

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA  
V NITRE  
FAKULTA AGROBIOLÓGIE A POTRAVINOVÝCH  
ZDROJOV**

1132262

**ZMENY FYZIOLOGICKÝCH A PRODUKČNÝCH  
VLASTNOSTÍ RASTLÍN V PODMIENKACH ZVÝŠENEJ  
KONCENTRÁCIE CO<sub>2</sub>**

2011

Erika Sarvašová

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA  
V NITRE**

**FAKULTA AGROBIOLÓGIE A POTRAVINOVÝCH  
ZDROJOV**

**ZMENY FYZIOLOGICKÝCH A PRODUKČNÝCH  
VLASTNOSTÍ RASTLÍN V PODMIENKACH ZVÝŠENEJ  
KONCENTRÁCIE CO<sub>2</sub>  
(BAKALÁRSKA PRÁCA)**

Študijný program: Manažment rastlinnej výroby

Študijný odbor: 4173700 Rastlinná produkcia

Školiace pracovisko: Katedra fyziológie rastlín

Školiteľ: prof. Ing. Marián Brestič, CSc.

Nitra 2011

Erika Sarvašová

## **ČESTNÉ VYHLÁSENIE**

Podpísaná Erika Sarvašová vyhlasujem, že som záverečnú prácu na tému „Zmeny fyziologických a produkčných vlastností rastlín v podmienkach zvýšenej koncentrácie CO<sub>2</sub>“, vypracovala samostatne s použitím uvedenej literatúry.

Som si vedomá zákonných dôsledkov v prípade, ak uvedené údaje nie sú pravdivé.

V Nitre 05. 05. 2011

.....  
podpis

## **POĎAKOVANIE**

Dovoľujem si poďakovať vedúcemu bakalárskej práce prof. Ing. Mariánovi Brestičovi, CSc za odborné vedenie a cenné rady, ktoré mi poskytol pri spracovaní mojej bakalárskej práce.

## ABSTRAKT

V mojej bakalárskej práci som sa zamerala na problematiku produkčných a fyziologických zmien rastlín v podmienkach zvýšenej koncentrácie CO<sub>2</sub>. Na tieto zmeny vplýva najmä klimatická zmena a s ňou súvisiace termíny ako sú skleníkový efekt, globálne otepľovanie a klimatický systém. Klíma ovplyvňuje celú škálu procesov a dejov v lesných ekosystémoch. Vo vývoji lesných spoločenstiev celý rad zmien vyvolávajú očakávané zmeny klímy. Najčastejšie uvádzanými faktormi globálnych zmien, ktoré pôsobia na lesné spoločenstvá sú zmeny frekvencie a intenzity extrémnych javov, zvyšovanie UV-B žiarenia, zvyšovanie priemernej teploty a zvyšovanie koncentrácie CO<sub>2</sub>.

Globálne otepľovanie sa javí ako najväznejšia hrozba pre životné prostredie, ktorému kedy svet musel čeliť. S globálnym otepľovaním sa šíria škody spôsobené kyslým dažďom a znečistenie ovzdušia postihlo všetky metropolitné oblasti sveta a v niektorých priemyselných oblastiach dosiahlo katastrofické rozmery. Hlavnou príčinou všetkých týchto problémov je spaľovanie uhlia, ropy a zemného plynu, preto sa rok od roku zvyšuje medzinárodný tlak na zníženie spotreby fosílnych palív.

Skleníkový efekt je asi 50% podmienený CO<sub>2</sub>, podieľajú sa na ňom však aj ďalšie tzv. skleníkové plyny, akými sú metán (CH<sub>4</sub>, vznikajúci rozkladom organických látok anaerobnými baktériami, podieľa sa na skleníkovom efekte asi 18%), oxidy dusíka (okolo 6%), freóny (okolo 14%) a niektoré ďalšie plyny. Predpokladá sa, že oteplenie biosféry o 1,5 – 4,5 °C môže mať za následok veľké klimatické zmeny. Dôjde k aridizácii (vysušeniu) veľkých oblastí, môžu sa narušiť aj morské prúdy a extrémne výkyvy teplôt budú mať za následok prudké búrky a ďalšie katastrofy.

**Kľúčové slová:** klimatická zmena, skleníkový efekt, globálne otepľovanie, CO<sub>2</sub>-oxid uhličitý, CH<sub>4</sub> – metán, oxidy dusíka, freóny

## **ABSTRACT**

In my Bachelor Thesis, I focused on the problem of production and physiological plant changes in increased CO<sub>2</sub> concentration conditions. These changes are mostly affected by a climatic changes and relative terms, such as greenhouse effect, global warming and climatic system. The climate affects a wide range of processes and actions in forest ecosystems. In forest community development, a whole line of changes evoke expected climatic changes. The most frequently stated factors of global changes influencing forest communities are changes of extreme phenomena frequency and intensity, increase of UV-B radiation, increase of average temperatures and CO<sub>2</sub> concentrations.

Global warming seems as the most serious danger for enviroment, the world has to face. With global warming, damages caused by acid rain are spread and air pollution affected all metropolitan world areas and reached catastrophic sizes in several industrial areas. The main reason for all these problems is coal, crude oil and natural gas combustion, therefore the international pressure to decrease the fossil fuel consumption is getting stronges each year.

The greenhouse effect is caused by CO<sub>2</sub> 50% of the cases; however, it is also caused by other so-called greenhouse gasses, such as methane (CH<sub>4</sub>, formed by organic substance decomposition caused by anaerobic bacteria, participates in greenhouse effect in around 18%), nitrogen oxides (around 6%), freons (around 14%) and some other gasses. It is assumed that rise of temperature of biosphere of 1,5 to 4,5°C may result in great climate changes. The result may be aridization (drying) of large areas, ocean currents may be disturbed and extreme changes in temperatures may result in severe storms and other catastrophes.

**Key words:** climatic change, greenhouse effect, global warming, CO<sub>2</sub>- carbone dioxide, CH<sub>4</sub>- methane, nitrogen oxides, freons

# Obsah

Úvod .....	9
<b>1. Cieľ práce.....</b>	<b>10</b>
<b>2. Metodika práce.....</b>	<b>11</b>
<b>3. Súčasný stav riešenej problematiky.....</b>	<b>12</b>
3. 1. Klimatické zmeny.....	12
3. 1. 1 Zmeny klímy.....	12
3. 1. 2 Premennivosť klímy.....	13
3. 1. 3 Kolísanie klímy.....	13
3. 2. Rozdelenie klím.....	13-14
3. 3. Možné dôsledky zmeny klímy na lesné ekosystémy.....	14-15
3. 4. Doterajšie poznatky o vplyve klimatických zmien na lesy Slovenska.....	16
3. 4. 1. Holdridge model.....	16
3. 4. 2. Forest Gap model.....	17
3. 5. Predpokladané klimatické zmeny Slovenska.....	18-19
<b>4. Globálne aspekty klimatickej zmeny.....</b>	<b>19</b>
4. 1. Globálne otepľovanie.....	19
4. 2. Príčiny globálneho otepľovania.....	20
4. 3. Globálne ekologické problémy.....	21
4. 4. Sucho a globálna rastlinná produkcia.....	22
4. 5. Skleníkový efekt.....	23
4. 6. Skleníkové plyny.....	23-25
4. 6. 1. Metán (CH <sub>4</sub> ).....	24
4. 6. 2. Oxid dusný (N <sub>2</sub> O).....	24
4. 6. 3. Oxid uhličitý (CO <sub>2</sub> ).....	24
4. 6. 4. Chlorofluorované uhľovodíky (CFC).....	24
4. 6. 5. Ozón (O <sub>3</sub> ).....	25

<b>5. Účinok zvýšenej koncentrácie CO<sub>2</sub> na rastliny.....</b>	<b>26</b>
5. 1. Zmeny fotosyntézy.....	26
5. 1. 1. Zmeny rýchlosti fotosyntézy pri zvýšení koncentrácie CO <sub>2</sub> .....	26
5. 1. 2. Zníženie intenzity transpirácie.....	26
5. 1. 3. Zvýšenie intenzity fotosyntézy zvýšením koncentrácie CO <sub>2</sub> v koreňovej oblasti pôdy.....	27
5. 1. 4. Interakčný efekt teploty a vysokej koncentrácie CO <sub>2</sub> na fotosyntézu.....	27
5. 1. 5. Interakčný efekt teploty na rastové procesy a dĺžku vegetačného obdobia.....	27
5. 2. Molekulárne aspekty fyziologických procesov.....	28
5. 3. Primárne procesy produkcie biomasy.....	28
5. 3. 1. Fotosyntéza.....	28-34
5. 3. 2. Fotorespirácia.....	34
5. 3. 3. Respirácia.....	35
5. 3. 4. Prieduchová regulácia.....	35-36
5. 4. Dôsledky pôsobenia vysokej koncentrácie CO <sub>2</sub> na integritu fyziologických procesov.....	36
5. 4. 1. Koncentrácia produktov fotosyntézy.....	36-37
5. 4. 2. Vodný stav rastlín.....	37
5. 5. Rastovo – produkčné vlastnosti rastlín.....	38
<b>6. Interakcie s ostatnými environmentálnymi stresmi.....</b>	<b>38</b>
6. 1 Vodný stres.....	38-39
6. 2 Teplotný stres.....	39-40
6. 3 Radiačný stres.....	40
<b>7. Záver.....</b>	<b>41</b>
<b>8. Použitá literatúra.....</b>	<b>42-46</b>



## Úvod

Otázka zmeny klímy sa stala za posledné roky vedeckým, politickým a v neposlednom rade i ekonomickým problémom. Všetci si kladieme naliehavé otázky. Pôsobí ľudská činnosť na zmeny podnebia? Je globálne otepľovanie skutočné? Môžeme zmeny spomaliť alebo im dokonca zabrániť? Ľudia si často spájajú tri významné problémy týkajúce sa znečisteného životného prostredia. Globálne otepľovanie, úbytok ozónu a kyslé dažde, avšak v podstate ide o tri odlišné formy, ktorých spoločnou vlastnosťou je pôsobenie v celosvetovom merítku. Vedecké časopisy sú preplnené úvahami na túto tému. Cez tristo vedcov z viac ako dvadsiatich krajín vyjadrilo presvedčenie, že „emisie produkované ľudskou činnosťou významne zvyšujú koncentráciu plynov spôsobujúcich skleníkový efekt v atmosfére a že takto zosilnený efekt bude mať za následok zvýšené ohrievanie zemského povrchu“.

V priebehu budúcich tridsiatich rokoch dôjde k priemernému vzrastu teploty o plný jeden °C. Nezdá sa to byť veľa. Musíme si však uvedomiť, že ide o celosvetový priemer a že podľa dostupných údajov teplotný priemer nikdy v minulosti tak rýchlo nestúpil. Súčasná produkcia skleníkových plynov je spôsobená technológiami, ktorými ľudia produkujú a spotrebúvajú energiu, používaním určitých druhov priemyselne vyrábaných chemikálií, intenzívnou poľnohospodárskou výrobou a ničením tropických pralesov.

