

# Transpirace u rostlin

Jak ji ovlivňuje proudění vzduchu?

## Obsah

Úvod .....	2	Příprava úlohy (praktická příprava) .....	8
Cíle .....	2	Postup práce .....	9
Teoretický úvod .....	3	Nastavení HW a SW .....	9
Motivace studentů .....	4	Příprava měření .....	9
Doporučený postup .....	5	Vlastní měření (záznam dat) .....	10
Příprava úlohy .....	5	Analýza naměřených dat .....	10
Materiály pro studenty .....	5	Pracovní list učitele .....	11
Záznam dat .....	5	Slovníček pojmů .....	11
Analýza dat .....	5	Teoretická příprava úlohy .....	12
Syntéza a závěr .....	5	Vizualizace naměřených dat .....	12
Hodnocení .....	6	Vyhodnocení naměřených dat .....	13
Internetové odkazy .....	6	Závěr .....	14
Pracovní návod .....	7	Pracovní list studenta .....	15
Zadání úlohy .....	7	Slovníček pojmů .....	15
Pomůcky .....	7	Teoretická příprava úlohy .....	16
Bezpečnost práce .....	8	Vizualizace naměřených dat .....	16
Teoretický úvod .....	8	Vyhodnocení naměřených dat .....	16
		Závěr .....	18

### Zařazení do výuky

Práci je vhodné zařadit po probírání „Vodního režimu rostlin“, kdy jsou již studenti obeznámeni s procesy příjmu, vedení a výdeje vody rostlinou.

### Časová náročnost

Příprava cca **10 min**,  
vlastní měření cca **45 min**.

## Úvod

Účelem měření je zjistit, jak se u rostlin mění rychlost transpirace za normálních podmínek v porovnání s rychlostí transpirace za větrného dne (zvýšené proudění vzduchu).

## Cíle

Studenti by měli zvládnout:

- využít barometr pro měření změn tlaku v hadičce spojující čidlo se stonkem rostliny,
- změřit intenzitu transpirace v závislosti na proudění vzduchu,
- k hodnocení intenzity transpirace využít měření změn barometrického tlaku za jednotku času.

## Teoretický úvod

Transpirace je **hlavním mechanismem výdeje vody rostlinou**. Z hlediska životní strategie rostlin se jedná o proces, který do značné míry souvisí s nutností přijímat  $\text{CO}_2$  z atmosféry do intercelulárních prostor fotosyntetických pletiv. Protože je voda velmi často limitujícím faktorem růstu rostlin, musely si tyto v průběhu evoluce vyvinout mechanismy optimalizující tyto dva toky látek. Jedná se zejména o řízenou regulaci otevíráním nebo uzavíráním průduchů, související jak s procesy fotosyntézy, tak s aktuální nasyceností rostliny vodou.

Nižší rostliny přijímají vodu celým povrchem těla, vyšší k tomu využívají kořen – hlavně jeho absorpční zónu s kořenovými vlásky. K vlastnímu příjmu používají dvě cesty:

- **apoplastickou** (pasivně) – využívají se volné mezibuněčné prostory, rostlina nespotřebává energii, rychlejší,
- **symplastickou** (aktivně) – transport z buňky do buňky přes membrány a cytoplazmu, spotřebává energii a je pomalejší. Probíhá většinou u klíčících semen a u rostlin bez listů.

Aby se přijatá voda dostala do celého těla, vyvinul se systém cévních svazků. Rozvod vody a v ní rozpuštěných minerálů z kořene zajišťuje tzv. transpirační proud, který je umožněn:

- **transpirací** – výdej vody z nadzemních částí rostliny (hlavně z listů) způsobuje podtlak a nasává tím vodu směrem vzhůru,
- **kohezí** – soudržnost vodního sloupce (zákon spojených nádob),
- **kapilaritou** – vztlínání vody v úzkých trubicích cévních svazků (cévy a cévice),
- **adhezí** – přilnavost vody ke stěnám cév,
- **kořenovým vztlakem** – výsledek aktivity buněk kořenových pletiv vytlačujících vodu z kořene do nadzemních orgánů.

