránový potenciál.

Ze získaných výsledků je patrné, že jako rostlina nejtolerantnější k zasolení se ze sledovaných rostlin ukázala okurka setá. Její hodnoty spalného tepla se se zvyšující se mírou zasolení snižovaly pouze nepatrně oproti rostlinám ostatním, které na zasolení reagovaly negativně. I přes to byl sledován patrný trend snižování spalného tepla se zvyšující se mírou zasolení.

Negativní vliv na průběh fotosyntézy, a tudíž v podstatě na veškeré funkce rostliny, potvrzuje u okurky seté i Štěpieň a Křbus (2006), který se ve své práci mimo jiné zaměřuje na relativní obsah vody v listech okurky a s tím spjaté negativní ovlivnění fotosyntetické funkce chlorofylu *a* i *b* v nich. I z této práce je patrný celkový negativní vliv na veškeré vlastnosti rostliny.

Snižující se hodnoty spalného tepla všech sledovaných rostlin odpovídají trendům sledovaným v pracích jiných autorů, tudíž díky hodnotám v pokusu naměřených a trendech z hodnot vycházejících lze konstatovat průkaznost negativního vlivu zvýšené míry salinity na rostliny včetně obsahu energie v nich, tudíž míry spalného tepla.

7. Závěr

Tato bakalářská práce se zabývala využitím spalné kalorimetrie, a to především v návaznosti na biologii rostlin. Z této práce vyplývají následující závěry:

- Spalná kalorimetrie nachází využití v nepřeberném množství oborů od studia materiálů a paliv, až po výzkum rostlin a přenos energie v rámci jejich pletiv, tak i celých ekosystémů, ve kterých se vyskytují.
- U metod spalné kalorimetrie lze předpokládat další vývoj nejen v oblasti miniaturizace a přesnosti, ale i v nacházení využití v oblastech nových a s tím souvisejících nových poznatcích, které mohou pomoci při pochopení samotné podstaty fungování základních přírodních principů, na kterých stojí život jako takový.
- Spalná kalorimetrie pomáhá osvětlit principy sink a source a získávání energie rostlinami ze záření, přenos, transformaci metabolismem a ukládání této energie v pletivech rostlin.
- Výsledky ze spalné kalorimetrie je možné využít při hodnocení celých ekosystémů a tvoření jejich bilancí pro agroekonomické účely.
- Spalná kalorimetrie má nezastupitelné místo při hledání a využívání ekonomicky výhodných i ekologicky vhodných rostlin pro produkci biomasy k energetickým účelům.
- Spalná kalorimetrie je jednou z hlavních metod využívaných při studiu vzniku požárů i jejich šíření.
- Metoda spalné kalorimetrie je hojně využívána ve stresové fyziologii rostlin.
- Z naměřených hodnot spalného tepla vyplývá, že obsah energie je ovlivněn prostředím, neboť u rostlin rostoucích v podmínkách stresu dochází k poklesu hodnot spalného tepla.
- U rostlin rostoucích v nevyšší koncentraci soli byl naměřen průměrný obsah energie v jejich pletivech $12,55 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ (lagenárie), $12,94 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ (okurka) a $12,46 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ (tykev).
- U kontrolních nezasolených rostlin byl naměřen průměrný obsah energie v jejich pletivech $14,41 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ (lagenárie), $13,53 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ (okurka) a $14,19 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ (tykev).
- Z měření lze vyvodit, že na hodnoty spalného tepla v rostlinných pletivech ovlivněných stresem ze zasolení má vliv jejich genotyp.

8. Použitá literatura

BABRAUSKAS, Vytenis a S. J. GRAYSON, c1992. *Heat release in fires*. New York, NY, USA: Sole distributor in the USA and Canada, Elsevier Science Pub. Co. ISBN 1851667946.

BLÁHA, Ladislav, František HNILIČKA a Jaroslava MARTINKOVÁ, 2010. *Současné možnosti fyziologie a zemědělského výzkumu přispět k produkci rostlin (vybrané kapitoly)*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby. ISBN 978-80-7427-023-9.

BORKOWSKA, H.z, R. MOLAS a A. KUPCZYK, 2009. Virginia Fanpetals (*Sida hermaphrodita* Rusby) Cultivated on Light Soil; Height of Yield and Biomass Productivity. *Polish Journal of Environmental Studies*. **18**(4), 563-568. ISSN 12301485.

BRANIŠ, Martin a Iva HŮNOVÁ, ed., 2009. *Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší*. V Praze: Karolinum. ISBN 9788024615981.