**Špánik (1995)** radí nasledovné zmeny a dopady:

1. Zmeny teplotnej zabezpečenia rastlinnej výroby
2. Zmeny fenologických pomerov
3. Zmeny agroklimatického produkčného potenciálu
4. Zmeny vlhrovej zabezpečenia
5. Zmeny podmienok prezimovania
6. Zmeny fyzikálnych a chemických vlastností pôdy
7. Zmeny vo výskyte chorôb, škodcov a burín
8. Zmeny koncentrácie CO<sub>2</sub> na produkčný proces

## 1. Cieľ práce

Cieľom predloženej bakalárskej práce je urobiť analýzu dostupných domácich a zahraničných literárnych zdrojov a spracovať relevantné poznatky o krátkodobých a dlhodobých efektoch zvýšenej koncentrácie CO<sub>2</sub> na rastliny. Keďže ich účinok sa prejavuje primárne vo fyziologických a biochemických procesoch, dôraz bol kladený na primárne procesy tvorby biomasy a tie procesy, ktoré rozhodujú o efektívnosti využitia žiarenia, vody a minerálnych živín v rastovo – produkčnom procese. Ďalšie ciele boli zamerané na poznanie potenciálneho interakčného efektu zvýšenej koncentrácie CO<sub>2</sub> s hlavnými environmentálnymi faktormi, ktoré môžu limitovať rastovo – produkčné procesy.

## 2. Metodika práce

Metodický postup rešpektuje stanovené ciele. Práca bola spracovaná formou literárnej rešerše, ako východisko pre budúce experimentovanie a spracovanie diplomovej práce. Štruktúra práce bola vytvorená po dôkladnom štúdiu dostupnej literatúry, aby boli zaznamenané ustálené poznatky a predovšetkým informácie o hlavných fyziologických procesoch ako je fotosyntéza, vodné pomery, rast, vývin a pod. od molekulárnej úrovne po celistvé rastliny. Štúdium dopadov krátkodobého a dlhodobého účinku zvýšenej koncentrácie CO<sub>2</sub> bolo zamerané vo vzťahu ku klimatickej zmene a jej sprievodným fenoménom ako je globálne otepľovanie, aridizácia a environmentálne extrémny.

Vzhľadom k použitej metóde literárnej rešerše, boli využité zovšeobecnené konkrétne poznatky vo forme obrázkov, tabuliek a pod. prebraté z citovaných literárnych zdrojov.

## **3. Súčasný stav riešenej problematiky**

### **3.1 Klimatické zmeny**

Nielen v médiách ale aj na odborných podujatiach sa v súčasnosti príliš často hovorí o klimatických zmenách a globálnom otepľovaní. Otázky, ktoré súvisia s klimatickými zmenami sa do centra pozornosti dostávajú najmä v obdobiach, s výskytom rôznych anomálií počasia v porovnaní s dlhodobými priemerami. Priestorovú závislosť môže mať aj premenlivosť klimatických prvkov, vtedy však nehovoríme o zmenách a premenlivosti klímy. Zmeny a premenlivosť klímy môžeme definovať takto.

- zmeny klímy
- premenlivosť klímy
- kolísanie klímy

#### **3.1.1 Zmeny klímy**

Pod pojmom zmeny klímy rozumieme iba zmeny v klimatických pomeroch, ktoré súvisia s antropogénne podmieneným rastom skleníkového efektu atmosféry od začiatku priemyselnej revolúcie. Koncentrácia skleníkových plynov v atmosfére sa do roku 1750 menila iba nepatrne, odvtedy sa zrýchľuje prírastok všetkých skleníkových plynov v atmosfére okrem vodnej pary. Úplne novými skleníkovými plynmi sú freóny a halóny (iba po roku 1930), v roku 2002 bola koncentrácia CO<sub>2</sub> 33,5% a metánu o 159% vyššia ako pred rokom 1750 (pri CO<sub>2</sub> až o 20% vyššia ako v roku 1950).

### **3. 1. 2 Premenlivosť klímy**

Klimatické pomery charakterizujeme trendovými, stredovými, rozptylovými a cyklickými charakteristikami. Premenlivosť klímy reprezentujú rozptylové charakteristiky. Môžeme ju charakterizovať aj pre dlhšie časové obdobia ako jeden rok, tiež pri použití rôzne dlhých časových období pre hodnoty vstupných údajov spracovania (10 minút, hodina, deň, dekáda, sezóna, rok, 5 rokov, 10 rokov, 30 rokov a iné). Za určitú zvláštnosť považujeme náhle veľké zmeny klímy.

### **3. 1. 3 Kolísanie klímy**

Kolísanie klímy je dané solárnou klímou (ročný chod, 11 ročný cyklus ...), iné cykly súvisia s cykličnosťou niektorých klimatotvorných procesov (napr. 2 – ročný cyklus QBO vyjadrený aj zmenami prúdenia v stratosfére), okrem ročného chodu sú všetky vyjadrené veľmi slabo. Cyklus ľadových dôb má na severnej pologuli periódu okolo 100 000 až 120 000 rokov. Za nízkofrekvenčné cykly sa považuje kolísanie s periódou dlhšou ako 11 rokov. Všetky dlhšie cykly sa iba obtiažne dajú identifikovať v súboroch pozorovaných alebo meraných údajov. Trend je niekedy iba časťou nejakého cyklu (**LAPIN et al, 2001**).

## **3. 2 Rozdelenie klímy**

Počasia charakteristické pre určité územie vytvára klímu – podnebie. Bioklíma je krajinný typ počasia podmieňujúci utváranie fauny, flóry, pôsobiace na životné procesy živých organizmov vrátane človeka. Klímu možno rozdeliť do nasledujúcich skupín:

#### **1) podľa zemepisnej šírky je to klíma**

- mierna,
- tropická,
- subtropická,
- arktická,
- subarktická.

**2) Podľa vertikálneho a horizontálneho pomeru povrchu ku hladine sa klíma rozoznáva**

- prímorská
- vnútrozemská nížinná ( do 400 m n. m.),
- podhorská ( 400 – 800 m n. m.),
- horská ( 800 – 1200 m n. m.),
- veľkohorská ( nad 2500 m n. m.).

**3) Podľa rozlohy sa klasifikuje na**

- oblastnú ( tisícky km),
- územnú ( stovky km),
- krajinnú ( 20 km),
- lokálnu ( stovky metrov) (**DRÍMAL et al, 2006**).

### **3. 3 Možné dôsledky zmeny klímy na lesné ekosystémy**

Klíma ovplyvňuje celú škálu procesov a dejov v lesných ekosystémoch. Vo vývoji lesných spoločenstiev celý rad zmien vyvolávajú očakávané zmeny klímy. Najčastejšie uvádzanými faktormi globálnych zmien, ktoré pôsobia na lesné spoločenstvá sú.

**(LANDSBERG et al, 1993).**

- zmeny frekvencie a intenzity extrémnych javov (extrémne teplo alebo chladné periódy, sucho a i.),
- zvyšovanie UV-B žiarenia,
- zvyšovanie priemernej teploty,
- zmeny v množstve a distribúcií zrážok s nasledujúcimi sa zmenami vodnej bilancie,
- zvyšovanie koncentrácie CO<sub>2</sub> .

**(LANDSBERG et al, 1993)** formulovali základné okruhy potenciálnych dôsledkov globálnych zmien na lesy nasledovne.

Zvýšené množstvo CO<sub>2</sub> ovplyvní rastové procesy hlavne cez efekty na alokáciu uhlíka, zvýši produkciu koreňov a zrýchli kolobeh,

Klimatické zmeny ako sú ( CO<sub>2</sub>, teplota, zrážky), ovplyvnia celkový rastový proces lesa a môžu zmeniť dĺžku rubnej doby v produkčných lesoch,

Efekt hnojenia CO<sub>2</sub> bude degenerovaný na stanovištiach s deficitom vody,

Efekty zvýšeného CO<sub>2</sub> budú potlačené spätnými väzbami na ekosystémovej úrovni spojenými s kolobehom živín,

zvýšená intenzita a frekvencia prírodných extrémnych javov, ako vietor, požiare, premnoženie škodcov, môžu kriticky ovplyvniť štruktúru lesov prostredníctvom vplyvov na mortalitu stromov a regeneračné procesy.

zvýšenie teploty môže spôsobiť zvýšenie rastu lesa a jeho rozvoj prostredníctvom zvýšenej mineralizácie pôdnej organickej hmoty a rozšírením rastovej sezóny v oblastiach s chladnejšou klímou.

V prípade lesných ekosystémov mierneho pásma Európy sucha a vysoká teplota v roku 2003 znížili hrubú primárnu produkciu biomasy o 30% v porovnaní s predchádzajúcimi rokmi, čo viedlo k silnej anomálii v produkcii CO<sub>2</sub> v atmosfére (0,5 Pg uhlíka za rok), prejavujúcej sa znížením sekvestrácie uhlíka do biomasy. Podobný pokles nebol v priebehu 20. storočia zaznamenaný. Dá sa očakávať, že pokračovanie sucha v tomto storočí spôsobí, že ekosystémy mierneho pásma budú viac zdrojom CO<sub>2</sub> ako jeho sinkom, čím viac prispejú k pozitívnej spätnej väzbe uhlíkom a faktormi klimatickej zmeny. Tento jav sa dnes pozoruje už aj v trópoch **(CIAIS et al, 2005)**.

### 3. 4 Doterajšie poznatky o vplyve klimatických zmien na lesy Slovenska

Na analýzu možných dôsledkov klimatických zmien na lesy Slovenska boli použité 2 rôzne modelové postupy, ktorých cieľom bola vzájomná komparácia a objektivizácia výsledkov. Išlo o *Holdridge model* (statický model vegetačných spoločenstiev) a *Forest Gap model*

(dynamický stochastický model vývoja lesných spoločenstiev). Použitie týchto modelov umožnilo získať komplexný obraz o dôsledkoch klimatických zmien na lesné spoločenstvá v zmysle odporúčaného metodického postupu (MINĎÁŠ et al, 2000).

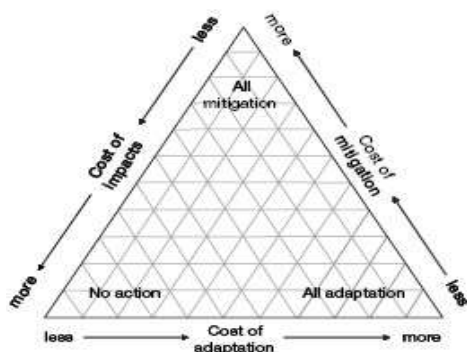
#### 3. 4. 1 Holdridge model

Modelový scenár predpokladá výraznú zmenu bioklimatických podmienok pre súčasné lesné spoločenstvá v rozsahu 25 - 35 % z celkovej plochy lesov podľa jednotlivých regionálnych scenárov zmien klímy (MINĎÁŠ et al, 1996a). Na základe analýzy poľa Holdridge modelu (obr. 1) sú vegetačné spoločenstvá definované hraničnými hodnotami biotploty, zrážok a evapotranspirácie. Pri riešení impaktu klimatickej zmeny na bioklimatické podmienky lesných spoločenstiev podľa (MINĎÁŠA et al, 1996b) treba poukázať na tieto zistenia.

- najmenej bude postihnutá oblasť stredohorských lesov,
- predpokladá sa zánik bioklimatických podmienok alpskeho stupňa a nástup nových suchomilných spoločenstiev v nížinných oblastiach,
- najvýraznejšie zmeny bioklimatických podmienok pri uplatnení scenárov klimatickej zmeny možno očakávať v nížinných a horských oblastiach.

