

Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy

Katedra experimentální biologie rostlin



Vodní režim stromů ve vztahu k mikroklimatu

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Alfřeta Tomková

Tržkolitel: doc. RNDr. Jan Pokorný, CSc.

Praha 2011

Prohlá-uji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně za pomoci vedoucího práce a v pohledu literatury uvedla všechny zdroje, ze kterých jsem čerpala.

V Praze, 31. 7. 2011

í í í í í í í í í .

Alfblta Tomková

Ráda bych podkovala doc. RNDr. Janu Pokornému, CSc. za vstícnou a trpělivou pomoc při psaní bakalářské práce. Děkuji též doc. RNDr. Heleně Lipavské, Ph.D. za velmi podnětné konzultace. Mé rodině patří díky za shovívavost, podporu a připomínky. Velmi si také cením pomoci své sestry s grafikou obrázků a Atamanových technických úprav.

Abstrakt

Tato práce propojuje poznatky ze dvou relativně vzdálených oborů, a to zprvu znalosti o fyziologii a anatomii rostlin, o hospodaření s vodou uvnitř rostlinných orgánů, a za druhé fyzikální poznatky o přeměnách sluneční energie a jejich vlivu na klima. Cílem je ukázat stromy, potažmo rostliny, jako jeden z podstatných faktorů při tvorbě klimatu.

Abychom dobře porozuměli, jak mohou stromy ovlivňovat své okolí, je třeba prostudovat, jak fungují uvnitř. První část práce se proto věnuje popisu cesty, kterou prochází voda z pody do atmosféry. Ve vodivých pletivech rostlin je minimum překážek, čímž je docíleno efektivního vyrovnávání rozdílu vodních potenciálů v kontinuu pody, rostliny a atmosféry. Voda se pohybuje pasivně podle gradientu vodního potenciálu, a proto někdy dochází i k reverznímu proudění. Zalité kořeny dodávají vodu do kořenů suchých a mnoho stromů má ve kmenech navíc zásobní vodu. Voda je pojítkem mezi procesy v živých organismech a mezi určitými fyzikálními ději v neživé přírodě. Ve druhé části práce je nejprve stručné pojednání o sluneční energii, přicházející k Zemi a o podílu této energie, využitém rostlinami k transpiraci, tedy ke chlazení. Kromě úhlné bezprostřední okolí však stromy ovlivňují klima i na vyšších úrovních, jak ukazuje teorie o malých a velkých vodních cyklech. Velký vodní cyklus je cirkulace vody mezi pevninami a oceány. Díky odpařování vody ve dne a zpočátku kondenzaci na stejném místě v noci je však voda také několikrát recyklována v malém vodním cyklu. Je déle zadržována na pevnině, což jednak zpomaluje odnos látek z pody, jednak zmírňuje extrémní výkyvy počasí. V krajině s vegetací je v letním dni teplota o několik stupňů nižší než ve městě. Nad zastavěnými plochami a městy naopak vznikají tzv. tepelné ostrovy.

Země je pod stálým působením slunečního záření. Rostliny využijí část z této přicházející energie pro asimilaci CO_2 nebo pro transpiraci, vyrovnání gradientů a zmírnění extrémů. Stromy jsou představeny jako disipativní struktury, tedy jako nástroje k rozptylování energie a k vytváření komplexních systémů.

Klíčová slova: mikroklima, transpirace, sluneční energie, vodní cyklus

Summary

Water regime of trees in relation to microclimate

This paper connects two apparently distant fields of research. Water relations of plants, plant anatomy and physiology is the first one, physical knowledge in transformation of solar energy and its impact on climate is the second one. The aim of the work is to show trees as one of the core factors in micro- and mezoclimate formation.

It is necessary to know how plants work inside to better understand the impact on their surroundings. The path of water in Soil-Plant-Atmosphere continuum is therefore examined in the first part of the work. There are almost no obstacles in conductive tissues of plants. Water moves spontaneously according to difference in water potential. That is the reason why a reverse flow may occur sometimes. Watered roots supply non-watered ones with water and some trees have storage water in their stems as well. Water is the linkage between processes in living organisms and physical processes in non-living nature. The following part of the work deals with solar energy and ratio of this energy absorbed by trees and used for transpiration, thus for air-conditioning. Besides the effect on their very surroundings trees can influence the climate at regional scale as well, as shown in the water cycle theory. The large water cycle is the exchange of water between land and ocean. In the small water cycle water can be recycled by evapotranspiration and precipitation. Therefore it stays longer on land, where it can prevent losing matter from topsoils and moderate differences in climate. In countryside covered with vegetation the temperature in summer sunny days is few degrees lower than in a city. On the contrary, there appear Urban Heat Islands above large cities.

The Earth gets continuous input of solar energy. Plants use order of magnitude less of that energy for photosynthesis than for transpiration and subsequent gradient compensation. Plants can therefore be seen as dissipative structures ergo very fine instruments to disperse energy.

Keywords: microclimate, transpiration, solar energy, water cycle

Obsah

1. Úvod	7
2. Pohyb vody z půdy do atmosféry	7
2.1 Půda – kořeny	7
2.2 Voda v kořenech	9
2.3 Kořeny – kmen	11
2.4 Hydraulická redistribuce	12
2.5 Kmen	13
2.6 Zásobní voda	15
2.7 Listy.....	16
2.8 Transpirace.....	16
2.8.1 Odpor vodivé cesty	17
2.8.1.1 Odpor průduchů	17
2.8.1.2 Odpor hraniční vzduchové vrstvy	18
2.8.2 Koncentrace vodní páry.....	19
2.8.3 Výdej vody a příjem oxidu uhličitého.....	19
3. Mikroklima	20
3.1 Sluneční energie	21
3.2 Zjevné a latentní teplo	22
3.3 Energie přijatá vegetací.....	24
3.4 Strom jako klimatizační jednotka	26
3.5 Vodní cykly.....	26
3.6 Změny v mikroklimatu v důsledku změn přirozeného porostu.....	27
3.6.1 Města	27
3.6.2 Venkov	28
3.7 Rostliny jako disipativní struktura.....	29
4. Závěr	30
5. Přehled použité literatury	31

1. Úvod

Klima v určitém místě na naší planetě je dáno především zeměpisnou polohou a nadmořskou výškou. Vliv těchto faktorů na rozdílení fauny i flóry je všeobecně známý. Ve skutečnosti se ale flóra a klima ovlivňují navzájem. Významnou roli v utváření klimatu má hospodaření s vodou. Tato práce popisuje vodní režim stromů a jeho klimatizační úinky. Každá rostlina ve dne odpařuje vodu z listů a mírně tak ochlazuje své bezprostřední okolí. Odpařená voda pak znovu kondenzuje v noci nebo na chladnějších místech, čímž teplotu naopak zvyšuje. Způsob, jakým stromy s vodou nakládají, se samozřejmě liší podle druhů. Přesto ale lze vysledovat charakteristické rozdíly v krajině s vegetací a bez ní. Kořeny rostlin například pomáhají k homogennějšímu rozložení vlhkosti v půdě. Díky uchovávání zásob vody ve kmeni uvolňují stromy vlhkost do atmosféry i v suchých obdobích. Vezmeme-li v úvahu nikoli jeden strom, ale například celý les či ekosystém, úinky rostlinného hospodaření s vodou mohou být patrné na regionální až globální úrovni. V době, kdy dochází k nejrůznějším extrémním výkyvům počasí, začíná být na místě otázka, jakým způsobem bychom se na ně měli připravit. Cílená výsadba vhodných stromů a pokus o rozbití jednotvárné monokulturní krajiny (například remízky či vodními plochami) může pomoci navrátit rovnováhu.

2. Pohyb vody z půdy do atmosféry

První část práce se věnuje stručnému pohledu pohybu vody stromem, přičemž jsou zdůrazněny vztahy s vnějším prostředím. Ve druhé části je pojednána energetická bilance zmíněných dějů a jejich vliv na okolí.

2.1 Půda - kořeny

Obsah a pohyb vody v půdě se velmi liší v závislosti na různých půdních typech. Pro porovnání dva extrémy, písek a jíl. Pískové částice jsou mnohem větší a také jsou mezi nimi větší prostory než v jílu. Ale povrch rozhraní mezi půdou a vodou je díky malým částicím v jílu větší. Schopnost zadržovat vodu, tedy vodní kapacita, je tedy u jílu vyšší, protože voda má tendenci adhezivně přilnout k povrchům a odtékat z prázdných prostorů. Hodnota vodní kapacity je pro rostliny v dané půdě podstatná, neboť závisí na obsahu a dostupnosti vody záleží jejich přežití. Také mikroskopické póry naplněné vzduchem jsou v půdě velmi důležitě,

nebo i koeny musejí dýchat a kyslík by se k nim difúzí skrze vodu dostával h e nebo v bec.

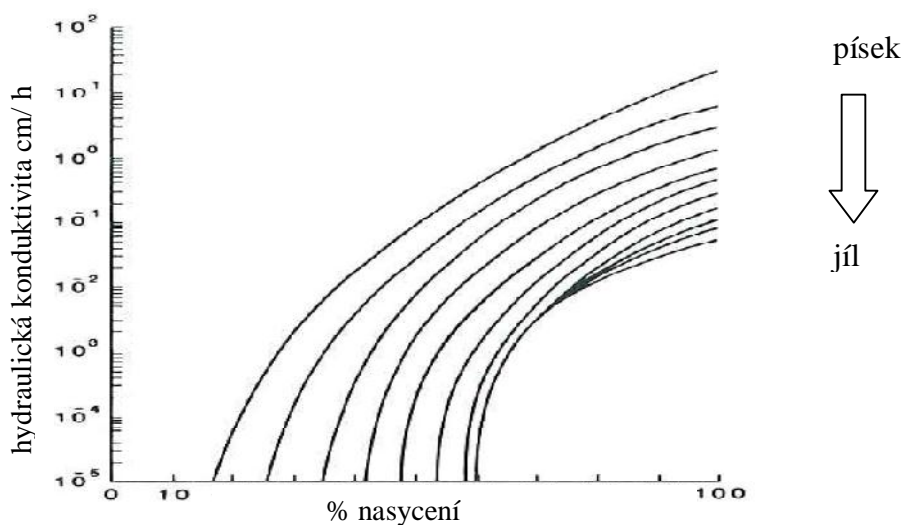
Vodní potenciál, w je veli ina popisující dostupnost vody. U ísté vody je definován jako nulový. Je to chemický potenciál vztafený na jednotku plochy. Skládá se ze ty hlavních slofek: potenciálu osmotického (koncentra ního), tlakového, gravita ního (téfl zvaného hydrostatický tlak) a matri ního. Udává se v Pascalech.

$$w = s + p + g + m$$

Osmotický potenciál vody se sníflí, když se v ní rozpustí chemická látka. To vyuffívají rostlinné bu ky a díky hromad ní iont v plasm nasávají vodu z okolí. Gravita ní potenciál roste se vzdáleností od zem . Matri ní potenciál je významný p edev-ím v kapilárách a bun ných st nách. V hydratovaných pletivech se ale pro svou malou hodnotu v t-inou zanedbává. (Kramer et Boyer 1995)

Voda vfldy proudí z míst s vy-ím (mén záporným) potenciálem do prost edí, kde je vodní potenciál nífl-í. V p d je vodní potenciál v t-inou vysoký díky nízkému obsahu osmoticky aktivních látek. (Situace se samoz ejm zm ní v zasolených p dách.) V ideálním p ípad vodní potenciál ve sm ru p da ó rostlina ó atmosféra klesá. Porovnáním velikostí vodních potenciál v r zných prost edích m flme zjistit sm r proud ní vody a do ur íté míry i jeho rychlost. Ta v-ak záleflí také na dal-ích vlastnostech, jako je propustnost a vodivost prost edí. Limitujícím faktorem pro odb r vody z p dy není tedy pouhý obsah vody i rozdíl vodních potenciál mezi roztokem v p d a v ko eni (Kramer et Boyer 1995).