### Slovníček pojmů

KOHEZE

ADHEZE

KAPILARITA

KOŘENOVÝ VZTLAK

Viz pracovní list (učitel).

### Přehled pomůcek

- Pasport Xplorer GLX nebo počítač s USB portem a PASPORT USB Link
- Barometer senzor (PS-2113A)
- prodlužování kabel (PS-2500)
- PVC hadička s koncovkou k uchycení na barometr
- ventilátor
- voda
- plastelína
- laboratorní stojan nebo fotografický stativ
- nůž nebo žiletka
- skleněná miska
- rostlinný materiál – vhodný je zimolez, sazenice fazolí, rajčat nebo drobnější pokojové rostliny (např. voděnka) s délkou stonku 10–15 cm
- *pracovní návod*
- *pracovní list*
- *ochranné pracovní pomůcky*

Způsoby výdeje vody rostlinou:

- **transpirace** – odpařování vody z nadzemních orgánů, buď přes kutikulu (kutikulární transpirace) nebo přes průduchy (stomatární transpirace regulovaná uzavíráním a otevíráním průduchů). Jde o pasivní děj, který nevyžaduje energii.
- **gutace** – vytlačování vody v kapalném stavu (ve formě kapek) přes hydatomy – průduchy na okraji listů, které ztratily schopnost se zavírat. K té dochází při velké vzdušné vlhkosti, kdy transpirace nemůže probíhat. Aktivní děj, vyžadující energii.

Faktory ovlivňující výdej vody:

- **obsah vody v rostlině** – při přebytku se průduchy otevírají a transpirace je intenzivnější,
- **stav listů** a průduchů na nich (jejich počet a umístění),
- **teplota vzduchu** – rostoucí teplota zvyšuje transpiraci, ale po dosažení určité teplotní úrovně se průduchy uzavřou,
- **vzdušná vlhkost** – rostoucí vlhkost snižuje transpiraci,
- **intenzita světla** – zvyšuje transpiraci,
- **proudění vzduchu** – zvyšuje transpiraci.

Množství vody potřebné pro růst rostliny je zanedbatelné ve srovnání s množstvím, které se uvolní do okolí díky transpiraci a gutaci. Je-li výpar vody z listů větší než množství vody nasávané kořeny, pak rostliny vadnou a umírají.

## Motivace studentů

Před vlastní prací pohovoříme se studenty o významu rostlin pro koloběh vody v přírodě. Použijeme návodných otázek, např.: Jaké nebezpečí spočívá v kácení deštných pralesů? Proč na pouštích většinou neprší?

## Doporučený postup

1. Vzhledem k poměrně náročné přípravě, doporučujeme práci ve dvojicích.
2. Každá pracovní skupina obdrží „pracovní návod“ a každý student dostane „pracovní list“.
3. Studenti si nejprve přečtou návod a teprve pak začnou s přípravou vlastního experimentu.

### Příprava úlohy

Kromě uvedených pomůcek je před vlastním měřením nutné nahrát soubor „transpiration.glx“ do Xploreru GLX.

### Materiály pro studenty

Studenti dostanou „pracovní návod“ a „pracovní list“.

„Pracovní návod“ postupně provede studenty přípravou a řešením celé laboratorní úlohy.

Do „pracovního listu“ zaznamenají naměřená data, provedou jejich analýzu a potvrdí nebo vyvrátí v úvodu práce zformulované hypotézy.

### Záznam dat

Postup měření najdou studenti v „pracovním návodu“ a místo pro zaznamenání dat v „pracovním listu“.

### Analýza dat

- Studenti si přečtou postup práce v „pracovním návodu“ a pokusí se zodpovědět v úvodu zadané otázky.
- Správnost svých odpovědí následně ověří měřením.
- V závěru vyhodnotí naměřené veličiny a potvrdí nebo vyvrátí správnost odpovědí na otázky z úvodu práce.

### Syntéza a závěr

Poté, co studenti vyplní své „pracovní listy“, společně vyhodnotíme výsledky měření a můžeme diskutovat nad možnými odchylkami v intenzitě transpirace.