**Obr. 1** Klasifikačné schéma Holdridge modelu, založená vo vzťahu život - zóna.

([http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg2/en/ch18s18-1-1.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/ch18s18-1-1.html))

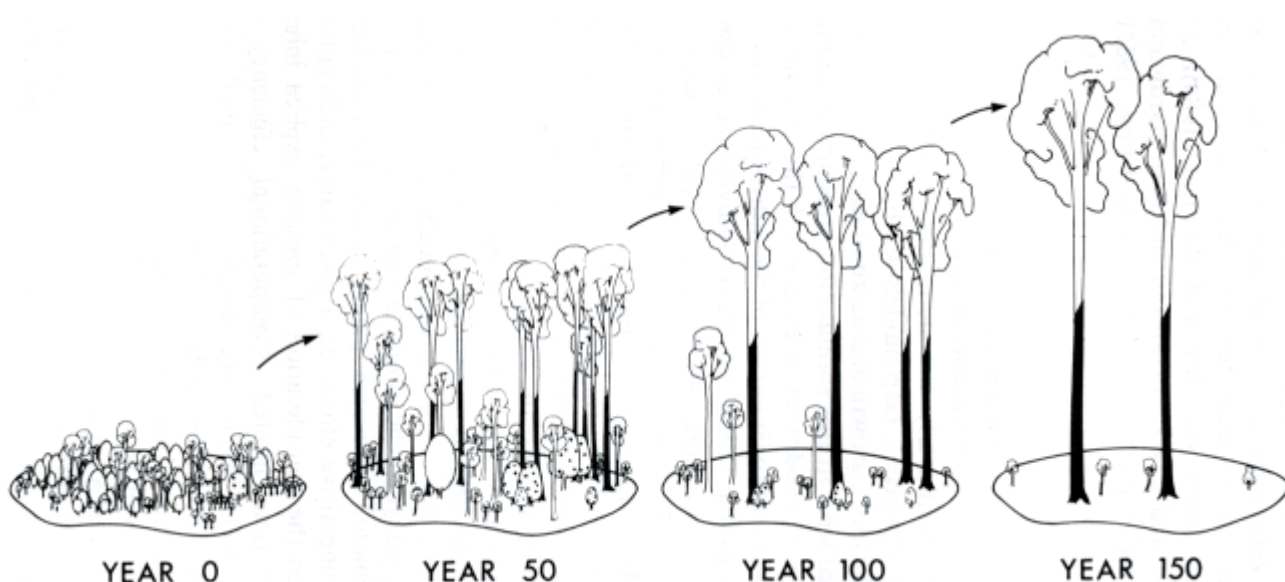




### 3. 4. 2 Forest Gap model

Forest Gap modely (**obr. 2**) patria do skupiny dynamických modelov, ktoré sú schopné kalkulácií rôznych lesných drevín v časových sériách. Sú založené na simulácií prirodzeného zmladenia rastu každého stromu na skúmanej ploche. Odozva jednotlivého stromu je definovaná environmentálnymi funkciami odozvy vyjadrených podielom ovplyvnenia optimálneho rastu v relatívnom rozsahu 0 – 100%. Tieto funkcie odozvy možno definovať použitím rôznych metód. Výber týchto funkcií je v súčasnosti už pomerne široký, ale ich konštrukcia je často limitovaná pôdnym typom, klimatickými podmienkami, a preto nie je možná ich univerzálna použiteľnosť (**SHUGART, 1984**).

**Obr. 2** Príklad výstupu z modelu medzery (postupnosť v lesoch Eucalyptus v Brindabella Range, Austrálskeho kapitálového územia. Pozemky sú vypracované v mierke (vzdialenosť cez každý pozemok je 32m). Simulácia časového kroku modelu je jeden rok, ale na výstupe za zobrazuje v 50 ročných intervaloch. Stromy sú rôzneho druhu Eucalyptus najmä E. delegantensis (stromy s bielymi a čiernymi kmeňmi) a E. dalrympleana (stromy s bielymi kmeňmi) (**SHUGART et al, 1981**).



### **3. 5 Predpokladané klimatické zmeny Slovenska**

Vplyvom najrôznejších antropogénnych činností dochádza k stálej produkcii plyných i tekutých látok, ktoré sa z časti dostávajú ako prímеси do vyšších vrstiev atmosféry. Tu zvyšujú koncentráciu tzv. „skleníkových plynov“ (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, freóny, metán a i.), ktoré spôsobujú zmeny skleníkového efektu atmosféry, energetickej rovnováhy Zeme, zmeny vodného režimu a ďalšie. Tieto zmeny môžu mať pozitívne, ale aj negatívne vplyvy na rôzne oblasti ľudských činností a zvlášť na poľnohospodárstvo. Predpokladané klimatické zmeny zahŕňajú.

#### **1. Zmeny teplotného režimu**

Podľa klimatických staníc Hurbanovo a Košice sa priemerné ročné teploty vzduchu v našom storočí zvýšili o 0,8 až 1,0°C. Pre ďalšie zvyšovanie teploty, sú kolektívami odborníkov rôznych svetových i domácich inštitúcií zostavené tzv. „scenáre klimatických zmien“. Napríklad podľa scenára dT2 simulujúceho podľa (LAPINA et al, 1995) hornú hranicu teplotných zmien na území Slovenska predpokladá k roku 2010 zvýšenie priemerne ročnej teploty o 1,3°C, k roku 2030 o 2,2°C a k roku 2075 o 4,2°C. Výraznejšie zvýšenie teploty pripadá na zimný polrok.

#### **2. Zmeny vodného režimu**

Dôsledkom vyšších teplôt sa v poslednom storočí v stredných zemepisných šírkach evidoval pokles zrážkových úhrnov. Ročné úhrny napr. v Hurbanove sú v porovnaní zo zrážkovými úhrnmi rokov začiatku nášho storočia v priemere o 90 mm nižšie. V južných častiach Slovenska sa k časovému horizontu 2075 predpokladá pokles ročných úhrnov zrážok o 2% (LAPIN et al, 1995).

### 3. Zmeny obsahu CO<sub>2</sub>

Obsah CO<sub>2</sub> sa v atmosfére za posledné 2 desaťročia zvýšil asi o 25% v dôsledku spaľovania fosilných palív, ale tiež vyrubovania lesov. V súčasnosti sa koncentrácia CO<sub>2</sub> zvyšuje každý rok asi o 0,5%, takže zdvojnásobenie obsahu CO<sub>2</sub> sa predpokladá okolo roku 2075. Pre produkciu novej organickej hmoty (úrody) je najvýznamnejšou fotosyntéza a fotodýchanie – čiže čistá fotosyntéza a stomatárna vodivosť. Stomatárna vodivosť povrchu listov je daná optimálnou bilanciou medzi prívodom CO<sub>2</sub> a transpiráciou. Zdvojnásobenie koncentrácie CO<sub>2</sub> (základ 330 ppm) má za následok zmenšenie transpirácie podľa Kimballa a Ilsa (**ŠIŠKA, 1996**) asi o 34%. Tým rastie efektívne využívanie vody pri fotosyntetickej fixácii uhlíka. Tento efekt by mohol byť priaznivý pre rastliny v suchých oblastiach. Zdvojnásobenie koncentrácie CO<sub>2</sub> (z 330 na 660 ppm), môže zvýšiť úrodu rastlín skupiny C<sub>4</sub> (podľa charakteru fotosyntézy: kukurica, cukrová trstina, láskavec) o 0 – 10% a rastlín skupiny C<sub>3</sub> (sója, pšenica, ryža) o 10 – 50%. Rast CO<sub>2</sub> bude tiež simulovať rast burín. Experimentálne bolo dokázané, že na dvojnásobné zvýšenie koncentrácie CO<sub>2</sub> rastliny reagujú zvýšením rýchlosti fotosyntézy v rozpätí 30 - 50 % (**WOODWARD et al, 1991**), pričom stimulačný efekt nie je viazaný len na prostredie radiačne nasýtené (**LONG et al, 1991**).

## 4. Globálne aspekty klimatickej zmeny

### 4. 1 Globálne otepľovanie

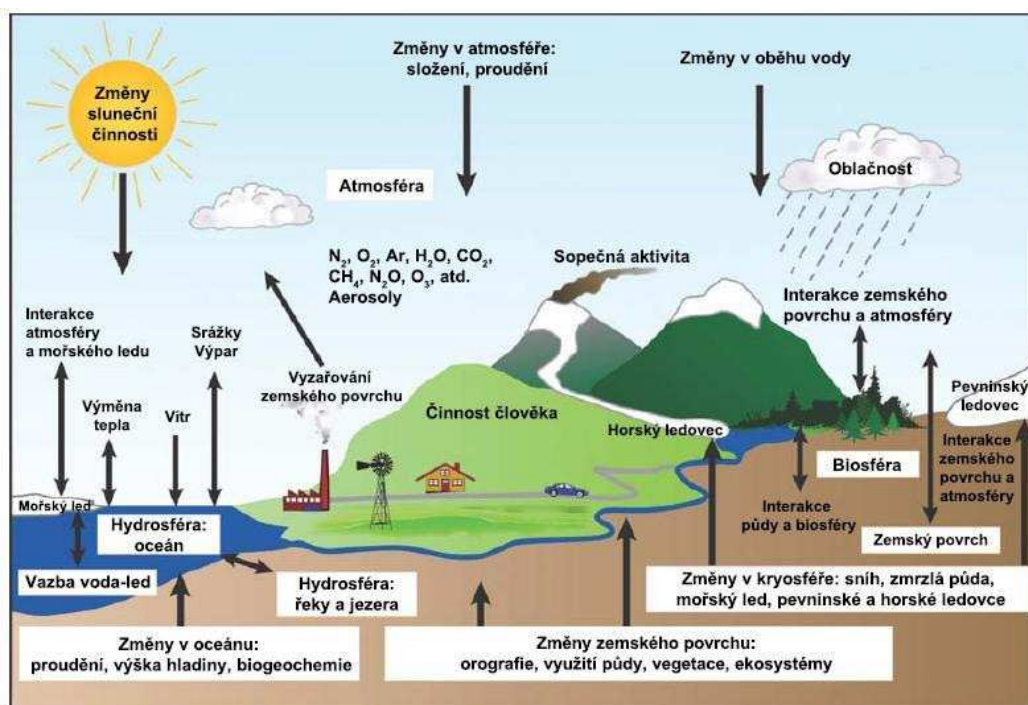
Výraz „ Globálne otepľovanie“ sa stal všeobecne známym v poslednej dobe, kedy sa problémy životného prostredia dostali do novinových titulkov. Bolo o ňom vyslovených veľa názorov od dobrých až po tie horšie (**HOUGHTON, 1998**).

Celosvetové otepľovanie sa podľa (**KEEPINA, 1992**) javí, ako najväznejšia hrozba pre životné prostredie, ktorému kedy svet musel čeliť. S globálnym otepľovaním sa šíria škody spôsobené kyslým dažďom.

## 4. 2 Príčiny globálneho otepľovania

Vedci prišli k názoru, že jednou z príčin globálneho otepľovania je zvyšovanie obsahu skleníkových plynov v atmosfére (**obr. 3**). Za produkciu týchto plynov sú v hlavnej miere zodpovedné procesy spaľovania fosílnych palív. Druhým najdôležitejším zdrojom skleníkových plynov je rozsiahle odlesňovanie a to najmä v oblasti trópov. Koncentrácia CO<sub>2</sub> v atmosfére sa zvýšila o 31% v porovnaní s obdobím pred priemyselnou revolúciou. Obsah metánu v atmosfére sa za to isté obdobie zvýšil o 151%. So zvyšovaním týchto plynov v atmosfére dochádza k zachytávaniu a následnom unikaniu tepla voľne do priestoru, výsledkom čoho sú klimatické zmeny prejavujúce sa v podobe zrážok, či dlhotrvajúcich období sucha. Globálne otepľovanie zvyšuje množstvo dlhovlnového žiarenia zadržaného v nižších vrstvách atmosféry a narušuje tak jej schopnosť udržiavať teploty na Zemi v relatívne konštantnom rozsahu, ktorá je nevyhnutná pre stabilitu existujúceho klimatického systému planéty (**GORE, 2000**).