Hydraulická konduktivita ur uje, jak snadno se voda pohybuje prost edím. Hydraulická konduktivita m fle p íjem vody zastavit mnohem d ív, nefl se vodní potenciály vyrovnají. Podle výzkum zp sobí i malý úbytek objemu vody v p d velký pokles hydraulické konduktivity (Rawls et al. 1982). Platí to zejména v t flkých p dách, kde je hydraulická konduktivita klí ová pro horizontální transport vody, viz obr. 1. V takových p dách mohou velice snadno vzniknout jakási lokáln su-í místa, proto je d leflité provád t p ípadná m ení obsahu vody co nejlíflle absorp nímu povrchu ko en , v tzv. rhizosfé e (ermák et Prax 2000). I zde ov-em p i vysoké rychlosti transpirace dochází k tomu, fle ko en m snadno dostupná místa rychleji vysychají a vzniká tak odpor, který m fle zabránit dal-ímu p íjmu vody do rostliny. Ko eny se s touto situací vypo ádávají bu zadržfováním vody, spí-e ale tak, fle pror stají do dal-ích, je-t mokrých, ástí p dy. D leflitá je p i tom vzdálenost jednotlivých ko ín k : hust-í ko enová sí vede k homogenn j-ímu rozloflení vlhkosti, a tedy i k v t-í dostupnosti vody v p d (Maseda et Fernández 2006).

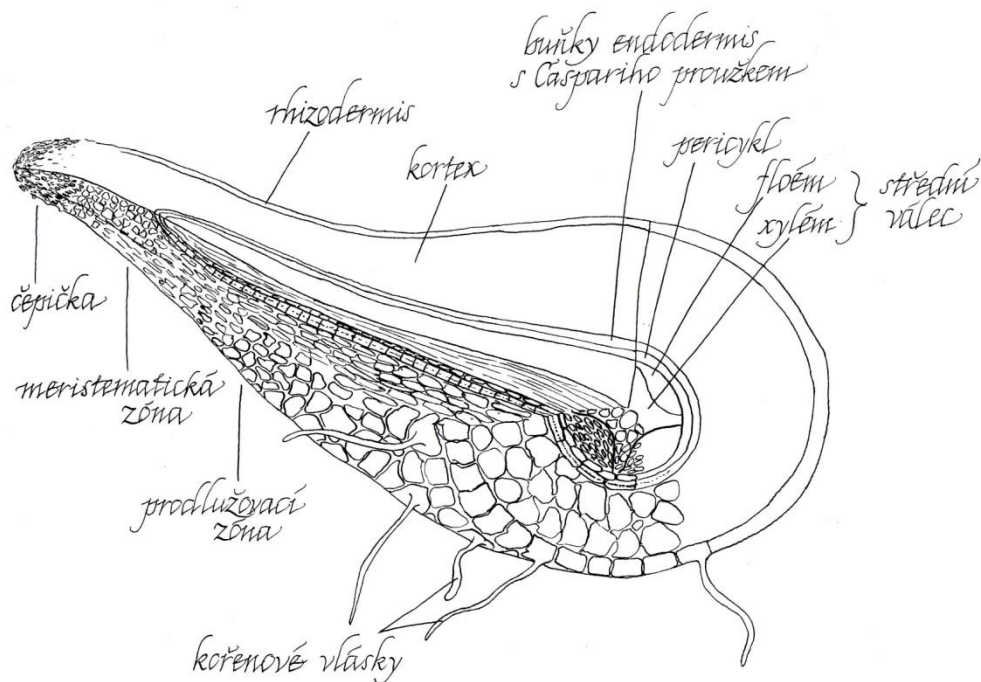


Obr. 1: Závislost hydraulické konduktivity na nasycení vodou. Není lineární a navíc se také podle typu půdy. Zatímco písek propouští vodu už při 20% vlhkosti, jíl má ještě při 60% nasycení vodou hydraulickou konduktivitu nulovou. (Převzato z Rawls et al. 1982)

2.2 Voda v kořenech

Absorpce vody kořeny je řízena zejména fyzikálními procesy, aby do nich mohla voda v dostatečném množství vstoupit.

Typickým příkladem jsou kořenové vlásky s mikroskopické výbavy buněk rhizodermis, viz obr. 2. Vznikají na mladých kořenech, blízko za prodlužovací zónou kořenových pletí, a mohou až několikrát zvětšit povrch celého kořenového systému (Richter 2004). Vstup vody a minerálů do rostliny byl prokázán i u starších kořenů, dokonce i tam, kde jsou buněčné stěny exodermis a endodermis plně impregnovány suberinem (Kramer 1946). Souvisí to se třemi různými cestami, kudy se může voda dostávat z půdy do xylému. Jsou to cesta apoplastická, v níž molekuly vody nevstupují do buněk, nýbrž jen do jejich stěn; dále cesta symplastická, kdy naopak voda mezi buňkami prochází kanálky plasmodesmy a neprochází membránou ohraničený prostor; a nakonec cesta transmembránová, kdy se k přenosu též vyvíjejí těla buněk, ale dochází navíc k přechodu přes membránu vakuol. Aby se voda dostala do středního válce a do vodivých pletí xylému, musí nicméně vstoupit do samotných buněk. Děje se tak nejpozději v endodermis, kde suberinem radiálně impregnované stěny buněk vytváří Caspariho proufek. Ten je silně hydrofobní a díky tomu veškerá voda vstupuje do středního válce cestou symplastickou (Weatherley 1975).



Obr. 2: Kombinace podélného (vlevo) a příčného (vpravo) řezu koenové epikaulu. Koenová epikaula má především funkci ochrannou při pronikání pody, v meristematické zóně jsou buňky dosud nediferencované, zatímco v zóně prodlužovací jsou už vyvinuta jednotlivá pletiva. Střední váleček, tvořený cévními svazky, je od kortexu oddělen endodermis.

Dalším způsobem, jak naprostá většina rostlin zvyšuje absorpci povrch svých koen je mykorrhiza. Je to oboustranně prospěšné těsné soužití hub s rostlinami. Tenké houbové vlásky, tvořené jen jednou řadou buněk, se nazývají hyfy, jejich soubor mycelium. Mycelium mykorrhizních hub usnadňuje minerální výživu rostlin, protože způsobí přístup pro koeny mnohem větší objem pody, než kam mohou samy dorazit. A kolik je průměrná životnost jednotlivých hyf relativně krátká (v řádu dnů), celková biomasa mycelia může dosáhnout vysokých hodnot. Podle výzkumů se v 1 ha lesní pody nachází 700-900 kg mycelia, z čehož je asi čtvrtina zapojena do mykorrhizy. (Wallander et al. 2001).

Při dostatečné podílní vlhkosti se mycelium rozrůstá a velmi efektivně předává koen m vodu i minerály. Při mírném vodním stresu dovedou houby vodní potenciál svých buněk regulovat. Pokud ale pody vyschne, zaniká symbióza a mykorrhizní houby přecházejí pouze ve formě spor (Gryndler 2004). Z hlediska vodního režimu rostlin se dá říci, že jim mykorrhiza velmi pomáhá při příznivých podmínkách prostředí, ovšem nezmírňuje následky extrémních výkyvů, jako jsou například zmíněné sucho nebo chlad.



Obr. 3: Prostorové rozložení kořenů smrku. První částice byly odstraněny proudem vzduchu pomocí technologie Air Spade. (vlevo, archiv Jana Čermáka). Ukázka hustoty a tvrdosti kořenů přesazovaného stromu (vpravo, zdroj obrázku WWW: <http://www.growingwisdom.com/index.aspx?pid=17&sid=1&lid=17>).

2.3 Kořeny – kmen

Pohyb vody rostlinou je podmíněn přítomností nepřerušovaného vodního sloupce. Voda může být nasávána sušším prostředím z vlhčího pouze ve chvíli, kdy mezi těmito prostředím nevznikla např. vzduchová kapsa (kavita). Klíčovými vlastnostmi vody totiž patří koheze (soudržnost), která zajistí, že molekuly k sobě díky vodíkovým můstkům přilnou a pohybují se společně. Naproti tomu vzduch takovou vlastnost nemá, je jak stlačitelný, tak neomezeně rozpínatelný. Když je výdej vody rostlinou vyšší než příjem, hodnota vodního tlakového potenciálu je záporná a voda v xylému se dostane do stavu tenze. Znamená to, že má prokazatelně větší molární objem (nižší hustotu) než voda normální a mezi jednotlivými molekulami se realizuje více vodíkových vazeb. Je to stav podobný ledu nebo podchlazené vodě. Zmíněný jev, zajímavý také v souvislosti s energií nutnou k evaporaci takto poznamenej vody, je zatím předmětem fyzikálních výzkumů (Tributche et al. 2005).

Záporný hydraulický potenciál je nezbytný pro příjem vody z okolí do kořenů, stejně jako pro pohyb kmenem. Přitom ale nezáleží na tom, zda byl vyvolán vysokou tenzí v důsledku transpirujících listů, nebo osmotickým tlakem pomocí hromadění iontů v xylému. V rychle transpirující rostlině je tenze vysoká a proud ním dochází ke zevňování roztoku v xylému, a přestože zde může být kladný osmotický potenciál. Tenze a osmotický potenciál tak mohou někdy působit i protichůdně (Weatherley 1975).