BROWN, Michael E., c2001. *Introduction to thermal analysis: techniques and applications*. 2nd ed. Boston: Kluwer Academic Publishers. ISBN 978-1-4020-0211-3.

BRUNI, F. a A. C. LEOPOLD, 1991. Glass Transitions in Soybean Seed: Relevance to Anhydrous Biology. *PLANT PHYSIOLOGY*. **96**(2), 660-663. DOI: 10.1104/pp.96.2.660. ISSN 0032-0889

CARL B. BOYER, Author, 1943. History of the Measurement of Heat I. Thermometry and Calorimetry. *The Scientific Monthly*. **57**(5), 442-452. ISSN 00963771.

COELHO, Rubens Duarte, Jonathan Vásquez LIZCANO, Timóteo Herculino DA SILVA BARROS, et al., 2019. Effect of water stress on renewable energy from sugarcane biomass. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. **103**, 399-407. DOI: 10.1016/j.rser.2018.12.025. ISSN 13640321

DIBBLE, Alison C., Robert H. WHITE a Patricia K. LEBOW, 2007. Combustion characteristics of north-eastern USA vegetation tested in the cone calorimeter: invasive versus non-invasive plants. *International Journal of Wildland Fire*. **16**(4). DOI: 10.1071/WF05103. ISSN 1049-8001.

DORAN, J. D., C. K. RANDALL a A. J. LONG, 2004. *Fire in the wildland-urban interface: Selecting and maintaining firewise plants for landscaping*. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, 2004.

FARQUHAR, G. d., S. CAEMMERER a J. a. BERRY, 1980. A Biochemical Model of Photosynthetic CO₂ Assimilation in Leaves of C₃ Species. *Planta*. **149**(1), 78-90. ISSN 00320935.

GABBOTT, Paul, c2008. *Principles and applications of thermal analysis*. Ames, Iowa: Blackwell Pub. ISBN 978-1-4051-3171-1.

GALLAGHER, Patrick K., Michael E. BROWN a Richard B. KEMP, 1998. *Handbook of thermal analysis and calorimetry: Principles and Practice*. Oxford: Elsevier. ISBN 044482085x.

GALLAGHER, Patrick K., Michael E. BROWN a Richard B. KEMP, 1999. *Handbook of thermal analysis and calorimetry: From Macromolecules to Man*. Oxford: Elsevier. ISBN 0444820884.

GOLLEY, Frank B., 1961. Energy Values of Ecological Materials. *Ecology*. 42(3), 581-584. DOI: 10.2307/1932247. ISSN 00129658.

HNILIČKA, F., H. HNILIČKOVÁ a V. HEJNÁK, 2015. Use of combustion methods for calorimetry in the applied physiology of plants. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. **120**(1), 411-417. DOI: 10.1007/s10973-014-3716-4. ISSN 1388-6150.

HNILIČKA, František, Helena HNILIČKOVÁ, Ján KUKLA, Tomáš KEJZLAR a Margita KUKLOVÁ, 2018. Analýza energetických bilancí pěstování pěti odrůd cukrové řepy. *Listy Cukrovarnické a Řepářské*. **134**(12), 404-409. ISSN 12103306.

CHRISTIAN, D.G., A.B. RICHE a N.E. YATES, 2008. Growth, yield and mineral content of *Miscanthus×giganteus* grown as a biofuel for 14 successive harvests. *Industrial Crops and Products*. **28**(3), 320-327. DOI: 10.1016/j.indcrop.2008.02.009. ISSN 09266690.

KLOUŽKOVÁ, A., P. ZEMENOVÁ, J. KLOUŽEK a W. PABST, 2012. Termická analýza. In: *Ústav organické technologie*. Praha: VŠCHT, 2012.

KOK, Mustafa Versan a Emre ÖZGÜR, 2013. Thermal analysis and kinetics of biomass samples. *Fuel Processing Technology*. **106**, 739-743. DOI: 10.1016/j.fuproc.2012.10.010. ISSN 03783820.

KUCERA, Birgit, Marc Alan COHN a Gerhard LEUBNER-METZGER, 2005. Plant hormone interactions during seed dormancy release and germination. *Seed Science Research*. **15**(4), 281-307. DOI: 10.1079/SSR2005218. ISSN 09602585.

LANE, Nick, 2011. *Vývoj života: deset velkých vynálezů evoluce*. Zlín: Kniha Zlín. Tema (Kniha Zlín). ISBN 9788087162859.

LEMOINE, Remi, Sylvain La CAMERA, Rossitza ATANASSOVA, et al., 2013. Source-to-sink transport of sugar and regulation by environmental factors. *Frontiers in Plant Science*. **4**. DOI: 10.3389/fpls.2013.00272. ISSN 1664-462X.