**Obr. 3** Schéma základných častí klimatického systému Zeme (**ŠUTA, 2009**).



## **4. 3 Globálne ekologické problémy**

Za najväznejšie ekologické problémy v súčasnosti sa považujú.

### **1. Základné zmeny v biosfére**

- znižovanie množstva ozónu v stratosfére,
- narušenie klímy skleníkovým efektom,
- narúšanie globálnych geochemických cyklov znečisťovaním atmosféry a hydrosféry a ďalším rozširovaním rôznych látok, najmä toxických,
- ohrozovanie biómov, najmä tropických dažďových pralesov a oceánov, ktoré významne ovplyvňujú svetovú klímu.

### **2. ohrozovanie rozmanitosti života na Zemi**

- rýchle vymieranie mnohých druhov organizmov najmä v dôsledku zmeny podmienok v ich prostredí,
- ničenie prírodných ekosystémov vysúšaním, stavebnou činnosťou, ťažbou dreva atď.,
- zmenami genetického základu organizmov napr. šľachtením, mutáciami atď.

### **3. nedostatok prírodných zdrojov**

- nedostatok a ohrozovanie zdrojov pitnej vody,
- nadmerné vyčerpávanie živej prírody - obnoviteľných prírodných zdrojov lovom, rybolovom atď.,
- znižovanie rozlohy a úrodnosti obrábateľnej pôdy.

### **4. priame ohrozovanie zdravia ľudí**

- zdravotne nevyhovujúca voda využívaná ako pitná voda, najmä v rozvojových krajinách,
- ekologické katastrofy prírodného a antropogénneho (človekom vyvolaného) pôvodu.

**(KVASNIČKOVÁ et al, 2002).**

#### 4. 4 Sucho a globálna rastlinná produkcia

Klimatická zmena a produktivita rastlín sú navzájom prepojené procesy, ktoré sa uskutočňujú v globálnom i regionálnom meradle. V súčasnosti okolo 38% plochy zemského povrchu s približne 70% svetovej populácie, ktorá prispieva 70% k celosvetovej poľnohospodárskej produkcii je viac či menej ovplyvňovaná suchom (**DILLEY et al, 2005**). S klimatickou zmenou spojené otepľovanie, zvyšovanie koncentrácie CO<sub>2</sub> a znižovanie úhrnu zrážok, determinujú kapacitu biosféry pre produkciu rastlinnej biomasy (**AMS, 2003**).

V budúcom období klimatické podmienky a vlastnosti pôdy budú stále najdôležitejšími faktormi dosahovania produktivity plodín, a to aj napriek negatívnym technologickým úspechom v tvorbe nových genotypov, geneticky modifikovaných rastlín či bezpôdnym pestovateľským technológiám. Vo všeobecnosti sa predpokladá pokles produktivity rastlín o 30%, závislý od lokálneho pestovateľského územia (najväčší pokles 30% v Afrike a Latinskej Amerike, 10% v Južnej Ázii, v Európe vyrovnaný stav s veľkou priestorovou variabilitou). V prípade plodín ako sú (pšenica, kukurica, ryža a sója) pokles ich produktivity bude sprevádzaný aj redukciami ich výmery na obyvateľa planéty v dôsledku neúmerneho populačného rastu (**BROWN et al, 1999**).

(**REDDY et al, 2000**) sumarizujú vplyv klimatickej zmeny na globálnu produkciu strategických plodín nasledovne.

- ❖ leguminózy budú pravdepodobne vo výhode oproti ostatným plodinám kvôli zvýšenej koncentrácii CO<sub>2</sub>, ktorá zvýši ich schopnosť pútať vzdušný dusík a umožní im lepšie sa vyrovnáť s predpokladanými nižšími hladinami proteínov v pletivách,
- ❖ zvýšenie produkcie bude pre C<sub>3</sub> rastliny výraznejšie ako pre C<sub>4</sub> vďaka ich schopnosti redukovať fotorespiráciu,
- ❖ predpokladá sa pokles kvality zrna obilnín v podmienkach zvýšenej koncentrácie CO<sub>2</sub>,
- ❖ trávne porasty budú meniť svoju štruktúru a druhové zloženie, vzhľadom na zvyšovanie CO<sub>2</sub> sa v nich predpokladá väčšie zastúpenie leguminóz.

## 4. 5 Skleníkový efekt

Skleníkový efekt je asi v 50% podmienený CO<sub>2</sub>, podieľajú sa na ňom však aj ďalšie tzv. skleníkové plyny, akými sú metán (CH<sub>4</sub>, vznikajúci rozkladom organických látok anaerobnými baktériami, podieľa sa na skleníkovom efekte asi 18%), oxidy dusíka (okolo 6%), freóny (okolo 14%) a niektoré ďalšie plyny. Predpokladá sa, že oteplenie biosféry o 1, 5 – 4, 5 °C môže mať za následok veľké klimatické zmeny. Dôjde k aridizácii (vysušeniu) veľkých oblastí, môžu sa narušiť aj morské prúdy a extrémne výkyvy teplôt budú mať za následok prudké búrky a ďalšie katastrofy. Pri priemernom oteplení o 4°C sa môžu tropiť polárne ľadovce a dôjde k zvýšeniu hladiny oceánov. Ak by sa hladina oceánov zvýšila len o 1 m, voda by zaplavila rozsiahle prímorské nížinné oblasti a niektoré krajiny by úplne zmizli. Zastavenie zvyšovania koncentrácie CO<sub>2</sub> v ovzduší je oveľa obťažnejšie vzhľadom na to, že fosílna palivá sú hlavným zdrojom energie súčasnej civilizácie (**KVASNIČKOVÁ et al, 2002**).

## 4. 6 Skleníkové plyny

Skleníkové plyny sú plyny, ktoré spôsobujú, že infračervené žiarenie je pohlcované atmosférou, čím dochádza k spodnej vrstvy atmosféry a zemského povrchu (**LEGETT, 1992**).

Najvýznamnejším skleníkovým plynom v atmosfére je vodná para (H<sub>2</sub>O), ktorá spôsobuje asi dve tretiny celkového skleníkového efektu.

Jej obsah v atmosfére nie je priamo ovplyvňovaný ľudskou činnosťou. V zásade je determinovaný prirodzeným kolobehom vody (**MAREČKOVÁ, 2000**). Medzi dôležité skleníkové plyny, ktoré sú priamo ovplyvňované ľudskou činnosťou patria: oxid uhličitý, oxid dusný, metán, chlorofluorované uhľovodíky a ozón.

#### **4. 6. 1 Metán (CH<sub>4</sub>)**

Je hlavnou zložkou zemného plynu. Koncentrácia metánu v atmosfére sa prinajmenšom dve tisíc rokov pred rokom 1800 pohybovala okolo 0,8 ppmv. Od tej doby sa viac ako zdvojnásobila a v priemere sa zvyšuje o jedno percento ročne. Hlavné straty metánu v atmosfére spôsobuje chemický rozklad. Priemerná doba životnosti metánu v atmosfére je určená rýchlosťou prepadu. Pohybuje sa okolo 11 rokov a je oveľa kratší, ako životnosť oxidu uhličitého.

#### **4. 6. 2 Oxid dusný (N<sub>2</sub>O)**

Oxid dusný obecné nazývaný ako anestetikum je ďalším skleníkovým plynom, ktorý je zastúpený v malom množstve. Jeho koncentrácia v atmosfére sa pohybuje okolo 0,3 ppmv a ročne stúpa asi o 0,25%. Jeho množstvo je približne o 8% väčšie ako v dobe pred priemyselnou revolúciou. Životnosť v ovzduší je relatívne dlhá - približne okolo 150 rokov.

#### **4. 6. 3 Oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>)**

Jedným z hlavných nositeľov, pomocou ktorých sa v prírode prenáša uhlík medzi mnohými prirodzenými zásobníkmi uhlíka – teda v procese známom ako kolobeh uhlíka. Kyslík, ktorý odoberáme z atmosféry, používame ku spaľovaniu uhlíka v potrave. Ten sa mení v oxid uhličitý, ktorý potom vdychujeme. Rastliny za prítomnosti svetla vdychujú oxid uhličitý, používajú uhlík k rastu a späť do atmosféry vydychujú kyslík. Koncentrácia oxidu uhličitého sa v ovzduší mení a má dôležité dôsledky. Emisie oxidu uhličitého v skutočnosti stúpajú a každý rok sa zväčšujú.

#### **4. 6. 4 Chlorofluorované uhľovodíky (CFC)**

Chlorofluorované uhľovodíky sú syntetické chemické látky, ktoré sa vyparujú pri teplotách tesne pod izbovou teplotou. Nie sú horľavé ani jedovaté a preto, sú ideálne na používanie do fadničiek a do aerosolových sprejoch. Ich spotreba sa za posledných osemdesiatich rokoch rýchlo zvýšila a ich koncentrácia v atmosfére vzrástla tak, že sa odhaduje na okolo 1 ppbv (tj. 1. 10 na -7 obj. %) (HOUGHTON, 1998).



#### 4. 6. 5 Ozón (O<sub>3</sub>)

Ozón je plyn, ktorý sa tvorí v atmosfére spojením troch atómov kyslíka. Nie je emitovaný priamo do ovzdušia, ale v prízemnej vrstve vzniká chemickou reakciou medzi oxidmi dusíka a prchavými (volatilnými) organickými zlúčeninami (VOC) za prítomnosti slnečného žiarenia. Ozón má rovnakú chemickú štruktúru, či sa nachádza vysoko nad zemou (stratosferický ozón), alebo v prízemnej vrstve (troposferický ozón). Koncentrácia ozónu sa môže meniť z roka na rok. Zmeny počasia, najmä počtu horúcich, slnečných dní, období so stagnáciou vzduchu a iné faktory, ktoré prispievajú k tvorbe ozónu znemožňujú dlhodobé predpovede (DRÍMAL et al, 2006).

**Tabuľka 1.** Najbežnejšie skleníkové plyny, ich zdroje, ročný prírastok a podiel na zemskom otepľovaní (LEGETT, 1992).

Plyn*	Hlavné zdroje	Súčasný ročný prírastok a koncentrácia	Podiel na zemskom otepľovaní (%)
Oxid uhličitý (CO <sub>2</sub> )	Spaľovanie fosilných palív (77%), odlesňovanie (23%)	0,5% (353ppmv)**	55%
Chlorofluorované uhľovodíky (CFC)	Chladiace média, propelenty, rozpúšťadlá	4% (280 pptv** freónu 11,484 pptv freónu 12)	24%
Metán (CH <sub>4</sub> )	Tráviace pochody, únik zemného plynu	0,9% ( 1,72ppmv)	15%
Oxid dusný (N <sub>2</sub> O)	Spaľovanie biomasy, spaľovanie fosilných palív	0,8% (310 ppbv)**	6%

## 5. Účinok zvýšenej koncentrácie CO<sub>2</sub> na rastliny

### 5. 1 Zmeny fotosyntézy

#### 5. 1. 1 Zmeny rýchlosti fotosyntézy pri zvýšení koncentrácie CO<sub>2</sub>

Podľa (Reyfsnydera,1989) je súčasná koncentrácia CO<sub>2</sub> suboptimálna pre fotosyntézu a produkciu biomasy. Intenzita fotosyntézy pri dvojnásobnom zvýšení koncentrácie oxidu uhličitého bola skúmaná v laboratórnych podmienkach. Z výsledkov vyplýva, že rastliny typu C<sub>3</sub> (patrí sem 95% rastlín) zvýšia intenzitu fotosyntézy až o 28% , rastliny C<sub>4</sub> (kukurica, cirok, cukrová trstina) o 9 % (CURE a ACOCK, 1986). Závislosť medzi intenzitou fotosyntézy a koncentráciou CO<sub>2</sub> je logaritmická tzv., že so zvyšujúcou sa koncentráciou CO<sub>2</sub> sa znižuje prírastok intenzity fotosyntézy pripadajúci na jednotkové zvýšenie koncentrácie oxidu uhličitého. Podľa výsledkov početných štúdií, ktoré zhrnuli (CURE a ACOCK, 1986) sa zníži vodivosť prieduchov rastlín asi o 34% pomerne rovnomerne pre všetky študované plodiny. Pri zvýšení koncentrácie CO<sub>2</sub> v atmosfére sa zníži vodivosť prieduchov tak, že rastlina čiastočne uzavrie prieduchy listov, čím sa zníži tok CO<sub>2</sub> do podprieduchových dutín, ale zníži sa aj opačne smerujúci tok vodnej pary z listu do atmosféry .