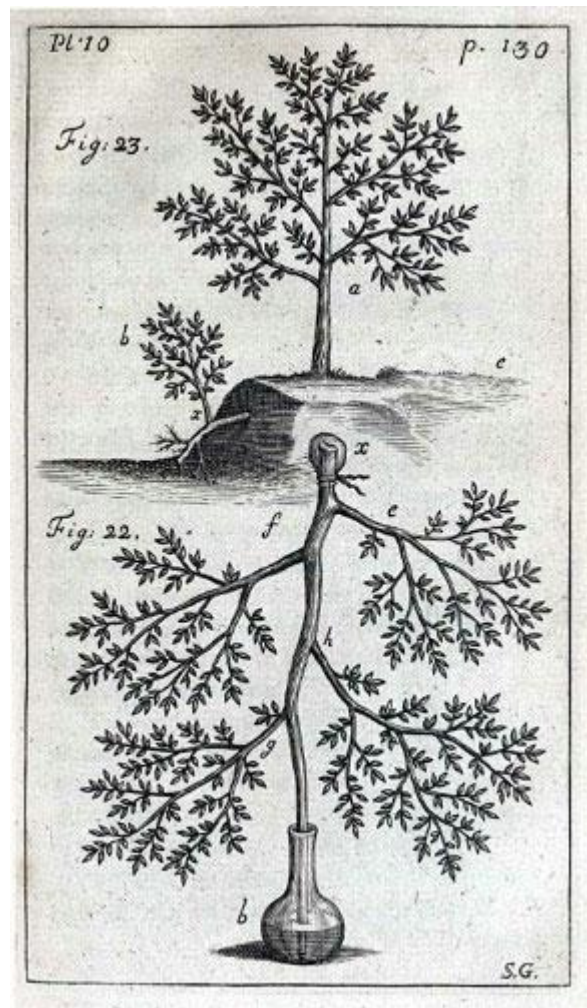
2.4 Hydraulická redistribuce

Ko eny jsou svou morfologií dokonale přizpůsobeny vedení vody a po vstupu do xylému je tlakový gradient nutný ke kondukcí vody afl o 10 ád nífl-í nefl pro vedení skrze flivou bu ku (Taiz et Zeiger 2002). Představa, flé ko eny vedou vodu vfldy jenom vzh ru, by v-ak byla mylná (Burgess et al. 1998). Hydraulická redistribuce je pojmenování pro schopnost cévnatých rostlin rozmís ovat vodu v okolní p d . Speciální vertikální ko eny, které zasahují do míst s rozdílnou vlhkostí, mohou tyto rozdíly efektívn vyrovnávat. Pomáhají tak k homogenn j-ímu p echodu vlhkostí povrchových a hlub-ích p dních vrstev.

Hydraulická redistribuce je v podstat pasivní proces, usnad ůjící pohyb vody do míst s nífl-ím potenciálem. Ve dne je samoz ejm transpirací daný sm r vzh ru, ov-em v noci a po zalití jen ur ité ásti suchem trpící rostliny se toto proud ní m flé zastavit í dokonce zcela obrátit.

Tak bylo nap íklad pozorováno okamflité zv-ení pozitivního proud ní lokáln zalitých ko en , zatímco ko eny, které do zalévané oblasti sice nedosahovaly, nicmén byly napojeny na ko eny zalité, vykazovaly zpomalení ve svém nasávání vody (Nadezhdina et al. 2006). Sm r a rychlost výsledného proud ní (sap flow) v nezalitých ko enech je dán rozdílem vodních potenciál nadzemní ásti rostliny a suché p dy, sout flí mezi t mito dv ma sinky (místy spot eby vody). Kdyfl transpirace klesne natolik, flé jífl nebrání reverznímu proud ní, m flé mezi ko eny probíhat zajímavá a neo ekávaná redistribuce.

V roce 1930 bylo experimentáln prokázáno nasávání vody p vodn suchou p dou z atmosféry skrze listy, kmen a ko eny ó reverzním tokem (Breazeale 1930). Dal-ím p íkladem redistribuce je no ní dopl ování vody v povrchových vrstvách p dy. Brooks se spolupracovníky studoval proud ní pomocí pohybu t flké vody (deuteria). V letních m sících, kdy je díky evaporaci velký rozdíl vodních potenciál na povrchu a v hloubce p dy (2 m a více), se ko eny uplat ují jako prost edník k vyrovnání t chto potenciál . Byl zaznamenán no ní výdej vody z m lkých ko en do vysychající p dy (Brooks et al. 2002). Tím se o významnou dobu zpozdí vyschnutí svrchní p dy na kritickou hodnotu, z ehofl vyplývají dva významné efekty. Za první je stále moflné odebírat z povrchových vrstev minerály a fliviny, a stejn tak mohou probíhat mikrobiální interakce a mykorhiza. Za druhé je pak tato dodávka vody nezbytnou zálivkou pro mnohé semená ky a malé rostliny s m l ími ko eny (Brooks et al. 2002). Proti t mto tvrzením v-ak stojí fakt, flé Nadezhdina ve svém pokusu nepozorovala fládný výdej vody z ko en do suché p dy, natofl pak do ko en sousedních rostlin (Nadezhdina et al. 2006).



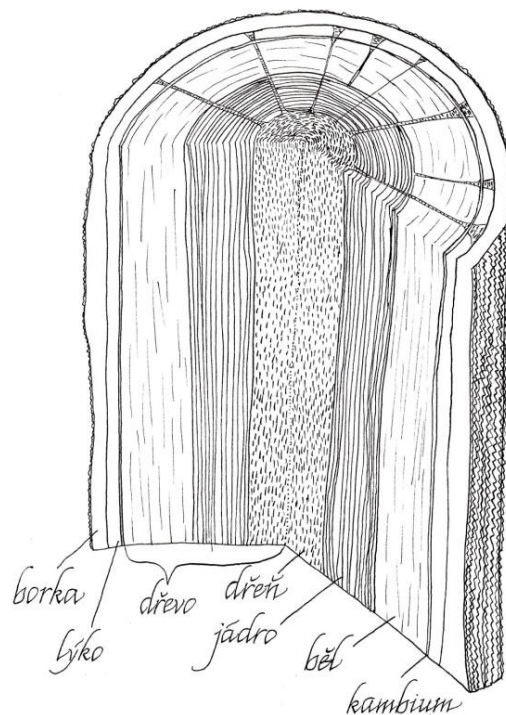
Obr. 4: První důkazy obousměrného pasivního proudění vody. Byla sledována rychlost vadnutí listů na jablonové větvi, jejíž vrcholová část je odříznutá a ponořena do vody, a část, která byla blíže ke kmeni, je utřena. Výsledky ukázaly ubývání vody z nádoby a přeflívání listů. (Hales 1727)

2.5 Kmen

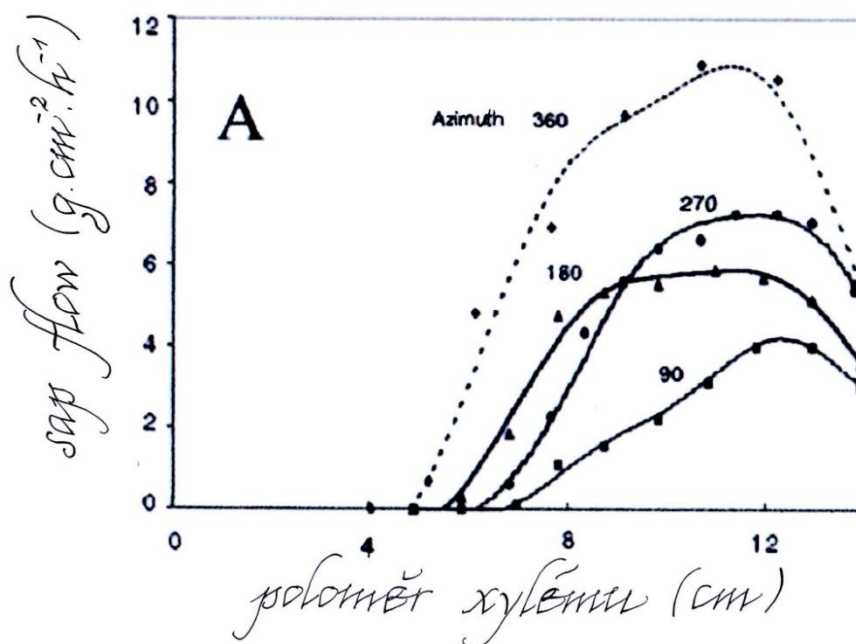
Kmen si lze z hlediska vodního režimu stromu představit jako tu jeho část, která v sobě integruje veškeré proudění od nejmenších kořenových vlásk po jednotlivé listy. Proto je výhodné měřit proudění (sap flow) právě ve kmeni, viz obr. 5, bez kmenem. Na druhou stranu získané výsledky je důležité porovnávat s průměry měřeními transpirace listů a sání kořenů. Ve kmeni směrem vzhůru narůstá gravitační potenciál, který musí voda překonávat. Pletiva jsou ale pro soběsamostatné vedení tak, aby pohyb vody neměl jiných překážek. Oproti cestám napříč pletivy kořene má mnohem delší cesta vodivými elementy minimální odpor. Cévy a cévice xylému jsou tvořeny buňkami, ve kterých odumřelá protoplasta, a neobsahují tedy fládné membrány, zbyla pouze funkční buněčná stěna. Ta je velmi pevná, vyztužená

ligninem. Roli ve snadném transportu hraje jak hydrostatický tlak, tak i kapilární síly (především v užších cévicích). Kapilární síly drží vodu v celém kmeni i tehdy, když se nepohybuje. Negativní hydrostatický tlak, vytvářený transpirujícími listy, pak táhne vodu vzhůru.

Pomocí modelu Heat Field Deformation (deformace tepelného pole) lze sledovat v jaké vrstvě xylému a jak rychle se voda pohybuje. Tato metoda je založena na sledování změny tvaru tepelného pole ve kmeni. Určitý úsek je zahříván, teplo se poté rychleji šíří ve směru proudění vody. Ve kmeni je okolo zdroje tepla umístěn několik teploter. Data z nich nasbíraná se použijí k modelování průběhu transpiračního proudu (Fernández et al. 2011). Rychlost proudění se mění na příčném průřezu kmenem velmi lišit a proto je potřeba brát v úvahu celý kmen a nejen jeho výsek, aby nedošlo k chybám, viz obr. 6 (Čermák et al. 2004). Proudění ve kmeni odráží také pohyb vody v kořenech. Je dokázáno, že vnější vrstvy xylému jsou napojeny na mleté kořeny, zatímco xylém blíže k jádru vede vodu z hlubšího (Nadezhdina et al. 2006, Burgess et al. 2006).



Obr. 5: Kombinace příčného (nahore) a podélného (dole) řezu kmenem. Podstatné pro transport vody je tzv. hydroaktivní dřevo - běl neboli sapwood (odtud označení sap flow pro transpirační proud). Podle druhu dřeviny jí tvoří 3-20 vnějších letokruhů xylému. Obvykle tmavší jádrové dřevo již ztratilo vodivou funkci, je však mechanicky odolnější. Dřevina může být přítomna v různých mírách; na obrázku jsou patrné dvě ové paprsky zasahující až do lýka.