#### Rozšiřující úloha

##### Srovnání podílu svrchní a spodní strany listů na transpiraci

Po provedení prvního měření natřeme spodní strany listů zkoumané rostliny mastným kosmetickým krémem (např. Indulona). Tím zabráníme transpiraci na spodní straně listů. Provedeme opakované měření (opět 10 minut v bezvětří a 10 minut v proudícím vzduchu). Naměřené hodnoty nám udávají intenzitu transpirace horní stranou listů. Rozdíl hodnot 1. a 2. měření (hPa/min) nám pak udává intenzitu transpirace spodní stranou listů.

V závěru vyhodnotíme, která část listu se na transpiraci podílí větší měrou a vysvětlíme proč.



#### Tip

*Pokud je k dispozici mikroskop, je možné práci doplnit např. o pozorování tvaru a umístění průduchů na listech jednoděložných a dvouděložných rostlin.*

## Hodnocení

- Postupovali studenti korektně podle „pracovního návodu“?
- Vyhodnotili správně svá měření?
- Zodpověděli všechny v závěru protokolu položené otázky?

## Internetové odkazy

### Průduch

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Průduch>

### Transpirace

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Transpirace>

[http://www.sci.muni.cz/~fyzrost/stanoveni\\_transpirace.htm](http://www.sci.muni.cz/~fyzrost/stanoveni_transpirace.htm)

### Gutace

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Gutace>



### Pasco zdroje

Na stránkách [www.pasco.com](http://www.pasco.com) a [www.pasco.cz](http://www.pasco.cz) naleznete řadu dalších zdrojů.

**BIOLOGIE**

laboratorní cvičení č. 1

**1**

• BIOLOGIE

**Transpirace u rostlin (návod)****Zadání úlohy**

Zjistěte, jak se u rostlin mění intenzita transpirace ve větrném dni v porovnání s intenzitou transpirace za normálních podmínek.

Měřit budete změny barometrického tlaku způsobené transpirací – odpařováním vody z povrchu listů rostliny. Následně použijete ventilátor pro simulaci větrného dne a opět změříte změny tlaku.

**Pomůcky**

- Pasport Xplorer GLX nebo počítač s USB portem a PASPORT USB Link
- Barometer senzor (PS-2113A)
- prodlužování kabel (PS-2500)
- PVC hadička s koncovkou k uchycení na barometr
- ventilátor
- voda
- plastelína
- laboratorní stojan nebo fotografický stativ
- nůž nebo žiletka
- skleněná miska
- rostlinný materiál – vhodný je zimolez, sazenice fazolí, rajčat nebo drobnější pokojové rostliny (např. voděnka) s délkou stonku 10–15 cm.
- *pracovní návod*
- *pracovní list*
- *ochranné pracovní pomůcky*

PRACOVNÍ NÁVOD



## Bezpečnost práce

*Pracujte pečlivě a v souladu s pracovním návodem. Při přípravě rostlinného materiálu pracujte opatrně, abyste se nepořezali při úpravě stonku rostliny! Při práci budete používat elektrický ventilátor. Je třeba dbát na dodržování pravidel práce s elektrickými spotřebiči. Rovněž hrozí nebezpečí zachycení vlasů ventilátorem. V laboratoři použijte laboratorní plášť a případně další pomůcky v souladu se správnou laboratorní praxí.*

## Teoretický úvod

Transpirace je **hlavním mechanismem výdeje vody rostlinou**. Z hlediska životní strategie rostlin se jedná o proces, který do značné míry souvisí s nutností přijímat CO<sub>2</sub> z atmosféry do intercelulárních prostor fotoasimilačních pletiv.

Způsoby výdeje vody rostlinou:

- **transpirace** – odpařování vody z nadzemních orgánů, buď přes kutikulu (kutikulární transpirace) nebo přes průduchy (transpirace regulovaná uzavíráním a otevíráním průduchů). Jde o pasivní děj, který nevyžaduje energii.
- **gutace** – vytlačování vody v kapalném stavu (ve formě kapek) přes hydatomy – průduchy na okraji listů, které ztratily schopnost se zavírat. K té dochází při velké vzdušné vlhkosti, kdy transpirace nemůže probíhat. Aktivní děj, vyžadující energii.