#### 5. 1. 2 Zníženie intenzity transpirácie

Pretože CO<sub>2</sub> a vodná para difundujú simultánne tými istými prieduchmi protismerne, pri znížení vodivosti prieduchov sa zníži aj intenzita toku vodnej pary z listu do atmosféry - intenzita transpirácie. Predpokladá sa, že zníženie intenzity transpirácie bude o niečo nižšie, ako je zníženie vodivosti prieduchov. Je to spôsobené tým, že pri znížení intenzity transpirácie sa zníži spotreba energie na ochladzovanie listov, čo spôsobí zvýšenie teploty listov, zvýšenie gradientu napätia vodných pár a následné zvýšenie transpirácie.

### **5. 1. 3 Zvýšenie intenzity fotosyntézy zvýšením koncentrácie oxidu uhličitého v koreňovej oblasti pôdy**

Zvýšená koncentrácia CO<sub>2</sub> v pôdnej vode môže zvýšiť dostupnosť živín a zvýšiť hormonálnu aktivitu v rastline, čo môže viesť k zvýšeniu intenzity fotosyntézy. Závlaha vodou so zvýšenou koncentráciou CO<sub>2</sub> viedla vo väčšine prípadov k zvýšeniu úrod. Príčinou je tiež prenos CO<sub>2</sub> z pôdy cez rastlinu do listov a využitie takto získaného CO<sub>2</sub> v procese fotosyntézy (ENOCH et al, 1993).

### **5. 1. 4 Interakčný efekt teploty a vysokej koncentrácie CO<sub>2</sub> na fotosyntézu**

V súvislosti so zvýšenou koncentráciou CO<sub>2</sub> zvýšenie teplôt vzduchu môže tiež spôsobiť zvýšenie intenzity fotosyntézy. Intenzita fotosyntézy je výrazne závislá na teplote rastlinného pletiva. Všeobecne sú známe závislosti medzi intenzitou fotosyntézy a teplotou (JONES, 1983). Tieto závislosti majú maximum pri teplotách medzi 20 až 40 °C, pričom teplobytné druhy majú maximum posunuté smerom k vyšším teplotám. Pri teplotách pletív prevyšujúcich maximá, intenzita fotosyntézy prudko klesá. Teplota, pri ktorej je intenzita fotosyntézy toho istého rastlinného druhu maximálna, závisí na teplotách prostredia v ktorom rastlina vegetovala. Znamená to, že rastlina rastúca v relatívne chladnejších podmienkach má maximum pri nižších teplotách, ako rastlina naadaptovaná na vyššie teploty (LITSCHMANN a ROŽŇOVSKÝ, 1994).

### **5. 1. 5 Interakčný efekt teploty na rastové procesy a dĺžku vegetačného obdobia**

Predpokladané zvýšenie teploty vzduchu predĺži vegetačné obdobie rastlín, čím sa umožní pestovanie takých rastlinných druhov, ktoré rástli južnejšie (ŠPANÍK, 1994).

Minimálna prahová teplota pre rast rastlín mierneho pásma je 5-6 °C, pre teplobytné rastliny ako je kukurica je minimálna teplota asi 10 °C. Dĺžka vegetačného obdobia je časový interval roka, v ktorom sú priemerné denné teploty vzduchu vyššie, ako minimálne (prahové) teploty. Dĺžka vegetačného obdobia je limitujúcim faktorom hlavne pre severne položené lokality (JONES, 1983).

## 5. 2 Molekulárne aspekty fyziologického procesu

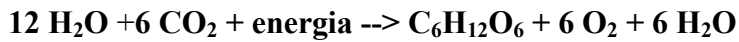
Fotosyntetická regulácia nadol je charakterizovaná na biochemickej a listovej úrovni redukciou obsahu chlorofylu, redukciou obsahu RUBISCO a jeho aktivitou o 11% (AINSWORTH et al, 2002 ) obmedzením RUBISCO rovnováha medzi karboxyláciou a kapacitou RUBISCO regenerácie v mladých listoch pšenice môže byť konzistentná s adaptáciami na súčasné resp. minulé hladiny CO<sub>2</sub>, (MITCHELL et al, 2000 ) a P<sub>i</sub> regenerácie, vyšším pomerom objemu listov k plochy listom a zníženým obsahom listového dusíka na báze listovej hmoty (SAGE 1994., TISSUE et al, 1995 ). Tieto regulačné odozvy sú často asociované so zvýšenou akumuláciou sacharidov v listoch, ktoré môžu spôsobiť spätnú inhibíciu fotosyntézy. Na molekulárnej úrovni, hexózy, zachytávané senzorom toku hexóz, iniciujú zmeny v transkripcii mRNA a potláčajú transkripciu dôležitých fotosyntetických génov (STRAIN a THOMAS, 1995 ). Najviac zasiahnuté sú špeciálne gény kódujúce D1 a D2 proteíny jadra PSII, cytochróm f, RUBISCO malá podjednotka, RUBISCO aktiváza a uhlíková anhydráza (WEBER et al 1994., STRAIN a THOMAS, 1995 ).

## 5. 3 Primárne procesy produkcie biomasy

CO<sub>2</sub> má hlavné fyziologické roly, ako je substrát a aktivátor fotosyntetickej uhlíkovej asimilácie so sprievodným účinkom na temnotné dýchanie, fotorespiráciu a environmentálne variabilné otváranie prieduchov.

### 5. 3. 1 Fotosyntéza

Je základným metabolickým dejom, ktorý prebieha v telách rastlín. Princípom fotosyntézy je premena slnečnej energie na energiu chemických väzieb podmienená prítomnosťou fotosynteticky aktívnych pigmentov (farbív). Fotosyntéza je metabolický dej, prebiehajúci v zelených častiach rastliny, pri ktorom sa za účasti svetla a chlorofylu menia neústrojné látky na látky ústrojné.



Fotosyntéza prebieha v tých častiach rastlín, ktoré obsahujú fotosynteticky aktívne pigmenty. Medzi najdôležitejšie farbivá patrí **chlorofyl a**, jeho doplnkom sú ostatné chlorofyly (b, c, d), **karotenoidy** (oranžový B - karotén a xantofyly). **Fykobilíny** sú farbivá siníc (fykocyanín) a rias (fykoerytrín). Pigmenty fungujú ako zberače fotónov - zachytávajú fotóny rôznej vlnovej dĺžky a energiu prenášajú na chlorofyl .

Fotosyntéza prebieha vo dvoch za sebou nasledujúcich fázach:

1. **Svetlá - fotochemická fáza**, primárne deje fotosyntézy
2. **Tmavá - syntetická fáza**, sekundárne deje fotosyntézy

### Svetlá (fotochemická) fáza

Táto fáza prebieha len na svetle v chloroplastoch. Hlavnú úlohu zohrávajú komplexy pigmentov (farbív) - **fotosystémy**, ktoré sa od seba líšia zložením farbív:

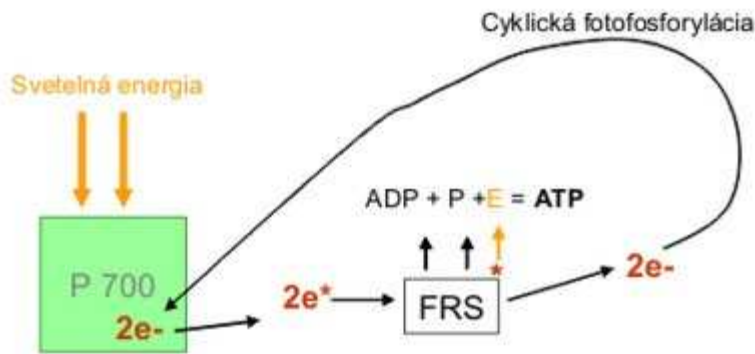
1. **Fotosystém I.** ( P700) obsahuje chlorofyl, ktorý je schopný absorbovať svetlo vlnovej dĺžky do 700 nm. Fotosystém je schopný po absorpcii svetla uvoľniť excitovaný (energetický) elektrón
2. **Fotosystém II** (P680) obsahuje krátkovlnnejšie chlorofyly.

Oba fotosystémy zachytávajú svetlo a energiu posúvajú do ďalších reakcií.

Pri popise dejov svetelnej fázy sa vychádza z modelu dvojelektrónového prenosu a preto budeme uvažovať o excitácii dvoch elektrónov pomocou dvoch svetelných kvánt. Základom tejto fázy je absorpcia svetla fotosystémom I (P700). Svetlo (2 svetelné kvantá) dopadajúce na systém P700 spôsobí, že sa dva elektróny dostávajú do excitovaného stavu t.j. na vyššiu energetickú hladinu. Takýto elektrón je prenesený na **Feredoxín** redoxný systém (FRS). FRS môže posunúť elektróny do:

## 1. Cyklickej fotofosforylácie

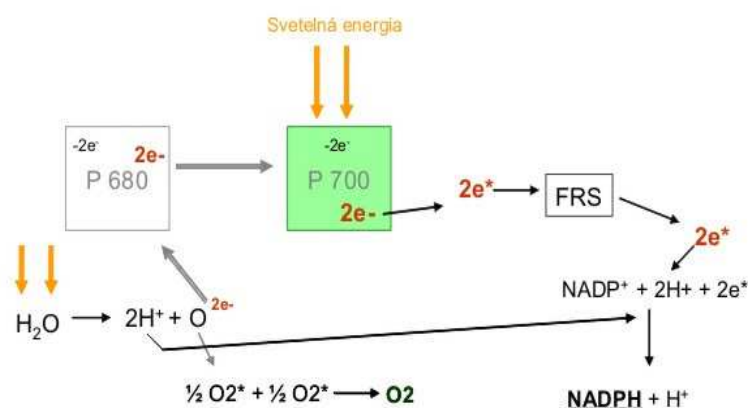
Energia elektrónov sa využíva na fosforyláciu ADP a ukladá sa do makroergickej väzby **ATP**. Elektróny, ktoré takto odovzdali energiu, klesajú na svoju pôvodnú energetickú úroveň a vracajú sa späť do systému P700, kde môžu byť opätovne použité.



2. **Necyklickej fotofosforylácia** - energia excitovaných elektrónov sa presúva na akceptor, ktorým je **NADP<sup>+</sup>** (Nikotínamidadenínindinukleotidfosfát). K jeho ďalšej redukcii sú potrebné okrem 2 elektrónov aj dva protóny vodíka (H<sup>+</sup>), ktoré sa získajú z rozkladu vody pomocou svetla - **fotolýzy vody**. Energia elektrónov je využitá k fotofosforylácii a vzniku ATP. Elektróny sa nevracajú do systému P700. Chýbajúce elektróny sú doplnené zo systému P680, ktorý si ich potom berie z fotolýzy vody.