Obr. 6: Rozložení transpiračního proudu na p í n ě m ě zu kmenem borovice. Bylo zm ě n ě no technikou HFD ze 4 r ů zn ě ych stran (azimut) (ě rm ě k et al. 2004). Rychlost transpiračního proudu na p í n ě m ě zu kmenem kolís ě a.

2.6 Zásobní voda

Ur ě it ě množství vody ve kmeni není vyuffíváno v transpiračním proudu, ale slouží jako zásoba, která pomáhá vyrovnat negativní potenciál v xylému, zp ě sobený nap ě . náhle zvý ě enou transpirací (ě rm ě k 2007, Phillips et al. 2003). Dodává tak transpira nímu vedení velkou pružnost, což je d ě ležit ě e z hlediska dynamiky proud ě ní vody. Vrcholové ě ásti strom tak mohou distribuovat vodu mnohem rychleji a v extrémn ě j ě ích nárazech nefl ě ásti spodní.

Zásobní voda také hraje významnou roli v p ě edch ě zení vzniku nebezpe ě ných vzduchových bublinek ó kavit. O jejím vyuffívání se m ě fleme p ě esv ě dit, když pozorujeme prob ě hající transpiraci, ale nikoli proud ě ní vody z ko ě en ě . Podíl zásobní vody v celkov ě m množství denní transpirace m ě fle být nej ě ast ě ji 20 afl 30 % (ě rm ě k 2007), v extrémních p ě ípadech v ě ak ě i 50% (Verbeeck et al. 2007). Stromy ě ji pouffívají, aby udržely v b ě hu fotosynt ě zu, když není dostatek vl ě hy v p ě d ě . P ě i dostate ě e p ě dní vlhkosti v ě ak ě nespol ě hají na zásobní vodu, ani když je atmosféra velmi suchá (Verbeeck et al. 2007).

V tropech n ě které stromy kvetou a vyr ě f ě jí nové výhonky i b ě hem suchého období, když mají opadan ě listí a m ě ly by trp ě t stresem z nedostatku vody. Tento paradox má vysv ě tlení prá v ě v zásobní vod ě ve kmeni (Borchert 1994).

Verbeeck se spolupracovníky zkoumal, jak ě jsou hlavní vlivy, poh ě n ě jící vyuffívání zásobní vody. Na prvním míst ě je to slune ě ní zá ě ení, které má p ě ímý vliv na transpiraci a s ní

spojený sap flow. Ovšem i ve dnech se stejným slunečním zářením se k ivky sap flow mohou zna n li-it, a to v d sledku rozdílného deficitu vodní páry (Verbeeck et al. 2007). Deficit vodní páry je rozdíl mezi aktuální vzdušnou vlhkostí a vlhkostí, která by za dané teploty vzduch vodní párou pln saturovala (viz dal-í kapitoly).

2.7 Listy

Voda se dostává do filnatiny list díky kapilárním silám v xylému a díky soudrlnosti zaji-t né vodíkovými vazbami. Afl v t ch nejjemn j-ích ástech cévního svazku opou-tí vodivá pletiva a vstupuje do samotných mezofylových bun k a do jejich st n.

Voda, která není spot ebována na flivotní pochody a fotosyntézu, ulpívá v hydrofilních bun ných st nách, odkud se vypa uje do mezibun ných prostor . Práv zde, na rozhraní vzduchu a vody v bun ných st nách, vzniká podtlak, který je nejd leflit j-í hnací silou pro pohyb vody celým stromem. Jakmile se odpa í film na povrchu bun k, zv t-í se mezibun né prostory v houbovém parenchymu. Voda má ale díky svému povrchovému nap tí tendenci mít co nejmen-í povrch. Hladina se tedy táhne, aby vyplnila místo vody odpa ené. Podtlak vody v kapilárách mezi ásticemi bun ných st n se p ená-í afl do xylému. Situace je zde podobná mikroskopickým pór m v p d , kde voda adhezivn lne k p dním ásticím. (Taiz et Zeiger 2002)

Velikost mezibun ných prostor se v r zných listech li-í. Stromy adaptované na su-í podmínky, nap íklad jehli nany, mají n kolikrát men-í povrch mezofylových bun k, a tedy niš-í schopnost odpa ování, neš-írokolisté druhy (Nobel 1991 in Pokorný et al. 2010).

2.8 Transpirace

Transpirace je výdej vody z list do atmosféry. Je ukon ením transpira ního proudu, který vedl vodu a fliviny z ko en do celého stromu. Transpirace zabra uje p eh ívání list . Jelikoš je zm na vlhkosti okolního vzduchu jejím p ímým následkem, je st flejní pro mikroklima, o kterém bude pojednáno dále. Vodní pára opou-tí list difuzí. Rychlost transpirace závisí na dvou hlavních faktorech: na rozdílu koncentrace vodních par v listu a v okolním vzduchu a na difúzním odporu vodivé cesty.

2.8.1 Odpor vodivé cesty

2.8.1.1 Odpor průduchů

Průduchy slouží rostlinám primárně k získávání oxidu uhličitého, který je nutný k fotosyntéze. Pokud je v listu otvor, nelze samozřejmě zabránit výměně ostatních složek vzduchu, což vede ke ztrátám vody z rostliny. Jedním z cílů této práce je však poukázat na fakt, že odchod vodní páry z rostlin není jen šetrným zlem, ale přínosem (jak píše Kramer et Boyer 1995). Kromě pozitivních účinků transpirace na rostlinu, jako je zabrazení přehřátí listů, i transport minerálů a fytohormonů, jsou zde ještě mnohé pozitivní dopady na ekosystémové i globální úrovni.

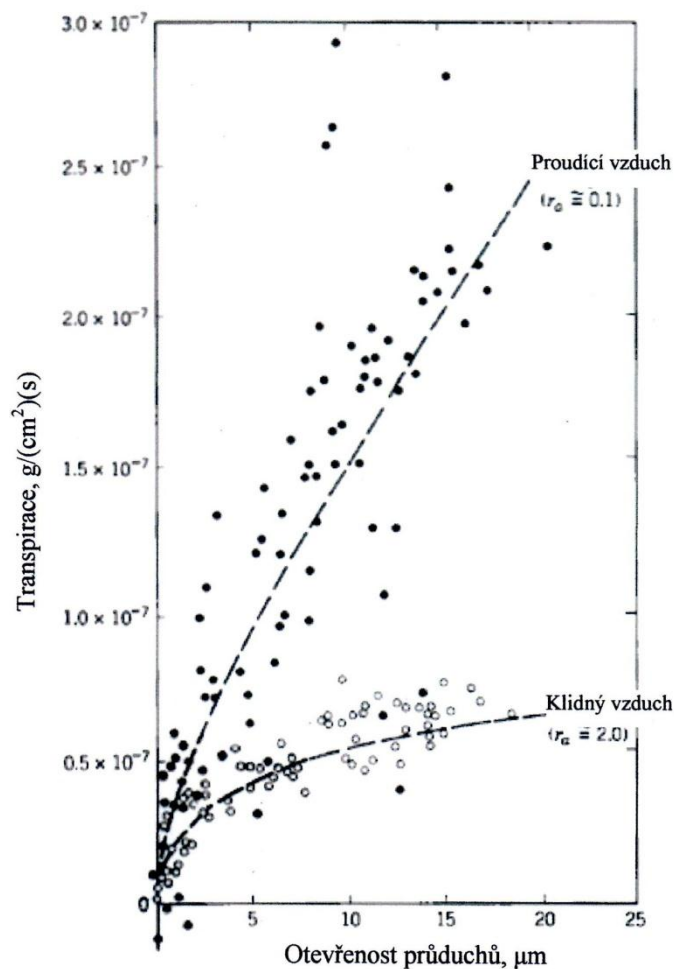
Voda, odpařená do mezibuněčných prostor, se dostává do podprůduchových dutin. Odpor průduchu je první bariérou vodivé cesty, kterou musí molekuly vody překonat při difúzi ven z listu. Vosková kutikula na povrchu listu je téměř nepropustná, proto voda opouští list především průduchovými otvory. Ty jsou obklopeny tzv. svracími buňkami, které reagují na okolní podmínky příněm nebo vydáváním vody, čímž mění svůj tvar. S otevřeností průduchu klesá jejich odpor.

Mezi hlavní vnější faktory patří intenzita a vlnová délka přicházejícího slunečního záření, teplota, relativní vlhkost a koncentrace oxidu uhličitého v listu. Většina rostlin reaguje na přicházející fotosynteticky aktivní záření a nedostatek oxidu uhličitého v listech otevřením průduchu (výjimkou jsou například rostliny s tzv. CAM metabolismem). Ovšem nízká vlhkost vzduchu může způsobit, že průduchy zstanou uzavřené, i když jsou ostatní podmínky pro fotosyntézu dobré. Na přímý vliv atmosférické vlhkosti se dnes klade mnohem větší důraz než dříve. Zdá se, že rostliny otevírají průduchy i při vysoké vlhkosti okolního vzduchu a to i tehdy, pokud samy listy trpí nedostatkem vody (Schulze et al. 1972). O tom, jak se v rostlinách přeměňuje sluneční energie, pojednává druhá část této práce.

Rozměry a morfologie průduchu jsou proměnlivé například u rostlinnou řady. Také počet značně kolísá. Zatímco u kukuřice lze najít 60 až 80 průduchů na mm^2 , u jabloně je to již 300 a u dubu až 1000 průduchů na mm^2 . Logicky přitom platí, že s početností se snižuje velikost průduchu. Jsou-li otevřeny, je obsah průduchových otvorů ku povrchu listu asi 1%. (Kramer et Boyer 1995)

2.8.1.2 Odpor hraniční vzduchové vrstvy

Další složkou odporu vodivé cesty je tloušťka hraniční vzduchové vrstvy na povrchu listu. Je to vrstvička vzduchu, která se skoro nehýbe, a je proto nasycena vodní párou z transpirujícího listu. Molekuly vody se tedy nedostanou hned do turbulentní atmosféry, ale musí jet prostou difúzí překonat tuto bariéru. Tloušťka hraniční vrstvy závisí na morfologii konkrétního listu, především ale na rychlosti vtrhu. Vítr je pro míru transpirace velmi důležitou proměnnou, viz obr. 7. Výzkumy ukazují, že je-li hraniční vrstva tlustá, vyplatí se rostlinám otevřít průduchy, nebo ztráty vody tím sice porostou, ale fotosyntetický zisk je převládá. Naproti tomu s tenkou hraniční vrstvou bude mít otevření průduchů vždy za následek určitou nevýhodu ve ztrátě vody (Buckley et al. 1999).