LIANG, Wenji, Xiaoli MA, Peng WAN a Lianyin LIU, 2018. Plant salt-tolerance mechanism: A review. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. **495**(1), 286-291. DOI: 10.1016/j.bbrc.2017.11.043. ISSN 0006291X.

KUKLOVÁ, Margita, HNILIČKOVÁ Helena, HNILIČKA František, PIVKOVÁ Ivica a KUKLA Ján, 2017. Toxic elements and energy accumulation in topsoil and plants of spruce ecosystems. *Plant, Soil and Environment*. **63**(No. 9), 402-408. DOI: 10.17221/364/2017-PSE. ISSN 12141178.

MAHAJAN, Shilpi a Narendra TUTEJA, 2005. Cold, salinity and drought stresses: An overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. **444**(2), 139-158. DOI: 10.1016/j.abb.2005.10.018. ISSN 00039861.

MAHMOUD, Hussam a Akshat CHULAHWAT, 2018. Unraveling the Complexity of Wildland Urban Interface Fires. *Scientific Reports*. **8**(1). DOI: 10.1038/s41598-018-27215-5. ISSN 2045-2322.

MARSCHNER, Petra a Zdenko RENGEL, c2007. *Nutrient cycling in terrestrial ecosystems*. New York, N.Y.: Springer. ISBN 9783540680260.

MCKENDRY, Peter, 2002. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology*. **83**(1), 37-46. DOI: 10.1016/S0960-8524(01)00118-3. ISSN 09608524.

MORISON, J. I. L. a D. W. LAWLOR, 1999. Interactions between increasing CO₂ concentration and temperature on plant growth. *Plant, Cell and Environment*. **22**(6), 659-682. DOI: 10.1046/j.1365-3040.1999.00443.x. ISSN 0140-7791.

MOŤKOVÁ, Kateřina, Radka PODLIPNÁ, Tomáš VANĚK a Zdeněk KAFKA. Halofytní rostliny a jejich možné využití ve fytořemediacích. *Chemické listy*. 2014, **108**(6), 586-591. ISSN 0009-2770.

MÜLLER, Ingo, 2007. *A history of thermodynamics: the doctrine of energy and entropy*. Berlin: Springer. ISBN 978-3-540-46226-2.

OPATRŇÝ, Tomáš, c2009. *Kapitoly z termodynamiky a statistické fyziky*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, s. 1-153.

OSMOND, C. B., M. P. AUSTIN, J. A. BERRY, et al., 1987. Stress Physiology and the Distribution of Plants. *BioScience*. **37**(1), 38-48. DOI: 10.2307/1310176. ISSN 00063568.

PAINE, R T, 1971. The Measurement and Application of the Calorie to Ecological Problems. *Annual Review of Ecology and Systematics*. **2**(1), 145-164. DOI: 10.1146/annurev.es.02.110171.001045. ISSN 0066-4162.

- POTGIETER, Luke J., Mirijam GAERTNER, Patrick J. O'FARRELL a David M. RICHARDSON, 2019. Perceptions of impact: Invasive alien plants in the urban environment. *Journal of Environmental Management*. **229**, 76-87. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.05.080. ISSN 03014797.
- RADELOFF, Volker C., David P. HELMERS, H. Anu KRAMER, et al., 2018. Rapid growth of the US wildland-urban interface raises wildfire risk. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. **115**(13), 3314-3319. DOI: 10.1073/pnas.1718850115. ISSN 0027-8424.
- RHODES, David a Anna NADOLSKA-ORCZYK, 2001. Plant Stress Physiology. *Encyclopedia of Life Sciences*. Chichester, UK: John Wiley, 2001-04-19. DOI: 10.1038/npg.els.0001297. ISBN 0470016175.
- SAHU, Nirmal Chandra a Amita Kumari CHOUDHURY, 2005. *Dimensions of Environmental and Ecological Economics*. Hyderabad. Universities Press. ISBN 8173714630.
- SHERRARD, A., 2016. Biomass heat and ORC in Poland. *Bioenergy International*. **89**(6), 12-13. ISSN 1801-2655.
- SCHABES, Fanny i. a E. elizabeth SIGSTAD, 2005. Calorimetric studies of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seed germination under saline stress conditions. *Thermochimica Acta*. **428**(1), 71-75. DOI: 10.1016/j.tca.2004.09.027. ISSN 00406031.
- STÁTNÍ ENERGETICKÁ KONCEPCE ČESKÉ REPUBLIKY, 2014. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR.
- STĘPIEŃ, P. a G. KŁBUS, 2006. Water relations and photosynthesis in *Cucumis sativus* L. leaves under salt stress. *Biologia Plantarum*. **50**(4), 610-616. DOI: 10.1007/s10535-006-0096-z. ISSN 0006-3134.
- STOKES, Gilbert B., 1988. Estimating the energy content of nutrients. *Trends in Biochemical Sciences*. **13**(11), 422-424. DOI: 10.1016/0968-0004(88)90210-1. ISSN 09680004
- STRAŠIL, Z., Mezinárodní slovenský a český kalorimetrický seminář: Využití kalorimetrického měření pro potřeby rostlinné výroby. In: . 25. - 28.5. 1998. Hotel Barbora, Vyšná Boca, Nízke Tatry, 39 - 40.
- STRAŠIL, Z. a P. HOMOLKA, Energetické toky a energetické bilance v různých úrovních ekosystému, v zemědělství a využití kalorimetrických metod při bilancování. In: *Ústav chemických procesů AV ČR*. 2005.