Pri fotolýze sa voda rozkladá:  $\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{O}_2$

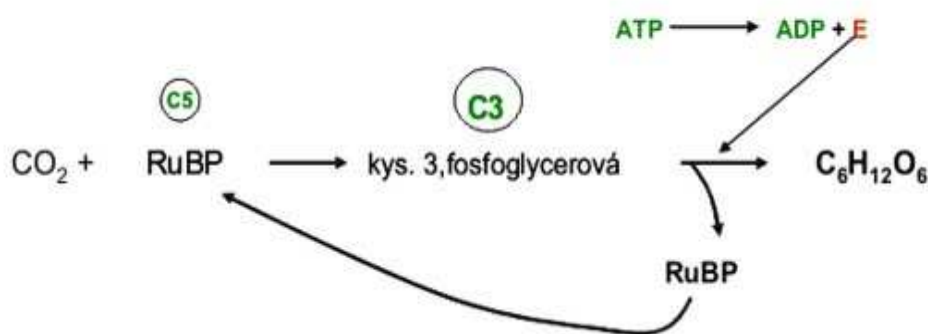
Dva elektróny kyslíka sú vrátené systému P680 a 2H<sup>+</sup> sú využité na redukciiu NADP<sup>+</sup>. Atóm kyslíka sa spája s iným atómom a vytvára molekulu O<sub>2</sub>, ktorá sa uvoľňuje do prostredia alebo sa využíva na dýchanie (respiráciu).



Výsledkom svetlej fázy je teda zachytenie svetelnej energie a jej premena na energiu chemickej väzby ATP a vytvorenie  $\text{NADPH} + \text{H}^+$ , ktoré sa využívajú v tmavej fáze. Vedľajším produktom je molekula kyslíka.

### Tmavá (syntetická) fáza

Táto fáza môže prebiehať (a ja prebieha) v tme, nie je potrebné svetlo. V tejto fáze sa zapája do fotosyntézy  $\text{CO}_2$ . Na redukciu  $\text{CO}_2$  sa využívajú produkty vzniknuté v primárnych dejoch. Proces zabudovanie oxidu uhličitého od jeho naviazania na špecifický akceptor (karboxylácie), až do vzniku organickej látky - glukózy sa nazýva **Calvinov cyklus**. Špecifickým akceptorom  $\text{CO}_2$  je **Ribulóza-1,5-bisfosfát** (RuBP). Karboxylácia je zložitá reakcia, ktorá prebieha cez  $\text{C}_3$  (trojuhlíkaté) **medziprodukty** (napr. kyselina 3-fosfoglycerová, 3-fosfoglyceradehyd), z ktorých sa postupne vytvára energeticky bohatá  $\text{C}_6$  zlúčenina. Energia chemických väzieb tohto cukru majú pôvod v svetelnej energii absorbovanej v primárnych dejoch (svetelnej fáze) a viazanej v ATP,  $\text{NADPH} + \text{H}^+$ .



Calvinov cyklus prebieha cez trojuhlíkaté (C<sub>3</sub>) medziprodukty. Preto rastliny, ktoré na výrobu glukózy využívajú len Calvinov cyklus sa označujú ako **C<sub>3</sub> rastliny**. U C<sub>3</sub> rastlín prebieha fotosyntéza pri otvorených prieduchoch a súčasne s fotosyntézou prebieha aj dýchanie – tzv. **fotorespirácia**. Pri fotorespirácii sa až 50% vzniknutých produktov (glukózy) hneď rozkladá a energia sa využíva na metabolické deje.

#### Hatch-Slackov cyklus (cyklus C<sub>4</sub> dikarboxylových kyselín)

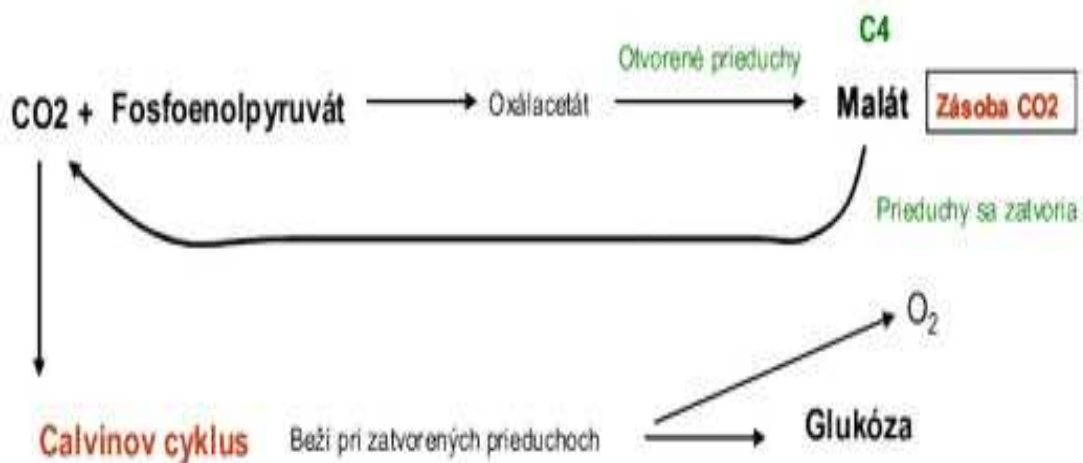
U niektorých rastlín tropického pôvodu (cukrová trstina, kukurica, proso ...) prebieha tmavá fáza fotosyntézy trochu inak. Pôvodom je skutočnosť, že počas tmavej fázy u týchto rastlín sú prieduchy zatvorené a teda neprebieha fotorespirácia.

Tieto rastliny si preto musia zabezpečiť dostatočné množstvo CO<sub>2</sub> (zdroj uhlíka) počas doby, keď sú prieduchy otvorené. Toto zabezpečujú Hatch-Slackovým cyklom (H-SC).

Pri Hatch-Slackovom cykle primárnym akceptorom CO<sub>2</sub> nie je Ribulózo 1,5 bisfosfát ale **fosfoenolpyruvát** (PEP). Tento cyklus prebieha pri otvorených prieduchoch. Výsledkom H-SC je C<sub>4</sub> (štvoruhlíkatá) organická zlúčenina, ktorá slúži ako zásoba uhlíka.

Po skončení H-SC sa prieduchy zatvárajú a reakcia sa vracia späť, pričom vzniká CO<sub>2</sub>, ktorý vstupuje do Calvinovho cyklu. Rozdiel je však v tom, že prieduchy ostávajú zatvorené. Keďže neprebieha súčasne dýchanie, teda sa vzniknutá glukóza hneď nespotrebuje, energetický efekt takejto fotosyntézy je vyšší ako pri C<sub>3</sub> rastlinách.





### Fotosyntéza CAM-rastlín

Hatch-Slackov cyklus je základom fotosyntézy aj u tzv. **CAM rastlín** (Crassulean Acid Metabolism). Patria sem sukulentné rastliny napr. z čeľadí *Kaktusovité*, *Tučnolistovité*, *Broméliovitité*. Tieto rastliny reagujú na ekologické podmienky svojho stanovišťa - sucho, krátke horúce dni, chladné noci tak, že prieduchy sa otvárajú v noci a cez deň sú zatvorené. Tým je vodný režim regulovaný bez toho, aby bol obmedzený príjem CO<sub>2</sub> do dejov fotosyntézy.

### Faktory ovplyvňujúce fotosyntézu

Pre fotosyntézu sú potrebné určité podmienky, ktoré majú priamy vplyv na tvorbu organickej hmoty - biomasy. Medzi takéto faktory patria:

1. **Oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>)**- je dôležitý pre výkon fotosyntézy. Aj keď niektoré čiastkové deje môžu prebiehať bez prítomnosti CO<sub>2</sub>, jeho koncentrácia má vplyv na rýchlosť a výnos fotosyntézy. Toto má význam pri pestovaní kultúrnych rastlín, keď napr., v skleníku, môžeme umelo zvyšovať množstvo CO<sub>2</sub> a tým ovplyvniť výnos z pestovaných rastlín.
2. **Voda** - Pri fotolýze je donorom (dodávateľom) elektrónov, protónov a kyslíka. Zároveň vstupuje do rady fotosyntetických procesov a metabolických reakcií, ktoré na fotosyntézu nadväzujú.

3. **Svetlo** - Svetlo je nositeľom energie, preto sa množstvo svetla považuje za limitujúci faktor fotosyntézy
4. **Teplota** - Teplota patrí medzi ďalšie limitujúce faktory. Intenzita fotosyntézy vo vzťahu k teplote je u rastlín rôzna. Na zemi sú veľmi veľké teplotné rozdiely, ktorým sa rastliny prispôbili. Niektoré termofilné sinice dokážu vykonávať fotosyntézu aj pri teplote 70-80° C. Na druhej strane u niektorých lišajníkov prebieha fotosyntéza pri teplotách blízkyh 0° C.  
Teplotné optimum rastlín mierneho pásma je 20-30° C.

**([http://www.ta3k.sk/bio/index.php?option=com\\_content&view=article&id=100:fotosynteza&catid=52:fyzilogia-rastlin&Itemid=69](http://www.ta3k.sk/bio/index.php?option=com_content&view=article&id=100:fotosynteza&catid=52:fyzilogia-rastlin&Itemid=69))**

### **5. 3. 2 Fotorespirácia**

Fotorespirácia vyplýva z oxygenáznej reakcie katalyzovanej RUBISCO. V tejto reakcii glykolát-2-fosfát je produkovaný a následne metabolizovaný vo fotorespiračnej dráhe na intermediát Calvinovho cyklu glycerát-3-fosfát (**WINGLER et al, 2000** ). Počas týchto metabolických procesov je produkovaný CO<sub>2</sub> a NH<sub>3</sub> a ATP a redukčné ekvivalenty

(NADPH ) sú naopak spotrebované. Fotorespirácia, môže slúžiť ako sink energie a tak pomáhať predchádzať v preredukovaní fotosyntetického elektrónového reťazca a fotoinhibícií, najmä v stresových podmienkach, ktoré vedú ku zníženým hodnotám fotosyntetickej asimilácie CO<sub>2</sub> (**LAISK a OLJA 1998., WINGLER et al, 2000** ). Ďalej fotorespirácia poskytuje metabolity pre iné metabolické procesy napr. glycín pre syntézu glutatiónu, ktorý je takisto zahrnutý v ochrane proti stresu.

### 5. 3. 3 Respirácia

Dýchanie (disimilácia, respirácia), čiže rozklad zložitých organických látok na jednoduchšie (obyčajne na oxid uhličitý a vodu), pričom ubúda rastline energia a hmotnosť. Respirácia je spoločný proces s inými organizmami. Respirácia je systém oxido - redukčných reakcií, ktoré uvoľňujú energiu z predýchavaného substrátu. Dýchanie a fotosyntéza prebiehajú vo svetle súčasne, v tme rastlina len dýcha. U mladších rastlín prevažuje fotosyntéza, u starších dýchanie. Dýchanie je intenzívnejšie pri mechanickom poškodení rastliny. Energii uvoľnenú pri dýchaní rastlina využíva na rôzne fyziologické a biochemické pochody, ako sú napríklad pri syntéze sacharidov, bielkovín, pri príjme a transporte živín, pri raste a pod. Pri anaérobnom dýchaní je nevyhnutný kyslík, ktorý sa do rastliny dostáva prieduchmi a pokožkou. Bunkové dýchanie prebieha v mitochondriách. Hlavným respiračným materiálom sú sacharidy a konečným produktom sa stáva oxid uhličitý a voda. Druh substrátu, ktorý rastlina predycháva, možno zistiť vďaka respiračnému kvocientu (RQ) – pomeru vytvoreného oxidu uhličitého a objemu spotrebovaného kyslíka.