Obr. 7: Závislost míry transpirace na otevřenosti průduchů. Když je vzduch klidný, nemá otevření průduchů na transpiraci velký vliv. Pokud je ale hraniční vrstva v dle sledku vtrhu tenká, průduchy se významně podílejí na regulaci transpirace. (Kramer 1983 in Kramer et Boyer 1995)

2.8.2 Koncentrace vodní páry

Druhým faktorem, který ovlivňuje rychlost transpirace, je rozdíl koncentrace vodních par vně a uvnitř listu. Koncentraci vodní páry v okolí rostliny lze naměřit. Při stanovování koncentrace páry v mezibuněčných prostorech listu se vychází z předpokladu, že je zde vzduch při dané teplotě nasycený vodní párou. Takové zjednodušení je možné připustit z následujícího důvodu. Objem intercelulár je vůči povrchu, z něhož se voda odpařuje, velmi malý. Dá se proto předpokládat, že vodní potenciály ve vodním prostředí buněčných stěn a ve vzduchu v mezibuněčných prostorech jsou v rovnováze a vzduch je nasycen vodní párou. Tak tedy zjistíme koncentraci vodní páry v listu za pomoci změny jeho teploty (Nobel 1991 in Kramer et Boyer 1995).

V kapitole o zásobní vodě již byla zmínka o deficitu vodní páry. Je to množství vodní páry, které při dané teplotě chybí ve vzduchu do jeho nasycení. Na rozdíl od relativní vlhkosti vykazuje deficit vodní páry téměř lineární závislost s mírou odpařování (a tedy i transpirace), protože se používá část její. Stoupne-li deficit vodní páry, průduchy se uzavírají, nebo ztráty vody by byly vůči fotosyntetickému zisku příliš vysoké (Verbeeck et al. 2007).

2.8.3 Výdej vody a příjem oxidu uhličitého

Již bylo zmíněno, že průduchy v listech zprostředkovávají výměnu plynů, především kyslíku, vody a oxidu uhličitého. Plyny difundují podle svých koncentračních gradientů. Voda a kyslík do atmosféry a oxid uhličitý, který je v listech spotřebováván, z atmosféry do listu.

Rozsáhlé studie potvrzují, že existuje druhově charakteristická závislost mezi transpirací a asimilací oxidu uhličitého (Buckley et al. 1999). Jinak řečeno, na jeden odpařený litr vody přijme každá rostlina jiné množství CO_2 . Při zprůměrování hodnot, které během roku kolísají, vycházejí následující hodnoty. Travnaté louky zafixují $3,4 \text{ g CO}_2 / \text{kg H}_2\text{O}$, opadavý les $3,2$, jehličnatý les $2,4$ a tundra $1,5 \text{ g CO}_2 / \text{kg H}_2\text{O}$ (Law et al. 2002). Uvedená data jsou pro hrubou fotosyntézu, což znamená, že se od množství zafixovaného CO_2 odečte CO_2 vyloučené rostlinou při dýchání. Počet molekul transpirované vody je vždy nejméně o dva řádky vyšší, než počet zafixovaných molekul CO_2 (Yoo et al. 2009 in Pokorný et al. 2010).

Transpirační účinnost je veličina, která udává podíl transpirované vody (v kilogramech) aisté fotosyntetické produkce (množství sušiny v gramech). Je důležitá již

nezamnit s úinností fotosyntézy, která udává podíl energie uložené v asimilátech a p íchozí slune ní energie. Abychom mohli p eít z váhy CO₂ v p edchozím odstavci na váhu su–iny, je t eba provést mírné zjednodu–ení a p edpokládat, že su–inu tvo í pouze primární produkt fotosyntézy, glukóza. Posloufí k tomu schematická rovnice pro fotosyntézu:



Tato rovnice ukazuje, že je t eba –esti mol oxidu uhli ítého pro vznik jednoho molu glukózy. Těst mol CO₂ má hmotnost 6 x 44g, tedy 264g, jeden mol C₆H₁₂O₆ váží 180g. M ěme tedy íci, že pom r vah asimilovaného CO₂ a vzniklé glukózy je 264 : 180, neboli 1,46 : 1.

Množství vody, které vstupuje do této reakce, je zanedbatelné ve srovnání s množstvím, které odchází z rostliny transpirací.

Ukazuje se, že nejvy–í podíl fotosyntézy a respirace nevykazují rostliny pod p ímým zá ením. Rostliny v difúzní radiaci (ve stínu) totiž netrpí tak vysokým deficitem vodní páry, a proto jsou chladn j–í, mají také níž–í respiraci. (Law et al. 2002)

3. Mikroklima

Tato ást bakalá ské práce se v nuje mikroklimatu v okolí rostlin. Mikroklima je klima v malé oblasti, které se v d sledku konkrétních místních vlastností li–í od klimatu, je-li se pro danou zem pisnou oblast udává jako charakteristické. Teplotní rozdíly mohou být velké i ve velmi nepatrných vzdálenostech. Na tom, jak se nakonec cítíme, se mnohem více ne-li pr m rná teplota na–eho okolí podílí rychlost v trů, sm r teplotních gradient ů a vlhkost vzduchu. Proto je podstatné studovat nejen klimatologii a meteorologii, ale také specifika r zných prost edí, která na pov rnostní podmínky reagují r znými zp soby.

Jako každý jiný (i neživý) objekt, ovliv ůjí rostliny své okolí tím, že poskytují stín a záv t í. Tyto vlastnosti jsou ale mnohonásobn p evý–eny teplotními a vlhkostními zm ěnami, které zp sobují rostliny svým hospoda ením s vodou.

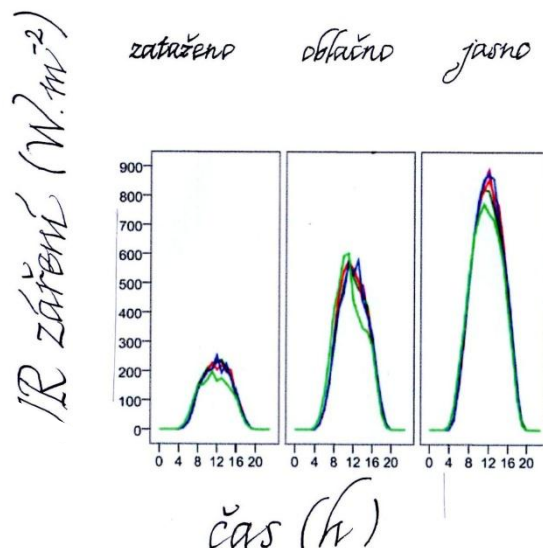
3.1 Sluneční energie

Bez slunečního záření není možné představit si Zemi takovou jaká je. Význam pro živé organismy je zásadní – plynná atmosféra, teplota vhodná k životu, fotosyntéza a jiné životní procesy vdíčí za svou existenci právě sluneční energii.

Povrch Slunce, jehož teplota je 5900 K, vysílá vlnění svého záření ve viditelném spektru 400 - 700nm. Méně pak vysílá v oblasti UV a IR záření. Zatímco spektrum se nemění, hustota zářivého toku se snižuje se vzdáleností od Slunce. Pro průměrnou vzdálenost mezi Zemí a Sluncem existuje tzv. solární konstanta. Je to stabilní množství energie dopadající kolmo na povrch atmosféry: 1361 W/m^2 (Kopp et al. 2005). Z důvodu rozdílných měření udávají jiné zdroje hodnotu solární konstanty až 1367 W/m^2 (Geiger et al., 2003). V důsledku eliptické dráhy oběhu Země okolo Slunce se během roku množství dopadající energie mění o 3,4 %, přičemž nejvíce záření přichází (nejblíže jsme Slunci) v lednu (Geiger et al., 2003). Jsou také patrné mírné výkyvy díky jedenáctiletému cyklu Slunce (Geiger et al., 2003).

Z celkového množství energie přicházející k Zemi se však na její povrch dostane pouze část. Určitý podíl se vrací zpět do kosmu v podobě odraženého (krátkovlnného) i vyzařovaného (dlouhovlnného) záření. Při průchodu atmosférou se mění spektrální složení slunečního záření, klesá podíl ultrafialového a naopak podíl tepelného vlnění. Část záření je rozptýlena a absorbována atmosférickými plyny. Tzv. skleníkové plyny absorbují tepelné záření (emitované zahřátou Zemí) a nedovolují mu opustit atmosféru. Největší podíl na absorbovaném záření má mezi atmosférickými plyny vodní pára – nikoli CO_2 (Rosenberg 1974). Množství energie dopadající na zemský povrch kolísá v denních a ročních cyklech. Samozřejmě se velmi snižuje s oblačností. V našich zeměpisných šířkách je průměrný denní příjem energie okolo 3 kWh/m^2 , což je 1100 kWh/m^2 za rok. Nejvyšší je na rovníku, ročně zhruba 3000 kWh/m^2 (NASA 2011).

Až kolik se často udává průměrný denní příjem sluneční energie, radiace se během dne samozřejmě mění, viz obr. 8.



Obr 8: Píchozí krátkovlnné záření v závislosti na oblačnosti a na denní době. Změny v průběhu dne s rozdílnou oblačností, měně na pítírných blízkých místech. D sledkem vyší vlhkosti (mlhy) ve vzduchu nad transpirující vegetací jsou mírné rozdíly mezi měnými lokalitami. Je však zřejmé, že rozhodujícím faktorem není lokalita, ale denní doba a oblačnost. (Pokorný et al. 2010a)