Množství vody potřebné pro růst rostliny je zanedbatelné ve srovnání s množstvím, které se uvolní do okolí díky transpiraci a gutaci. Je-li výpar vody z listů větší než množství vody nasávané kořeny, pak rostliny vadnou a umírají.

## Příprava úlohy (praktická příprava)

Nejprve zodpovíme úvodní motivační otázky, pak teprve začneme s vlastním měřením.



## Postup práce

### Nastavení HW a SW

1. Připojte prodlužovací kabel do portu na horní straně Xplorer GLX. Připojte druhý konec kabelu do barometru senzoru.
  - V grafu na obrazovce se automaticky otevírají barometrický tlak (v Hg) a čas (s).
2. Otevřete GLX instalační soubor označený „**transpiration.glx**“. Tento soubor nastaví nahrávání dat rychlostí 1 měření za sekundu a tlak se bude zobrazovat v hektopascalech (hPa).
  - Čidlo barometru je odolné, ale je určeno pro použití s nekorozyvními plyny, jako je vzduch, helium, dusík, atd. **Chraňte senzor před vlhkostí!**
3. Umístěte senzor na laboratorní stojan nebo použijte stativ.



Senzor umístěný na laboratorním stojanu (nahore) nebo na stativu (vpravo).



### Příprava měření

1. Pomocí nože nebo žiletky odřízněte stoněk pokusné rostliny asi 2–3 cm nad úrovní půdy a ihned jej ponořte seříznutým koncem do misky s vodou.
2. Pod vodou nyní seřízněte konec stonku pod úhlem 45°.
3. Asi 4 cm od konce řezu umístěte na stoněk rostliny vrstvičku plastelíny.
4. Plastovou hadičku s koncovkou pro připojení k barometru ohněte do tvaru písmene U a pomocí pipety nebo kapátka ji naplňte vodou.
5. Nad miskou s vodou pomalu zvedněte konec hadičky s koncovkou pro senzor, až se pod ní vytvoří asi 2 až 3 cm dlouhá vzduchová mezera. (Přebytečná voda odtéče z druhé strany do misky.)

6. Palcem ucpěte volný konec hadičky ponořte ji do misky s vodou (zde již máme seříznutou rostlinku). Hadičku uvolněte a vložte stonk rostliny. Vyhněte se vytvoření vzduchové bubliny v hadičce.
7. Pomocí plastelíny pečlivě utěsněte prostor mezi vloženým stonkem a hadičkou.  
UPOZORNĚNÍ: Pokud se do hadičky dostane vzduch, stonk vyjměte, doplňte hadičku vodou a zopakujte kroky 7–9.
8. Uchyťte do stojanu rostlinku s hadičkou tak, aby rostlina byla ve svislé poloze.
9. Připojte druhou stranu hadičky koncovkou na barometr a seřídte polohu barometru tak, aby mezi senzorem a hladinou vody byla vzduchová kapsa 2–3 cm. Tím se zabrání, aby voda pronikla do čidla.



Utěsnění rostliny pomocí plastelíny  
(viz Příprava měření, bod 7)



Připojení hadičky k barometru  
(viz Příprava měření, bod 9)

### Vlastní měření (záznam dat)

1. Stiskněte tlačítko **START** (▶) na GLX a začněte měřit pokles tlaku v trubičce připojené k barometru.
2. Měřte 10 minut.
3. Po deseti minutách si připravte ventilátor. Umístěte jej asi jeden metr od zkoumané rostliny a pokud má regulaci otáček, zapněte nejmenší rychlost.
4. Zapamatujte si výchozí čas spuštění ventilátoru a pokračujte v měření ještě dalších 10 minut.
5. Po uvedené době měření zastavte a z grafu pomocí nástroje „Delta Tool“ analyzujte data z měření. K nástrojům se dostanete po stisknutí klávesy F3 (⌨)!

### Analýza naměřených dat

1. Naměřené hodnoty zaznamenejte do tabulky ve svém „pracovním listu“.
2. Zakreslete do grafu křivku měnícího se barometrického tlaku v proudícím vzduchu.
3. Zodpovězte otázky v závěru „pracovního listu“.