(<http://www.zsholubyho.sk/biol%C3%B3gia/%C5%BEivo%C4%8D%C3%ADchy/prezent%C3%A1cie/d%C3%BDchanie%20a%20jeho%20funkcia.ppt#265,8,Snímka 8>)

### 5. 3. 4 Prieduchová regulácia

Vyššie rastliny majú epidermu nadzemných orgánov pokrytú nepriepustnou kutikulou. Výmena plynov je na liste lokalizovaná v prieduchoch, ktoré tvoria ostiolu ohraničenú dvoma prieduchovými bunkami. Pohyby prieduchov, resp. modulácia výmeny plynov s okolitým prostredím sú dôsledkom gradientov endogénnych faktorov v systéme koreň – stonka – list a signálov vonkajšieho prostredia. Kontrolovaním efektívnosti výdaja vody rastlina moduluje fotosyntetickú aktivitu determinujúcu produkciu biomasy. V prirodzených podmienkach sú rastliny nepretržite vystavené zmenám vonkajších faktorov. Reagujú intenzitou a kvalitou svetla, CO<sub>2</sub>, saturačný deficit vodných pár v atmosfére, kyslík, teplotu, disponibilitu vody v pôde. Tieto faktory pôsobia na stupeň otvorenosti prieduchov stimuláciou alebo inhibíciou ich otvárania alebo zatvárania.

Zatváranie prieduchov spôsobujú vysoké parciálne tlaky CO<sub>2</sub>, zvýšenie teploty alebo zníženie vlhkosti. Z hľadiska mechanizmu otvárania prieduchov, je v súčasnosti akceptovaná hypotéza o intervencii plazmalémovej H<sup>+</sup> - ATPázy.

Aktivácia tejto pumpy spôsobuje vytlačenie protónov proti elektrochemickému transmembránovému gradientu (aktívny fenomén vyžadujúci energiu), a teda hyperpolarizáciu plazmatickej membrány (ASSMANN, 1993). Osmotický potenciál prieduchových buniek sa mení vo vzťahu k modifikáciám prostredia intenzívnejšie, ako v iných bunkách. Z fyziologického hľadiska je svetlo hlavne stimulom pre fotosyntetické formovanie ATP a NADPH. H, čím sa aktivuje H<sup>+</sup> - ATPáza a následne prísun K<sup>+</sup>, zodpovedného za otváranie prieduchov (LASCEVE et al, 1987). V prípade zatvárania prieduchov sa nevyžaduje funkčnosť H<sup>+</sup> - ATPázy. Je pravdepodobné, že zatváranie prieduchov závisí od koncentrácie ATP a Ca<sup>2+</sup> v cytosóle, ktoré sú nevyhnutné pre otvorenie kanálov v plazmaléme.

## **5. 4 Dôsledky pôsobenia vysokej koncentrácie CO<sub>2</sub> na integritu fyziologických procesov**

### **5. 4. 1 Koncentrácia produktov fotosyntézy**

Meranie fotosynteticky uvoľneného kyslíka je stechiometricky korelované s asimiláciou CO<sub>2</sub> a umožňuje pracovať s veľmi vysokými externými koncentraciami CO<sub>2</sub> (BRESTIČ et al, 2001). V tomto prípade je možné prekonať rezistenciu voči difúzii CO<sub>2</sub>, dosiahnuť saturovanú koncentráciu na úrovni miest karboxylácie a silne inhibovať fotorespiráciu. Pre rastliny C<sub>3</sub> je pravdepodobná saturácia v chloroplaste od 0, 1% CO<sub>2</sub> (SHARKEY, 1985). V prípade, že je rastlina vystavená stresu a narastá difúzna rezistencia voči CO<sub>2</sub> (stomatická alebo mezofylová), pre udržanie saturácie sú nevyhnutné koncentrácie CO<sub>2</sub> 5% až 17%.

### **a.) Princíp elektródy O<sub>2</sub>**

Kyslík, ktorý predstavuje plynnú fázu v zatvorenej meracej komore ( LD2 Hansatech, GB), je detekovaný elektródou Clark. Ide o katódu (Pt) a anódu (Ag), spojené „ mostom“ – KCL. Medzi anódou a katódou je potenciál 700 mV, ktorý polarizuje elektródu, teda prináša dávku negatívnych nábojov na úroveň katódy. Molekulárny kyslík, prítomný v blízkosti katódy, je redukovaný týmito elektrónmi, a má za následok tok elektrónov. Intenzita tohto indukovaného prúdu je proporciálna množstvu konzumovaného O<sub>2</sub> na katóde. Meranie je uskutočnené v hermeticky uzavretej komore a pri modulovanom svetle prostredníctvom filtrov zo svetelného zdroja.

### **b.) Svetelné krivky fotosyntézy**

Vyjadrujú zmeny intenzity fotosyntézy, meranej výmenou CO<sub>2</sub> alebo O<sub>2</sub> pri modulovaní intenzity žiarenia (**BRESTIČ et al, 2001**).

## **5. 4. 2 Vodný stav rastliny**

Voda má v ekosystémoch veľmi rýchly kolobeh a jej zásoba v rastlinách stačí iba na pomerne krátku dobu. Syntéza kyseliny abscisovej ABA v koreňoch a jej transport do listov stimuluje zatváranie prieduchov, čím redukuje stratu vody z listu transpiráciou (**DAVIES, ZHANG, 1991**). Podľa (**COMSTOCKA, 2002**) reagujú prieduchy priamo na niektoré zmeny vodného stavu listu. Poukazuje tak na gradienty vodného potenciálu vznikajúce medzi koreňom a nadzemnou časťou, ako výsledku transportu vody. Tento mechanizmus umožňuje stabilnejšiu reguláciu vodného stavu nadzemnej časti rastliny a lepšiu ochranu samotného transportného systému. Dôležitú úlohu v regulácii vodného režimu rastlín zohrávajú rozdiely v otvorenosti prieduchov na listoch obilnín (**BRESTIČ et al, 2001**).

## **5. 5 Rastovo - produkčné vlastnosti rastlín**

Rastovo – produkčné vlastnosti rastlín odrážajú potenciálne schopnosti biologického materiálu, ako aj dynamiku pôsobenia ekologických faktorov. Často sa prezentujú ako funkčný predpoklad potenciálnej produkcie kultúrnych rastlín (**BRESTIČ et al, 2001**). (**KVĚT et al, 1971**) vychádzajú z analýzy rastu jednotlivých orgánov.

### **a.) Analýza rastu orgánov**

Zisťuje sa prerozdelenie suchej hmoty do jednotlivých orgánov ( listy, stonky, klasy resp. korene) odobratých vzoriek v kalendárnom alebo biologickom čase rastlín po vysušení vysokou teplotou 80-105°C v súboroch rastlín.

### **b.) Hodnotenie akumuláčného efektu sinkov**

Vo fáze plnej zrelosti rastlín sa analyzujú typické, nepoškodené klasy. Zaznamenáva sa počet a umiestnenie nevyvinutých zŕn, pričom individuálne zrná z jednotlivých pozícií sú zosýpané a kvantitatívne hodnotené. Zistí sa priemerná hmotnosť zŕn z jednotlivých pozícií (**BRESTIČ et al, 2001**).

## **6. Interakcie s ostatnými environmentálnymi stresmi**

### **6. 1 Vodný stres**

Stav CO<sub>2</sub> v atmosfére a jeho možný účinok na fyziologické procesy v rastlinách nie je jednoznačný. Napriek anomálii CO<sub>2</sub> zistenej za posledné 3 roky v Mauna Loa ( 1991 – 1993) sa akceptuje trend postupného zvyšovania CO<sub>2</sub> v atmosfére v priemere o 0,4 % z celkového množstva za rok. Genetické, environmentálne a iné faktory zodpovedajú za to, že rastliny nerealizujú rovnako a v plnej miere zvýšenie produkcie v podmienkach zvýšeného CO<sub>2</sub>.

C3 typ rastlín reaguje lepšie na dodávaný CO<sub>2</sub> zvýšením hmotnosti sušiny, ovplyvnením dýchania, znížením rýchlosti transpirácie a rýchlosti asimilácie CO<sub>2</sub>. V podmienkach vodného stresu sú jeho účinky ešte výraznejšie. Úpravou potenciálov (vodného a tlakového), zvýšením turgoru a zlepšením osmotických pomerov cez reguláciu prieduchov, ktorá má za následok zníženie rýchlosti transpirácie. Rastliny efektívnejšie využívajú vodu a následne zvyšujú produkciu (LITSCHMANN et al, 1994).

Od stupňa pripravenosti rastlín a od charakteru pôsobiaceho faktora – stresu môžeme podľa (ALTERGOTA, 1981) rozlíšiť dva typy odolnosti:

- i. štruktúrnu (statickú)
- ii. funkčnú (dynamickú)

V prípade, ak stres pôsobí na nepripravenú rastlinu rýchlo, bez zapojenia reakcií na úrovni organizmu, tak poškodenie závisí od stability všetkých štruktúr – od molekulárnych, subbunkových až po anatomicko - morfológických. V prírode sa častejšie vyskytuje stres postupný – gradujúci, dlho pôsobiaci s nie vysokou silou, v dennom cykle sa často striedajúci s pomerne priaznivými obdobiami pre rast, tak vtedy má základný význam stabilita (odolnosť) funkcií a adaptačné procesy realizujúce sa najmä cestou rastu rastliny. Mimoriadny význam má funkčná odolnosť v podmienkach veľkých denných a sezónnych amplitúd faktora (vodnej zásobenosti, teploty). Analýzu systému pôda – klíma - rastliny, orgán - rastlina, poškodenie – adaptácia - odolnosť si vyžadujú problémy odolnosti na ekologickej úrovni. Výsledkom interakcií rôzne starých, funkčne špecifických orgánov, medzi ktorými sa tvoria konkurenčné vzťahy je reakcia rastliny (ALTERGOT, 1981).

## 6. 2 Teplotný stres

Skutočnosť, že CO<sub>2</sub> je skleníkový plyn, ktorý sa podieľa na zvyšovaní globálnej teploty je dôležitým faktorom pri úvahách o rastúcej CO<sub>2</sub>. Teplota a CO<sub>2</sub> majú interakčný účinok, pretože nárast teploty znižuje pomer [CO<sub>2</sub>]/[O<sub>2</sub>] v roztoku, posúva špecifitu RUBISCA smerom k oxygenázovej aktivite, zvyšuje fotorespiráciu a temnotné dýchanie a zvyšuje reakciu sinku vzhľadom k source. Fotosyntetické zisky sa môžu alebo nemusia prejavovať v dlhodobom raste a úrode v dôsledku medzihry ostatných faktorov, ktoré komplikujú túto záležitosť (ALLEN 1990., LONG, 1991 B).

Ďalej je zaujímavé, že teplotné režimy, ktoré zvýšia CO<sub>2</sub> stimulovaný vegetatívny rast môžu negatívne ovplyvniť reprodukčný rast. Z tohto dôvodu, bola úroda pri ryži redukovaná približne o 10 % na každý 1°C nad teplotou 26°C, pričom podobné výsledky boli pozorované pri sóji a pšenici (**BAKER et al, 1992., MITCHELL et al, 1993 B**). To znamená, že stimulácia fotosyntézy a vegetatívneho rastu zvýšenou hladinou CO<sub>2</sub> je zvýšená rastúcou teplotou len v rozmedzí druhovo špecifických teplotných limitov, čo platí aj pre C<sub>4</sub> rastliny. Všeobecne teda zvýšenie atmosférickej koncentrácie CO<sub>2</sub> a dennej teploty má potenciál pre pozitívny interaktívny účinok na fotosyntézu a vegetatívny rast, ale v niektorých regiónoch sa nemusí tento fotosyntetický zisk premietnuť do vyššej úrody, kvôli teplotnému stresu na reprodukčné procesy (**BOWES, 1993**), pričom zvýšená teplota v noci môže zvýšiť tento účinok (**AHMED et al, 1993 B**).