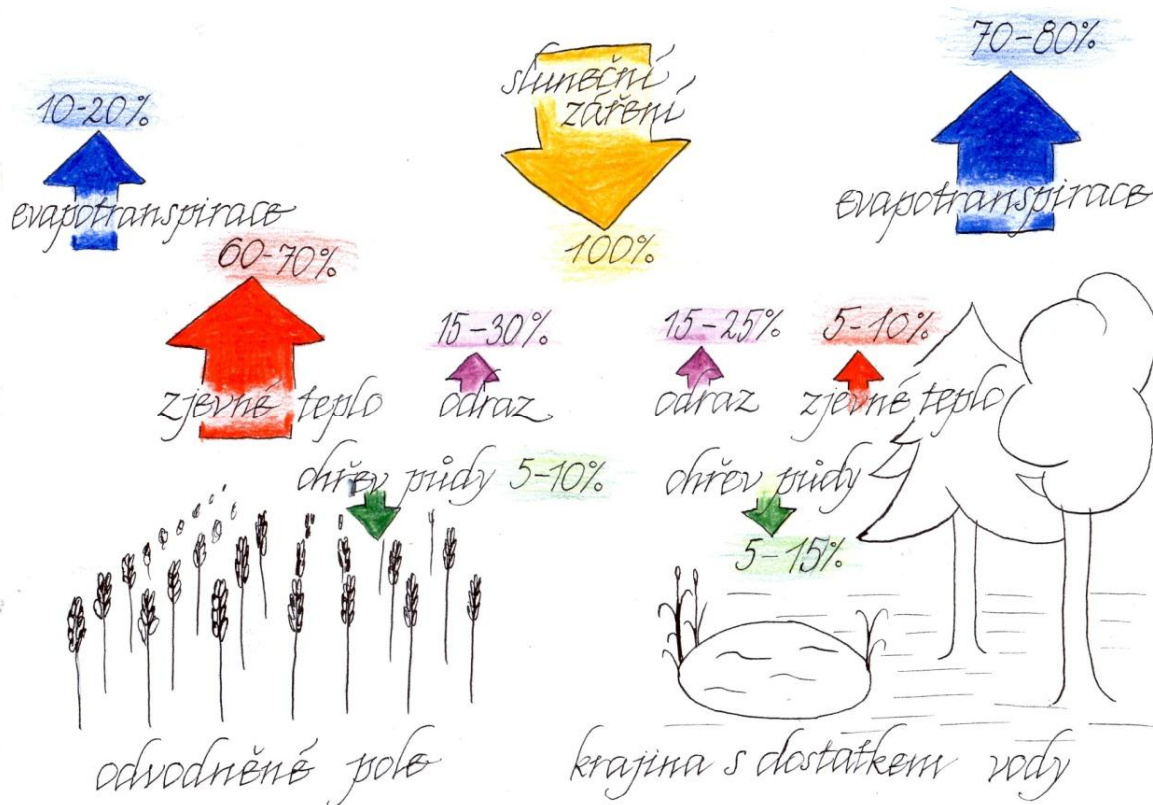
3.2 Zjevné a latentní teplo

Další osud sluneční energie se odvíjí podle úhlu dopadu, vlnové délky a vlastností povrchu, na který dopadá. Za prvé je určité množství odrazeno zpět. Poměr odraženého a píchozího záření se nazývá albedo. Zbylé neodražené záření (R_n , net radiation) je přijato povrchem a dílí se na tyčásti. Jsou to latentní teplo, zjevné teplo, teplo proudící do podla a energie využitá vegetací. Poměr zastoupení těchto tepel závisí především na tom, zda je v systému přítomna voda. (Pokorný et al. 2010a)

V případě zjevného tepla se přijímaná energie spotřebuje na zvýšení teploty ozářeného povrchu. Od něj se následně ohřeje vzduch a my to pocítíme jako zvýšení teploty. Pokud se ale energie vyfúfije na povrchu skupenství vody, teplota se nezvýší. Proces odpaování vody z povrchu podla a rostlin se s transpirací shrnuje pod pojem evapotranspirace. Voda se může měnit v páru při libovolné teplotě (a kolik je výpar teplotou ovlivněn a při teplotě varu se dokonce začne vypařovat nejen z povrchu, nýbrž v celém svém objemu). Pro každou teplotu lze určit měrné skupenské teplo výparné, což je množství energie nutné k pění 1kg vody na páru o stejné teplotě. Pro 25°C je to 2243,7 kJ/kg. Dané teplo se nazývá latentní, protože se neprojevuje zvýšením teploty, protože je ale jeho energie uchována v plynném skupenství vody a může být zpět znovu kondenzací opět vrácena do prostředí. Tím se dostáváme k hlavní

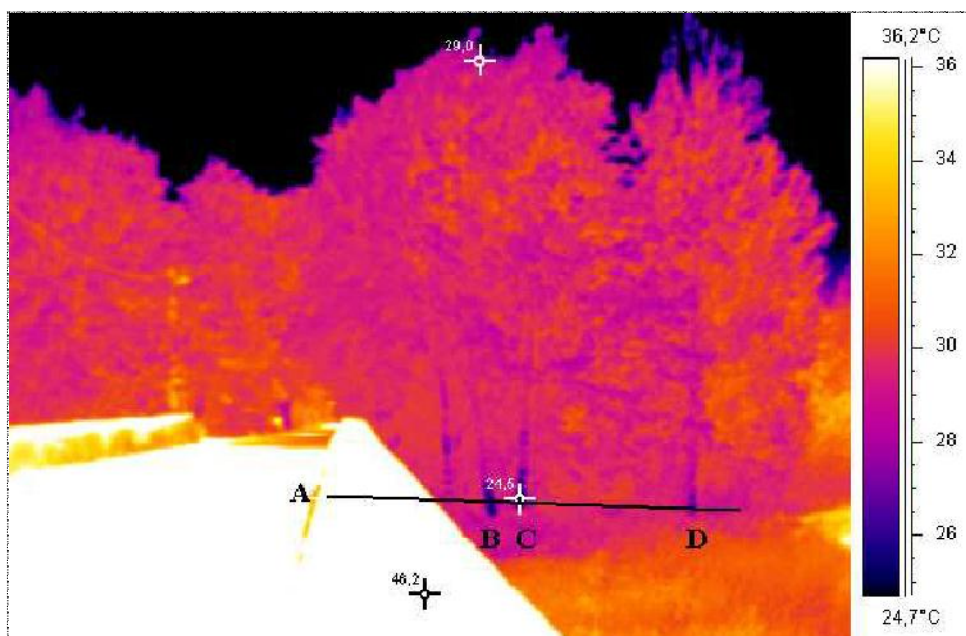
mikroklimatologické funkci rostlinných ekosystémů. Díky regulaci transpirace vody podstatně ovlivňuje poměr zmíněných tepelných forem, na které se energie přemění (Hutjes et al. 1998).

Při porovnání prostředí z hlediska přeměny sluneční energie, je zřejmé, že se mohou značně lišit. V krajině dostatečně zásobené vodou se asi 80 % slunečního záření přeměňuje na latentní teplo. Ve vysušených ekosystémech, jako je například zastavěná plocha nebo zrající obilné pole, se stejné množství záření přemění více ve zjevné teplo, viz obr. 9. Bowenův poměr je podíl zjevného tepla ku latentnímu (Bowen, 1926). Ve vodou nasycených ekosystémech bývá vždy menší než 1. Nad tropickým oceánem má hodnotu 0,1, což znamená, že je zde desetkrát více energie v latentním teple než ve zjevném. Poutní extrém, kde je Bowenův poměr 10, naopak vykazují desetkrát více tepla zjevného. V evropských a amerických městech bývá okolo 5 (Taha 1997), viz obr. 12.



Obr. 9: Přeměny sluneční energie v rozdílných prostředích. Vpravo vysušená krajina a vlevo krajina zásobovaná dostatečným množstvím vody. (Podle Pokorného et al. 2010b).

V souvislosti s globálním oteplováním se objevil názor, že rostlinný pokryv má kvůli nízkému albedu spíše oteplovací než chladičící efekt. Vegetace je tmavá, proto více energie pohlcuje, než odráží, a otepluje se. Tato představa však nepočítá s evapotranspirací. Pomocí snímkování termovizní kamerou lze ukázat skutečnou teplotu různých povrchů. Albedo tu pro evapiv nehraje hlavní roli, viz obr. 10. (Hesslerová et Pokorný 2011)



Obr. 10: Normální a termovizní snímek mostu a vegetace v horkém dni. I přes nízké albedo nepřesahuje teplota porostu 30°C, zatímco teplota sv. tlého mostu se blíží k 50°C. (Hesslerová et Pokorný 2011)

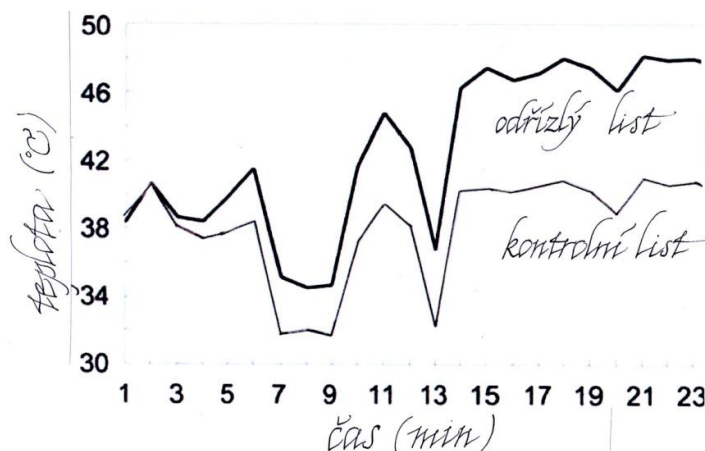
3.3 Energie přijatá vegetací

Jen velmi malé množství z celkové radiace je přijato rostlinami. Zde se využívá na ohřátí pletiv a na světelnou část fotosyntézy.

Co se ohřevu rostlin týká, nedá se přímo zjistit, o kolik by se přijatým teplem zvýšila jejich teplota, nebo se neustálou transpirací ochlazují. Pokud však ve slunném dni zabráníme přístupu vody do listu, jeho teplota je již po 3 minutách výš než u listu kontrolního a postupně se dále zvyšuje, viz obr. 11.

Účinnost fotosyntézy je poměr mezi výkonem a příkonem, příměří za výkon se považuje energie uložena fotosyntézou do chemických vazeb (např. 2,8 MJ/mol glukózy) a za příkon celková energie dopadající na list.

V ekosystémech mírného pásma, nelimitovaných nedostatkem vody, je průměrná roční produkce sušiny 1 kg/m², v tropech až 5 kg/m² (Cooper 1975, Pokorný et al. 2010a). Obsah energie v biomase závisí na typu ukládaných látek. 1 kg sušiny v sobě obsahuje asi 17 MJ, jde-li o celulózu a škrob, a až 26 MJ, jedná-li se o olejnatá semena (Pastorek et al. 2004 in Pokorný et al. 2007), což se rovná 47 kWh, respektive až 72 kWh. Vezmeme-li v úvahu roční příkon sluneční energie, vyjde nám účinnost fotosyntézy v řádech jednotek procent, a to pouze 1-2 %. Existuje však velké množství proměnných, jako například hodnota vstupní energie, kterou může být buď celkové záření na daném místě, či pouze fotosynteticky aktivní radiace, dále rostlinné druhy, délka vegetační sezóny a další specifika prostředí. Procentuální údaje o účinnosti fotosyntézy na velkém území je proto nutné brát jako orientační a velice zjednodušené.



Obr. 11: Vývoj teploty listu od řezaného a listu ponechaného na rostlině. List, do kterého již nepřitéká voda, se rychle ohřívá, zatímco kontrolní list si udržuje díky transpiraci víceméně stálou teplotu. Výkyvy teplot na grafu jsou způsobeny přecházejícími mraky. (Pokorný et al. 2010b)

3.4 Strom jako klimatizační jednotka

Srovnání 52 dlouholetých studií ukazuje, kolik litrů vody denně stromy ztratí transpirací ve vegetační sezóně. Rozdíly jsou podmíněny lokalitou (její vlhkostí) a druhem a stářím stromu, ale přesto 90 % srovnávaných stromů transpirovalo mezi 10 a 200 l vody za den. Velké stromy s průměrným kmene více než 1,4 m dosahují hodnot 400 l denně a více. (Wullschleger et al. 1988)

Pro snazší úvahy se množství odpařené vody udává nikoli na jeden strom, ale na m^2 průmětu jeho koruny. Duby s dostatečnou zásobou vody odpaří v průměru za vegetační sezónu 365 l vody na m^2 . 900 MJ nutných na zmenu skupenství takového množství vody odpovídá 250 kWh dodaných sluncem (Pokorný et al. 2010a). Průměrný denní příkon sluneční energie je ve vegetační sezóně (duben - září) $4,4 \text{ kWh/m}^2$ (NASA 2011), zatímco – jestliže to v součtu činí 800 kWh/m^2 . Latentním teplem tedy dub odvede 30 % energie celkové přichozí radiace.