SZYSZLAK-BARGŁOWICZ, J., G. ZAJĄC a W. PIEKARSKI, 2012. Energy biomass characteristics of chosen plants. *International Agrophysics*. **26**(2), 175-179. DOI: 10.2478/v10247-012-0025-7. ISSN 0236-8722.

VACÍK, Jiří, 2017. *Obecná chemie*. 2. vydání. Praha: Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy. ISBN 978-80-7444-050-2.

VILČEK, Jozef a Radoslav BUJNOVSKÝ, 2014. Soil Environmental Index For Slovak Agricultural Land. *Pedosphere*. **24**(1), 137-144. DOI: 10.1016/S1002-0160(13)60088-0. ISSN 10020160.

WHITE, Robert H. a Wayne C. ZIPPERER, 2010. Testing and classification of individual plants for fire behaviour: plant selection for the wildland - urban interface. *International Journal of Wildland Fire*. **19**(2). DOI: 10.1071/WF07128. ISSN 1049-8001.

WRIGHT, D.P., B.C. BALDWIN, M.C. SHEPHARD a J.D. SCHOLE, 1995. Source-sink relationships in wheat leaves infected with powdery mildew. I. Alterations in carbohydrate metabolism. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. **47**(4), 237-253. DOI: 10.1006/pmpp.1995.1055. ISSN 08855765.

ZÁMEČNÍK, J., A. BILAVČÍK a M. FALTUS, 2008. Temperature Modulated Differential Scanning Calorimetry - a tool for evaluation of plant glass transition at low temperatures. In: LAAMANEN, J., M. UOSUKAINEN, H. HÄGGMAN, A. NUKARI a S. RANTALA. *Cryopreservation of crop species in Europe: CRYOPLANET COST Action 87120th-23rd of February 2008*. Oulu, Finland, s. 26-27. ISBN 978-952-487-156-3. ISSN 1458-509X.

ZIELENKIEWICZ, Wojciech a Eugeniusz MARGAS, c2002. *Theory of calorimetry*. Boston: Kluwer Academic Publishers. ISBN 1-4020-0797-3.

Přílohy

Tabulka: Naměřené hodnoty spalného tepla v analyzovaných druzích rostlin.

lagenárie							
varianta zasolení (mmol·l⁻¹)	1. odběr	2. odběr	3. odběr	4. odběr	5. odběr	6. odběr	průměr
kontrola	14,15	14,33	14,41	14,46	14,46	14,68	14,41
0,15	14,03	14,25	13,70	13,63	13,66	13,36	13,77
0,20	13,56	13,43	13,25	13,18	12,99	12,41	13,14
0,25	13,06	12,80	12,64	12,48	12,20	12,14	12,55
okurka							
varianta zasolení (mmol·l⁻¹)	1. odběr	2. odběr	3. odběr	4. odběr	5. odběr	6. odběr	průměr
kontrola	13,07	13,14	13,56	13,61	13,85	13,95	13,53
0,15	14,48	14,30	13,38	13,17	13,09	12,07	13,41
0,20	13,26	14,22	13,76	13,37	13,17	12,64	13,40
0,25	14,34	13,49	12,78	12,50	12,38	12,13	12,94
tykev							
varianta zasolení (mmol·l⁻¹)	1. odběr	2. odběr	3. odběr	4. odběr	5. odběr	6. odběr	průměr
kontrola	13,80	13,81	14,00	14,03	14,07	15,42	14,19
0,15	13,71	13,48	13,15	13,09	12,74	13,00	13,19
0,20	13,53	13,27	13,02	12,47	12,42	12,72	12,90
0,25	13,53	12,68	12,58	12,32	12,30	11,33	12,46