### **6. 3. Radiačný stres**

Fotosyntéza sa v prírode objavuje vo vysokých aj nízkych svetelných podmienkach, pričom tie druhé spôsobujú, že regenerácia RUBISCA sa stáva silnejšou limitáciou ako zásoba CO<sub>2</sub> alebo kapacita RUBISCA. Mnohé pokusy demonštrujú, že EC zvyšuje svetelné limity C<sub>3</sub> fotosyntézy. EC redukuje inhibíciu O<sub>2</sub>, čo sa prejaví vo vyššom kvantovom výťažku. Z tohto dôvodu reakcia asimilácie a žiarenia ( A/I) vykazuje nielen vyššiu rýchlosť svetlom saturovanej reakcie, ale aj strmší počiatkový nárast t. j. vyšší kvantový výťažok a nižší svetelný kompenzačný bod, ako tie, ktoré rástli pri 330 μmol mol<sup>-1</sup> (**ANDÓDI, 2003**).



## **7. Záver**

Pravdepodobnosť, že predindustriálne CO<sub>2</sub> prostredie evolučne ovplyvnilo modernú flóru vedie k uvedomeniu si faktu, že sú možnosti vylepšenia produkcie rastlín a to odstránením zábran spojených s adaptáciou na nízke koncentrácie CO<sub>2</sub>. Poznanie týchto adaptácií sa zdá byť veľkou výzvou pre fyziológov, šľachtiteľov, genetikov a molekulárnych biológov, pretože samotný genofond rastlín ponúka obrovský priestor pre lepšie využitie meniacich sa parametrov klímy. V súčasnosti s pokračujúcou optimalizáciou podmienok pestovania sa dá očakávať dobrá perspektíva pre efektívne poľnohospodárstvo. V prirodzených ekosystémoch sa vplyvom meniacej sa klímy bude meniť zloženie a rozloženie druhov a kontinuálne zmeny vo vegetácii sú faktom života na tejto planéte, bez ohľadu na to, či sú prospešné pre človeka, alebo nie.

## 8. Použitá literatúra

1. ALTERGOT V.F.: Dejstvije povyšenoj temperatury na rastenije v eksperimente i prirode. Nauka, Moskva, 1981, 56 s.
2. ANDÓDI, Adrian. 2003. Vplyv zvýšenej koncentrácie CO<sub>2</sub> na fyziológiu rastlín v interakcii s ostatnými faktormi prostredia: diplomová práca. Nitra: SPU, 2000. s. 19-20, 35-36.
3. ASSMANN, S.M. 1993. Signal transduction in guard cels. Annu. Rev. Cell Biol. 9. 365-375.
4. BRESTIČ, M. – OLŠOVSKÁ, K. 2001. Vodný stres rastlín príčiny, dôsledky, perspektívy. 1. vyd. Nitra: SPU, 2001. s 41-69. ISBN 80-7137-902-6.
5. BRESTIČ, M. – OLŠOVSKÁ, K. – HAUPTVOGEL, P. 2008. Život rastlín v meniacich sa podmienkach prostredia: evolučná perspektíva pre 21. storočie. 1. vyd. Brno: Tribun EU, 2008. s. 106-107. ISBN 978-80-7399-566-9.
6. CIAIS, P. - REICHSTEIN, M. - VIOVY, N. et al.: Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heath and drought in 2003. In: Nature, Vol. 437. Issue 7058, 2005, s. 529-533.
7. Climate Change: Working Group II: Impactes, Adaption and Vulnerability [online] 2007, [cit. 2011- 04 - 12]  
Dostupné na internete  
<[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg2/en/ch18s18-1-1.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/ch18s18-1-1.html)>

8. COMSTOCK, J.P. 2002. Hydraulic and chemical signalling in the control of Stomatal conductance and transpiration. In: *Journal of Experimental Botany*, 2001, 53, pp 195-200.
9. CURE, J.D. - ACOCK, B. 1986. Crop responses to carbon dioxide doubling: a literature survey. *Agric.For.Met.*, 38, pp 127-145.
10. DAVIES, W.J. – ZHANG, J. 1991. Root signals and the regulation of growth and Development of plants in drying soil. In: *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 1991, 42, pp 55-76.
11. DRÍMAL, M. – SLOTOVÁ, K. – BARTOVÁ, P. – ZÁVODKSKÝ, D. – HLŮŠKOVÁ, K. 2006. *Životné prostredie a zdravie I. ovzdušie a klíma*. 1. vyd. Banská Bystrica: Fakulta prírodných vied, 2006. s. 20-43. ISBN 80-8083-330.
12. Dýchanie [online] 2001, [cit. 2011- 04 - 06].  
Dostupné na internete  
<<http://www.zsholubyho.sk/biol%C3%B3gia/%C5%BEivo%C4%8D%C3%ADchy/prezent%C3%A1cie/d%C3%BDchanie%20a%20jeho%20funkcia.ppt#265,8>,  
Snímka 8>
13. ENOCH, H.Z. - OLESEN, J.M. 1993. Tansley Review No.54. Plant response to irrigation with water enriched with carbon dioxide. *New Phytol.*, 124 pp.
14. Fotosyntéza [online] 2011, [cit. 2011 – 04 - 06].  
Dostupné na internete  
<[http://www.ta3k.sk/bio/index.php?option=com\\_content&view=article&id=100:fotosynteza&catid=52:fyziologia-rastlin&Itemid=69](http://www.ta3k.sk/bio/index.php?option=com_content&view=article&id=100:fotosynteza&catid=52:fyziologia-rastlin&Itemid=69)>
15. GORE, A. 2000. *Země na misce vah*. Agro Praha, 2000. 347 s.
16. HOUGHTON, J. 1998. *Globální oteplování*. Akademie věd České republiky, Praha, 1998. s. 10-43. ISBN 80-200-0636-2.

17. KVASNIČKOVÁ, D. – MIKULOVÁ, V. – PLACHEJDOVÁ, E. – KALINA, V. – JEDLIČKA, L. – ALFÖDIOVÁ, A. – GUBOVÁ, D. 2002. Životné prostredie. 1vyd. Banská Bystrica: Slovenské pedagogické vydavateľstvo, 2002. s. 18-21. ISBN 80-08-03341-X.
- I 18. KVĚT, J. – NEČAS, J. – ONDOK, J.P. 1971. Metody růstové analýzy. Studijní informace, ÚVTI, Praha, 109 pp.
19. LANDSBERG, J. J - LINDER, S. – MCMURTIE, R. E, 1993. Global Change Impacts on Managed Forests - A Strategic Plan for Research on Managed Forest Ecosystems in a Globally Changing Environment. Summary from GCTE workshop, Seattle, April 1993.
20. LAPIN, M. – NIEPLOVÁ, E. – FAŠKO, P. 1995. Regionálne scenáre zmien teploty vzduchu a zrážok na Slovensku. In: Národný klimatický program SR. MŽP SR, SHMÚ, Bratislava, 3, s. 17-57.
21. LAPIN, M. – TOMLAIN, J. 2001. Všeobecná a regionálna klimatológia. Vydavateľstvo UK, Bratislava, 2001. 184 s.
22. LEGGETT, J. 1992. Nebezpečí oteplování Země. Vyd. Nakladatelství Academia ve spolupráci s ministerstvem životního prostředí České republiky: Praha, 1992. s. 22-244. ISBN 80-200-0452-1.
23. LITSCHMANN, T. - ROŽŇOVSKÝ, J. 1994. Klimatická změna a zemědělství: Sborník referátů, Brno, 1994. s. 8 - 10 . [ online]. 1994 [cit. 2011-04-05]. Dostupné na internete <<http://old.chmi.cz/meteo/CBKS/sbornik94/Novak1.pdf>>
24. LITSCHMANN, T. - ROŽŇOVSKÝ, J. 1994. Klimatická změna a zemědělství: Sborník referátů, Brno, 1994. s. 65-67. [ online]. 1994 [cit. 2011-04-05]. Dostupné na internete < <http://old.chmi.cz/meteo/CBKS/sbornik94/olsovska.pdf> >

25. LONG, S.P. - DRAKE, B.G. 1991. Effect of the long term elevation of CO<sub>2</sub> concentration in the field on the quantum yield of photosynthesis of the C<sub>3</sub> Sedge, *Scirpus olneyi*. *Plant Physiology*, 96, 1991, p. 221-226.
26. MAREČKOVÁ, K. 2000. Greenhouse Gases Emissions in Slovakia. 2 vyd. Bratislava: Ústav krajinej ekológie SAV, 2000. vol 34. [ online]. 2000 [cit. 2011-04-02]. Dostupné na internete  
< <http://www.uke.sav.sk/zp/2000/zp2/mareckov.htm> >
27. MINĎÁŠ, J. – ŠKVARENINA, J. 2000. Climate Change and Forest Ecosystems in Slovakia. *Životné prostredie* . 2 vyd. Bratislava: Ústav krajinej ekológie SAV, 2000. vol 34. [ online]. 2000 [cit. 2011 – 03 – 29]. Dostupné na internete  
< <http://www.uke.sav.sk/zp/2000/zp2/mindas.htm>>
28. MINĎÁŠ, J. - ŠKVARENINA, J. 1996a: Analýza zmien klimatických podmienok lesných spoločenstiev podľa scenárov GCMs. *Vedecké práce LVU Zvolen*, 1996. 41, p. 9-14.
29. MINĎÁŠ, J. - ŠKVARENINA, J. 1996b. Possible Impacts of Climate Change and Preparation of the Adaptation Strategy for Slovak Forests. U. S. Country Study Programme. Zvolen, 1996. 36 p.
30. OLŠOVSKÁ, K. – BRESTIČ, M. 2001. Function of hydraulic and chemical water Stress signalization in evaluation of drought resistance of juvenile plants. In: *Journal of Central European Agriculture*, 2001, 2.
31. REDDY, K.R. – HGODGES, H.F. 2000. Climate change and productivity. CABI Publishing, CAB International, 2000, 488 pp. ISBN 0-85199-439-3.
32. REYFSNYDER, W.E. 1989. A tale of ten fallacies: The skeptical enquirers view of the carbon dioxide, climate controversy. *Agric. and Forest Meteorol.*, 47, pp 349-371.

33. SHARKEY, T.D. 1985. Photosynthesis in intact leaves of C<sub>3</sub> plants: physics, physiology and rate limitations. *Bot. Rev.* 51, pp 53-105.
34. SHUGART, H. H. - NOBLE, I.R. 1981. A computer model of succession and fire response of the high-altitude Eucalyptus forest of the Brindabella Range, Australian Capital Territory. *Australian. J. Ecology*, 6, 1981. pp 149-164.
35. SHUGART, H. H. 1984. A Theory of Forest Dynamics. Springer-Verlag New York, 1984. 278 pp.
36. ŠPÁNIK, F. 1993. Vplyv klimatických zmien na poľnohospodárstvo. *Meteorolog. správy*, 46, s. 121-123.
37. WOODWARD, F.I. - THOMPSON, G.B. - McKEE, I.F. 1991. The effect of elevated concentrations of carbon dioxide on individual plants, population communities and ecosystems. *Annals of Botany*, 61 (Supl.), 1991, p. 23-38.
38. ŠUTA, M. 2009. Klimatické zmeny: Fakta bez mytů. [online]. 2009 [cit. 2011- 05 - 04]. Dostupné na internete <<http://suta.blog.respekt.ihned.cz/c1-45972860-klimaticke-zmeny-fakta-bez-mytu>>