Teoretický strom s průměrnou korunou 10 m má průmětnou 80 m^2 . Denně na jeho povrch dopadne 240 kWh. 30 % této energie, 72 kWh, je využito pro chlazení. Takový strom chladí 12 hodin denně průměrným výkonem 6kW, což je několikrát více než běžné klimatizace dodávané do budov. Zásadní je ovšem vzájemná závislost intenzity transpirace na množství přicházejícího záření a také na teplotu a relativní vlhkost vzduchu. Při dostatečném zásobení vodou reagují průduchy rychle na vyšší záření umocněním vyšší transpirace.

Evapotranspirace má dvojitý klimatizační efekt. Snižuje teplotu při výparu a naopak brání snížení teploty při zpevněné kondenzaci na chladnějších místech nebo v noci (Pokorný et al. 2010b).

3.5 Vodní cykly

V přírodě má voda obíhat v malém a velkém vodním cyklu. Velký vodní cyklus zahrnuje výměnu vody mezi oceány a pevninou, voda se přitom transportuje na velké vzdálenosti. Pokud je v rovnováze, zajistí, aby se na pevninu srážkami dostávalo stejné množství vody, jako odetéká zpět do oceánů. V rovnovážných ekosystémech obíhá voda také v malých vodních cyklech, což znamená, že místa a asy kondenzace a evapotranspirace nejsou tolik vzdáleny. Důsledkem malých vodních cyklů je udržení vody na pevninách co nejdéle, pozdržení návratu do oceánů. Je-li ekosystém narušen například

odlesnáním, neeterným zemědělstvím i urbanizací, malé vodní cykly zanikají, voda se odvádí do řek a moří rychleji, nejlépe je doplňována srážkami, a pevnina vysychá (Kravčík et al. 2008).

Klimatizační procesy vegetace jsou napájeny sluneční energií. Ta je ve formě vodní páry vázána a odnesena do chladnějšího prostředí, kde je opět uvolněna kondenzací. Tím udržuje teplotní rovnováhu v časě a prostoru, jinými slovy: snižuje teplotní rozdíly mezi dnem a nocí i mezi sousedními prostředími v heterogenní krajině. V malém vodním cyklu tak určitě voda patří k určitému místu, kde se svými fyzikálními vlastnostmi (vysoká tepelná kapacita, výpar, kondenzace) výrazně podílí na udržení mikro- a meso-klimatu. (Ripl et Eiseltová 2009)

3.6 Změny v mikroklimatu v důsledku změn přirozeného porostu

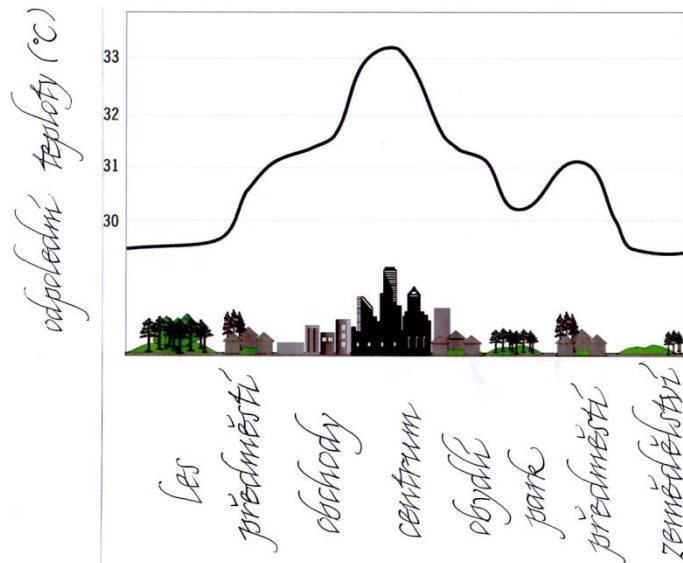
Vlivem lidské činnosti dochází často k nahrazení mozaikovitě krajiny velkými odvodňovacími a zastavovacími plochami. To vede k zániku malých vodních cyklů a následně k extrémním výkyvům počasí i na vzdálených lokalitách.

3.6.1 Města

Velká města jsou svým povrchem samozřejmě velmi daleko od přirozeného stavu krajiny. Hlavní rozdíl je malý výskyt porostu s vegetací. Více než 90 % povrch je pokryto nepropustnými materiály (Perkins 2004), což má za následek změnu ve způsobu přijaté sluneční energie ve zjevné teplo a vznik tepelného ostrova (Taha 1997), viz obr. 12. Dalo by se říci, že s výjimkou parků trpí města nedostatkem vody. Zacházení se srážkovou vodou jako s vodou odpadní je přirozeným důsledkem vyasfaltovaných ploch. Srážková voda se nemá kam vsáknout, za nímž je velké množství a je odváděna do kanálů. V suchém období pak na daném místě chybí, klesá i hladina podzemní vody (Perkins 2004).

Oázy v pouštích představují opačné prostředí: jejich okolí je mnohem suché a teplejší. Proto zde někdy dochází k tak velké evapotranspiraci, že je na ní spotřebováváno i teplo z okolí. Tok latentního tepla je velký a tok zjevného tepla je negativní, Bowenův poměr tedy může mít hodnotu až -0,26 (Taha 1997).

V souvislosti probíhají studie vlivu parků na mikroklima města za pomoci tzv. indexu nepohodlí (discomfort index, DI), který se stanovuje na základě vlhkosti a teploty. V úvahu se berou druhové rozdíly mezi stromy a také architektura ulic a náměstí. (Georgi et Zafiriadis 2006)



Obr. 12: Městský tepelný ostrov. Navzdory poměrně vysokému albedu je teplota ve městech vyšší než ve venkovské krajině. Je to dáno tmavými střešními krytinami a asfaltovými povrchy, které přeměňují ve větší množství sluneční záření na zjevné teplo. Světelný vliv, ač méně, na zvýšení teploty má i antropogenní teplo. (Taha et al. 1992 in Schneider et Sagan 2005)

3.6.2 Venkov

Lidé si přizpůsobují krajinu především ve městech. Následky v podobě mikroklimatických změn však nejsou výsadou hustě osídlených území. Podobný nárůst teploty jako nad městy lze pozorovat v jakémkoli prostředí, které bylo odvodňováno, tedy například nad odlesněnými pláňmi nebo nad zemědělskou půdou. Pielke (2001) ukazuje, co může způsobit masivní horký suchý vzduch nad rozpáleným povrchem. Nad takovými místy v podstatě nepříznivě stoupající horký vzduch nedovolí vodě zkondenzovat a srážky jsou odsunuty mnohem dál, do chladnějších oblastí, kde pak často způsobují prudké bouřky a povodně (Pielke 2001). Dalším častým jevem, který je spojen s extrémně horkými plochami v krajině, je prudký vítr. Stoupající teplý proud vytváří podtlak a na jeho místo je prudce nasáván vzduch z okolí.

Záplavy, sucho, vichřice a další extrémy po asi lze považovat za následky odvodnění krajiny (Kravčík et al. 2008). Dané jevy jsou navíc v tuzemsku doprovázeny pozitivní zpětnou vazbou, jak dokazují například rozsáhlé desertifikace v Africe i Jižní Americe. Čím méně vody je v prostředí, tím méně má toto prostředí schopnost vodu udržet a recyklovat. Odvádění dešťové vody co nejdříve cestou (kanalizací) do oken a narovnávání vodních toků má za následek zrychlený odtok vody z krajiny a z malého vodního cyklu. Kromě toho odnáší rychle odtékající voda do oken i úrodnou půdu a minerály. Ztráty minerálních látek z půdy jsou u

vysočených a umle zavlažovaných polí s rychlým odtokem vody afl 100 vyí nefl v pirozených podmínkách (Ripl 2003). Nápravy takové situace lze dosáhnout obnovením malých vodních cyklů, k nimž výrazně přispívá také výsadba vhodných stromů. Beletristicky je tento námět zpracován v novele Mufl, který sázel stromy od Jeana Giona (1954).

3.7 Rostliny jako disipativní struktura

Dlouhou dobu se uplatovala představa flivota jako neustálého boje s entropií. Podle této teorie vše je samovolně k chaosu a pouze neustálým dodáváním energie je možné udržet v chodu a složitě chemické reakce v chodu. flivot je pak ojedinělým fenoménem, kterému se dají zdánlivě vyhýbat druhému termodynamickému zákonu a zůstávat mimo rovnováhu (Schrödinger 1944). Dnes se však objevují i jiné představy. Jedním z nich je také pohled na flivot jako na disipativní strukturu (Marko et Hajnal 2007, Schneider et Sagan 2005, Capra 1996).

Vychází z představy, že organizované struktury nevznikají na úkor energie, nýbrž jako vedlejší produkt jejího rozptylování a disipace (Prigogine et Glansdorff 1971 in Capra 1996). Jinak by se, je-li někde zdroj energie, a na jiném místě její nedostatek, bude samovolně probíhat ustavování rovnováhy. Do tohoto místa se teorie jeví od představy směřování k entropii. Rozdíl přichází v momentě, kdy je nějaká struktura schopna disipaci energie katalyzovat. Energie škrze ni prochází rychleji než pouhým chaotickým pohybem a jakoby mimochodem tuto strukturu udržuje ve stavu daleko od termodynamické rovnováhy (Marko et Hajnal 2007).

Je zde zcela zřejmý posun v nahlížení na celou situaci. Věchny flivé organismy jsou otevřenými systémy ve smyslu kolobů látek a energie. Na úrovni ekosystémů jsou látky neustále recyklovány, zatímco energie jimi protéká a zajišťuje optimální podmínky pro flivot. Místo, v němž probíhá jeden takový cyklus je tzv. disipativní ekologická jednotka (Ripl 2003, Ripl et Eiseltová 2009).

Samovolný vznik disipativních struktur lze předpokládat, kdekoli se vyskytuje gradient se stálým příkonem energie. Vyrovnávají gradienty a ustavují rovnováhu, jelikož je ale energie neustále dodávána, hlavním efektem disipativních struktur je její rozptylování (Mikulecky 1993 in Schneider et Sagan 2005). V minulých kapitolách již bylo zmíněno, jak rostliny hydraulickou redistribucí svých kořenů pomáhají k homogennějšímu rozložení

vlhkosti v p d . Dalším příkladem, jak rostliny napomáhají uskutečnění samovolných dějů, je také transpirace.