## BIOLOGIE

1

• BIOLOGIE

laboratorní cvičení č. 1

## Transpirace u rostlin pracovní list (učitel)

### Slovníček pojmů

Pokuste se vysvětlit následující pojmy, které jsou součástí procesů umožňujících transpiraci:



**Koheze:**

*soudržnost molekul vody*

**Adheze:**

*obecně přilnavost, jedná se o schopnost molekul vody přilnout ke stěnám cév.*

**Kapilarita:**

*označuje skupinu fyzikálních jevů (tzv. kapilární jevy), které jsou úzce spojeny s existencí povrchového napětí kapaliny. Kapilární jevy jsou pozorovány především v úzkých trubicích, tzv. kapilárách. Jako kapilarita bývá také označována vztlakovost, tedy schopnost vést kapalinu vzhůru (proti směru gravitačních sil) působením kapilárních sil.*

**Kořenový vztlak:**

*mechanismus založený na aktivním příjmu  $H_2O$  kořeny s následným vytlačení  $H_2O$  dřevními cévami do vyšších pater rostliny.*

PRACOVNÍ LIST (UČITEL)

## **Teoretická příprava úlohy**

Měřit budete změny barometrického tlaku způsobené transpirací – odpařováním vody z povrchu listů rostliny. Následně použijete ventilátor pro simulaci větrného dne a opět změříte změny tlaku.

Než se pustíte do práce, zodpovězte následující otázky:

1. Jak se bude měnit barometrický tlak v průběhu 10 minut sledování transpirace?
2. Jaká bude intenzita transpirace za větrného dne (na rostlinu fouká ventilátor) v porovnání s intenzitou transpirace za normálních podmínek?
3. Mohou další faktory, jako je intenzita světla, vlhkost a teplota okolí měnit rychlost transpirace?

*Odpovědi se budou lišit v závislosti na znalostech studentů. Mnozí studenti mohou správně předvídat, že tlak následkem transpirace klesne. Dá se předvídat, že rychlost transpirace bude v proudícím vzduchu větší než při bezvětří. Lze též odhadnout, že vysoká vlhkost vzduchu bude intenzitu transpirace snižovat a naopak vyšší teplota nebo intenzita světla rychlost transpirace zvýší.*

## **Vizualizace naměřených dat**

Zaznamenejte všechny naměřené údaje do tabulky a grafu.

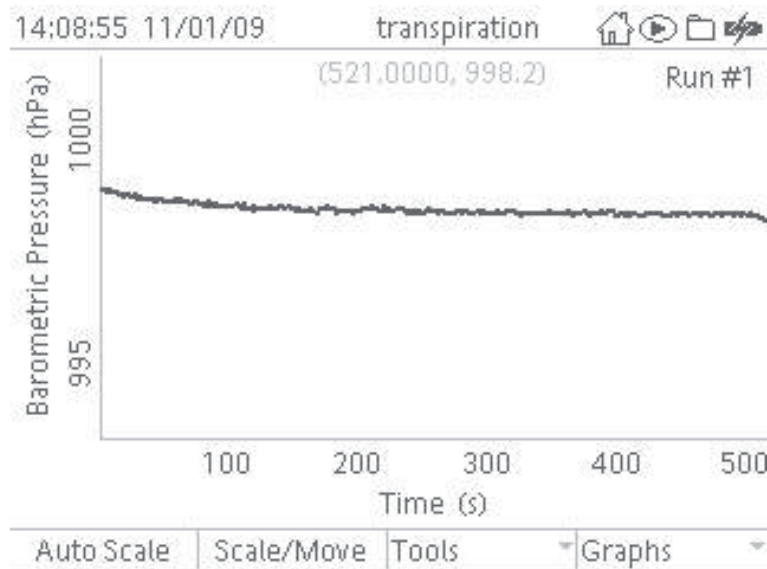
## Vyhodnocení naměřených dat

1. Naměřené hodnoty doplňte do následující tabulky:

Transpirace	P [hPa]	t [s]	Intenzita transpirace [hPa/min]
Bez ventilátoru	- 0,8	516	- 0,09
S ventilátorem	- 8,8	600	- 0,88 *

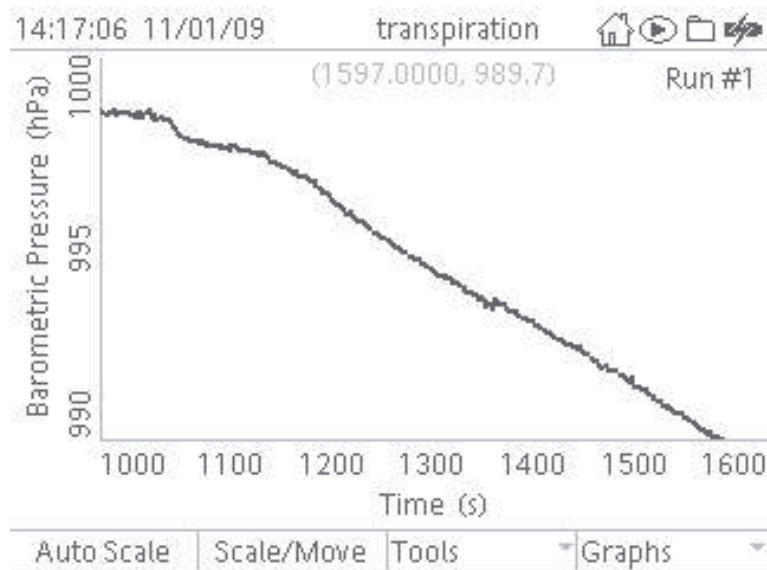
\* Hodnoty se mohou lišit podle rychlosti proudění vzduchu.

2. Graf změny barometrického tlaku v závislosti na čase (bez použití ventilátoru).



*Ukázka možného průběhu grafu při měření v bezvětří*

3. Graf změny barometrického tlaku v závislosti na čase (při použití ventilátoru).



*Ukázka možného průběhu grafu*

## Závěr

1. Jak se změnil tlak v plastové trubičce? Jak změna tlaku v trubičce souvisí se snížením nebo zvýšením ztrát vody prostřednictvím průduchů? Vysvětlete.

*Tlak se sníží, ale rychlost změny tlaku bude ovlivněna druhem použité rostliny a velikostí její listové plochy. Pokles tlaku uvnitř trubice odpovídá nárůstu ztráty vody prostřednictvím průduchů. Objem vody v trubičce klesá. Vzduchová kapsa se rozšíří a zaplní uvolněné místo po odparu vody, a tím se tlak vzduchu bude snižovat. Intenzita transpirace je úměrná poklesu tlaku.*

2. Vysvětlete, jak ovlivňuje transpiraci ventilátor. Jaký přírodní jev má ventilátor napodobit?

*Ventilátor simuluje působení větru v přírodě. Zvýšené proudění vzduchu kolem listů vyvolá rychlejší odpařování molekul vody z listů, tedy zvýšení intenzity transpirace.*

3. Popište, jak jsou rostliny přizpůsobeny, aby minimalizovaly ztrátu vody z listů.

*Jedná se o snížení počtu průduchů nebo zmenšení listové plochy. Časté je též zesílení kutikuly, množství krycích chlupů (trichomů) na listech či zanoření průduchů. Tyto modifikace omezí pohyb vzduchu kolem průduchů a sníží transpiraci.*

## Pracovní list studenta

skupina:.....

jméno:..... třída:..... datum:.....

### Slovníček pojmů

S využitím dostupných zdrojů vysvětlete následující pojmy:

**Koheze:**

**Adheze:**

**Kapilarita:**

**Kořenový vztlak:**

## Teoretická příprava úlohy

Měřit budete změny barometrického tlaku způsobené transpirací – odpařováním vody z povrchu listů rostliny. Následně použijete ventilátor pro simulaci větrného dne a opět změříte změny tlaku.

Než se pustíte do práce, zodpovězte následující otázky:

1. Jak se bude měnit barometrický tlak v průběhu 10 minut sledování transpirace?

2. Jaká bude intenzita transpirace za větrného dne (na rostlinu fouká ventilátor) v porovnání s intenzitou transpirace za normálních podmínek?