Nový pohled na stromy je nevidí pouze jako konečné pohlcovače slunečního záření a výrobce biomasy. Vzhledem k tomu, že do asimilát je uloženo zhruba 1 % přijaté energie, dalo by se říci, že fotosyntéza je až druhouadou funkcí v porovnání s mnohem větší energetickou i látkovou výměnou. Stromy jsou do mikroskopických detailů propracované cesty, kudy se energie flivotními pochody ubírá ke svému rozptýlení. (Schneider et Sagan 2005)

4. Závěr

Cílem této práce bylo ukázat, že stromy fungují jako velmi výkonné a peliv regulované klimatizační jednotky, navíc relativně levné. V podstatě jedině, co ke své činnosti potřebují, je sluneční energie a dostatek vody. Fyziologické procesy v rostlinách se neobejdou bez vody. Množství vody, které rostliny naváží do svých pletiv a spotřebují na metabolické procesy je však řádově nižší, než množství, které projde z povrchu kůry, kmen a listy do atmosféry. Mikroklima v krajině dostatečně zásobované vodou je ovlivováno transpirujícími rostlinami. Díky výparu a pozdější kondenzaci dochází ke zmírnění teplotních extrémů. Recyklace vody v malých vodních cyklech, způsobených právě transpirací, zpomaluje odnos látek z povrchu. Krajina s vegetací si udržuje stále dostatek vláhy. V současné době neumíme vyrobit zařízení, které by umožnilo s takovou přesností, s takovým výkonem a s tak nízkými náklady způsobovat podmínky k flivotu ve svém okolí. Klimatizační výkon lze kvantifikovat pomocí fyziologických metod měření transpirace a evapotranspirace, efekt je pak možné demonstrovat pomocí termovizní kamery.

5. Přehled použité literatury

BORCHERT, R. Soil and Stem Water Storage Determine Phenology and Distribution of Tropical Dry Forest Trees. *Ecology*. Vol. 75, No. 94, s. 1437-1449, 1994.

BOWEN, I. S. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. *Physical Review*. Vol. 27, s. 7796787, 1926.

BREAZEALE, J. F. Maintenance of moisture-equilibrium and nutrition of plants at and below the wilting percentage.. *Arizona Agricultural Experimental Station Technical Bulletin*. Vol. 29, s. 1376177, 1930.

BROOKS, J. R. MEINZER, F. C.; COULOMBE, R.; GREGG, J. Hydraulic redistribution of soil water during summer drought in two contrasting Pacific Northwest coniferous forests. *Tree Physiology*. Vol. 22, s. 110761117, 2002.

BUCKLEY, T. N.; FARQUHAR, G. D.; MOTT, K. A. Carbon-water balance and patchy stomatal conductance. *Oecologia*. Vol. 118, s. 132 ó 143, 1999.

BURGESS, S. S. O., ADAMS M. A.; TURNER N. C.; ONG C. K. The redistribution of soil water by tree root systems. *Oecologia*. Vol. 115, No. 3, s. 3066311, 1998.

BURGESS, S. S. O.; BLEBY, T. M. Redistribution of soil water by lateral roots mediated by stem tissues.. *Journal of Experimental Botany*. Vol. 57, No. 12, s. 328363291, 2006.

CAPRA, F. *Web of life: A new synthesis of mind and matter*. Harper Collins Publishers, 1996.

COOPER, J. P. *Photosynthesis and Productivity in Different Environments*. Cambridge: Cambridge University Press, 1975.

ERMÁK, J.; KU ERA, J.; BAUERLE, W. L.; PHILLIPS, N.; HINCKLEY, T. M. Tree water storage and its diurnal dynamics related to sap flow and changes in stem volume in old-growth Douglas-fir trees. *Tree Physiology*. Vol. 27, s. 1816198, 2007.

ERMÁK, J.; KUREŠ, J.; NADEZHINA, N. Sap flow measurements with some thermodynamic methods, flow integration within trees and scaling up from sample trees to entire forest stands. *Trees*. Vol. 18, s. 529-546, 2004.

FERNÁNDEZ, E.; ERMÁK, J.; COHEN, Y.; FERREIRA, I.; NADEZHINA, N.; TESI, L. Methods to Estimate Sap Flow. *ISHS Working Group on Sap Flow*. 2011.

GEIGER, R.; ARON, R. H.; TODHUNTER, P. *The climate near the ground*. Sixth edition. Lanham (MD): Rowman and Littlefield Publishers, 2003.

GEORGI, N. J.; ZAFIRIADIS, K. The impact of park trees on microclimate in urban areas. *Urban Ecosystems*. Vol. 9, s. 195-209, 2006.

GIONO, J. *Mufl, který sázel stromy*, Literární sborník Suzanne Renaud, 2006. Originál: *L'Homme qui plantait des arbres*, Vogue, 1954.

GRYNDLER, M. *Mykorhizní symbióza: O soužití hub s kořeny rostlin*. Praha: Academia, 2004.

HALES, S. *Vegetable staticks, or, an account of some statical experiments on the sap in vegetables*. London: W. & J. Innys and T. Woodward, 1727.

HESSLEROVÁ, P.; POKORNÝ, J. *Teplota krajiny jako indikátor jejího fungování*. Geografické rozhledy. Článek přijatý do tisku, srpen 2011.

HUTJES, R. W. A.; KABAT, P.; RUNNING, S. W. Biospheric Aspects of the Hydrological Cycle. *Journal of Hydrology*. Vol. 212-213, s. 1-21, 1998.

KOPP, G.; LAWRENCE, G.; ROTTMAN, G. The total irradiance monitor (TIM): science results. *Solar Physics*, Vol. 230, No. 1, s. 19-40, 2005.

KRAMER, P. J. Absorption of water through suberized roots of trees. *Plant Physiology*. Vol. 21, No. 1, s. 37-41, 1946.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. *Water relations of plants and soils*. San Diego: Academic Press, Inc., 1995.

KRAVÍK, M.; POKORNÝ, J.; KOHUTIAR, J.; KOVÁČ, M.; TÓTH, E. *Water for the Recovery of the Climate: A New Water Paradigm*. Ko-ice: Typopress-publishing house s.r.o., 2008.

LAW, B. E. et al. Environmental controls over carbon dioxide and water vapor exchange of terrestrial vegetation. *Agricultural and Forest Meteorology*. Vol. 113, s. 97-120, 2002.

MARKOTMA.; HAJNAL, L. *Staré pověsti pozemské: Malá historie planety a flóry*. červený Kostelec: Pavel Mervart, 2007.

MASEDA, P. H.; FERNÁNDEZ, R. J. Stay wet or else: three ways in which plants can adjust hydraulically to their environment. *Journal of Experimental Botany*. Vol. 57, No. 15, s. 3963-3977, 2006.

NADEZHDINA, N.; ERMÁK, J.; GASPÁREK, J.; NADEZHDIN, V.; PRAX, A. Vertical and horizontal water redistribution within Norway spruce (*Picea abies*) roots in the Moravian Upland. *Tree Physiology*. Vol. 26, s. 1277-1288, 2006.

NASA, Meteorology and Solar Energy. WWW: <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/> 2011.

PERKINS, S. Paved paradise? Impervious surfaces affect a region's hydrology, ecosystems - even its climate. *Science News*. Vol. 166, No. 5, s. 152, 2004.

PHILLIPS, N. G.; RYAN, M. G.; BOND, B. J.; McDOWELL, N. G.; HINCKLEY, T. M.; ERMÁK, J. Reliance on stored water increases with tree size in three species in the Pacific Northwest. *Tree Physiology*. Vol. 23, No. 4, s. 237-245, 2003.

PIELKE, R. A. Influence of the spatial distribution of vegetation and soils on the prediction of cumulus convective rainfall. *Reviews of Geophysics*. Vol. 39, No. 2, s. 151-177, 2001.

POKORNÝ, J.; BROM, J.; ERMÁK, J.; HESSLEROVÁ, P.; HURYNA, H.;
NADEZHDINA, N.; REJŤKOVÁ, A. Solar energy dissipation and temperature control by
water and plants. *International Journal of Water*. Vol. 5, No. 4, s. 311-336, 2010a.

POKORNÝ, J.; KVĚT, J.; REJŤKOVÁ, A.; BROM, J. Wetlands as energy-dissipating
systems. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. Vol. 37, No. 12, s. 12996
1305, 2010b.

POKORNÝ, J.; REJŤKOVÁ, A.; BROM, J. Úloha makrofyt v energetické bilanci mokřadů.
Zprávy české botanické společnosti 42. Materiály 22: 47-60, 2007.

RAWLS, W. J.; BRAKENSIEK, D. L.; SAXTON, K. E. Estimation of soil water
properties. *American Society of Agricultural Engineers*. Vol. 25, No. 5, s. 1316 -1328, 1982.

RICHTER, R. *Multimediální učební text z výživy rostlin*. Příjem živin kořeny. WWW:
http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/prijem_zivin/prijemkoreny.htm
2004.

RIPL, W. J. Water: the bloodstream of the biosphere. *Philosophical transactions of The
Royal society B*. Vol. 358, s. 1921-1934, 2003.

RIPL, W. J.; EISELTOVÁ, M. Sustainable land management by restoration of short water
cycles and prevention of irreversible matter losses from topsoils. *Plant, Soil and Environment*.
Vol. 55, No. 9, s. 404-410, 2009.

ROSENBERG, N. J. *Microclimate: the biological environment*. New York: Wiley, 1974.

SCHNEIDER, E. D.; SAGAN, D. *Into the cool: Energy flow, Thermodynamics and Life*.
Chicago: The University of Chicago Press, 2005.

SCHRÖDINGER, E. *What is life?* Cambridge: Cambridge University Press, 1944.

SCHULZE, E. -D., et al. Stomatal responses to changes in humidity in plants growing in the
desert. *Planta*. Vol. 108, No. 3, s. 259-270, 1972.

TAHA, H. Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and buildings*. Vol. 25, s. 99-103, 1997.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Plant Physiology*. Third Edition. Sunderland (Mass.): Sinauer Associates, Inc., 2002.

TRIBUTSCH, H.; ERMÁK, J.; NADEZHINA, N. Kinetic studies on the tensile state of water in trees. *Journal of Physical Chemistry B*. Vol. 109, s. 17693-17707, 2005.

WALLANDER, H.; NILSSON, N. O.; HAGERBERG, D.; BAATH, E. Estimation of the biomass and seasonal growth of external mycelium of ectomycorrhizal fungi in the field. *New Phytologist*. Vol. 150, Issue 3, s. 7536760, 2001.

WEATHERLEY, P. E. Chapter 18: Water relations of the root system . In TORREY, J. G.; CLARKSON, D.T. *The Development and Function of Roots*. London-New York: Academic Press, 1975.