3. Mohou další faktory, jako je intenzita světla, vlhkost a teplota okolí měnit rychlost transpirace?

## Vizualizace naměřených dat

Zaznamenejte všechny naměřené údaje do tabulky a grafu.

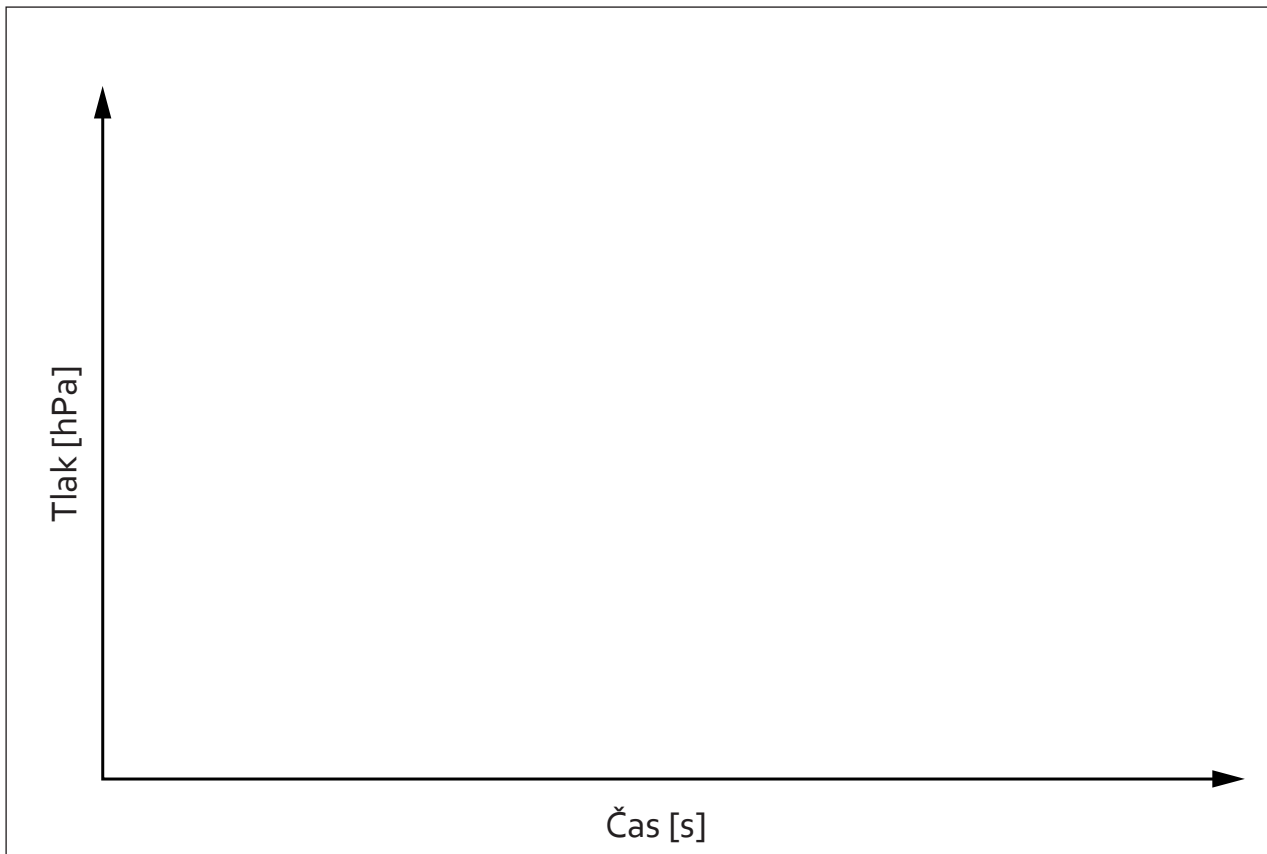
## Vyhodnocení naměřených dat

1. Naměřené hodnoty doplňte do následující tabulky:

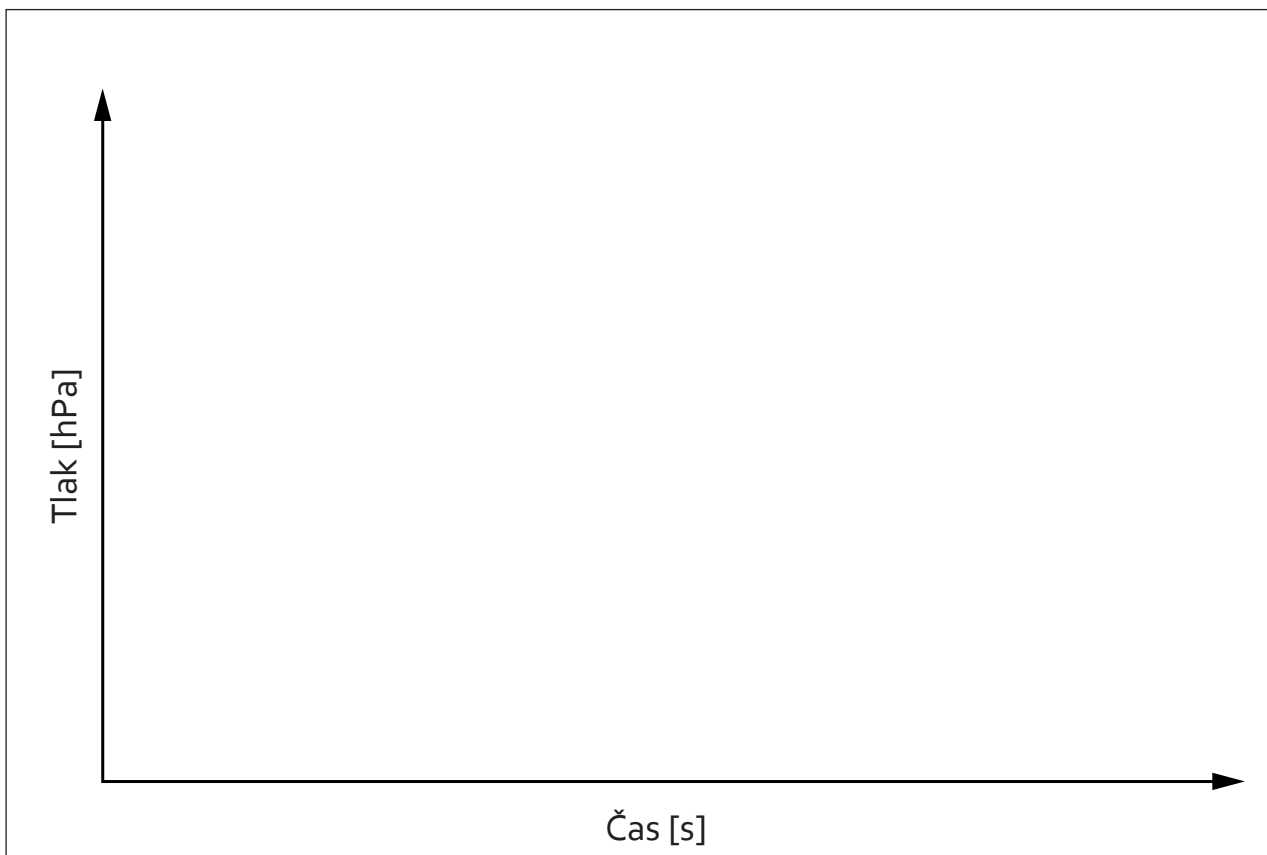
Transpirace	P [hPa]	t [s]	Intenzita transpirace [hPa/min]
Bez ventilátoru			
S ventilátorem			



2. Graf změny barometrického tlaku v závislosti na čase (bez použití ventilátoru).



3. Graf změny barometrického tlaku v závislosti na čase (při použití ventilátoru).



## Závěr

1. Jak se změnil tlak v plastové trubičce? Jak změna tlaku v trubičce souvisí se snížením nebo zvýšením ztrát vody prostřednictvím průduchů? Vysvětlete.

2. Vysvětlete, jak ovlivňuje transpiraci ventilátor. Jaký přírodní jev má ventilátor napodobit?

3. Popište, jak jsou rostliny přizpůsobeny, aby minimalizovaly ztrátu vody z listů.