

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**ZÍSKÁVÁNÍ VODY Z
ATMOSFÉRICKÉHO VZDUCHU**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

ŠTĚPÁN VACEK

6 – TZSI – 2022



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vacek** Jméno: **Štěpán** Osobní číslo: **492665**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
Studijní program: **Teoretický základ strojího inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Získávání vody z atmosférického vzduchu

Název bakalářské práce anglicky:

Extraction of Water from Atmospheric Air

Pokyny pro vypracování:

Ve své práci se zabývejte známými principy pro získávání vody ze vzduchu. Provedte rešerši dostupných zdrojů a zaměřte se na funkční zařízení pro získávání vody ze vzduchu. S použitím psychrometrických výpočtů a dostupných klimatických databází stanovte potenciál kondenzačního principu v různých částech světa (vč. Prahy). Zaměřte se na nejušší místa na zeměkouli. Výsledky porovnejte a diskutujte.

Seznam doporučené literatury:

DRKAL, F., ZMRHAL, V. Větrání. 2. vyd. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT. ČVUT v Praze 2017. 157 s. ISBN 978-80-01-05181-8
ZMRHAL, V. Porovnání spotřeby energie vodních klimatizačních systémů. In: Vytápění, větrání, instalace. 2010, roč. 19, č. 2. ISSN 1210-1389.
MATUŠKA T., ZMRHAL V., ŠOUREK B. Autonomní zařízení pro získávání vody ze vzduchu Část 1: Návrh a testování sorpční jednotky. In: Vytápění, větrání, instalace. 2021, roč. 30, č. 3. ISSN 1210-1389.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D. ústav techniky prostředí FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **29.04.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **29.06.2022**

Platnost zadání bakalářské práce:

doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

29.4. 2022

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Souhrn:

Bakalářská práce se zabývá známými principy získávání atmosférické vody ze vzduchu, včetně existujících zařízení, které tyto principy využívají. Shrnuje základní teorii vlhkého vzduchu a psychrometrických rovnic. Dále práce porovnává potenciál kondenzačního principu získávání vody z atmosférického vzduchu v různých oblastech světa.

Summary:

The bachelor thesis deals with the known principles of extracting atmospheric water from the air, including existing facilities that use these principles. Summarizes the basic theory of humid air and psychrometric equations. Furthermore, the work compares the potential of the condensation principle of obtaining water from atmospheric air in different parts of the world.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: Získávání vody z atmosférického vzduchu vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Vladimíra Zmrhala Ph.D. s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze:

Štěpán Vacek

Obsah

Soupis použitého značení	7
Úvod	9
1. Koloběh vody v přírodě	10
2. Vlhký vzduch	11
2.1 Vodní pára obsažená ve vzduchu	11
2.2 Základní vztahy pro vlhký vzduch	12
2.3 Teplota vzduchu	15
3. Způsoby získávání vody z atmosférického vzduchu	16
3.1 Sběr dešťové vody	16
3.1.1 Rozšíření technologie pro sběr dešťové vody	17
3.1.2 Pozitiva a negativa sbírání dešťové vody	18
3.2 Sběr atmosférické mlhy	18
3.2.1 Sběr mlhy tradičním způsobem	18
3.2.2 Sběr mlhové vody inspirovaný biomimikry	21
3.2.3 Výhody a nevýhody technologie sklizení mlhy	23
3.3 Sběr kondenzátu	24
3.3.1 Sběr vody pomocí sálavého chladicího kondenzátoru (pasivní systémy)	24
3.3.2 Solárně regenerované vysoušedlo (pasivní systémy)	26
3.3.3 Získávání vody ze vzduchu pomocí aktivního chlazení	29
3.3.4 Koncepce a vývoj prototypů chladicí kondenzační technologie	30
4. Praktická část	32
4.1 Klimatické podmínky	32
4.2 Kondenzační zařízení	36
4.3 Chlazení venkovního vzduchu	37
4.4 Hmotnostní tok zkondenzované vodní páry	38
4.5 Produkce vody	39

4.6 Potřeba chladu	40
4.7 Spotřeba Elektrické energie na chlazení	43
Závěr.....	46
Seznam literatury	48
Seznam příloh	52

Soupis použitého značení

Označení	Popis	Jednotka
a_{ABS}	Absolutní vlhkost vzduchu	[g/m ³]
EER	Koeficient energetické účinnosti chlazení	[-]
I	Intenzita slunečního záření	[W/m ²]
\dot{M}_V	Hmotnostní tok zkondenzované vodní páry	[g/h]
\dot{P}	Příkon chladiče	[kW]
Q_{el}	Elektrická energie	[kWh]
Q_{ch}	Chladicí energie	[kWh]
\dot{Q}_{ch}	Výkon chladiče	[kW]
T	Termodynamická teplota	[K]
V	Objem vlhkého vzduchu	[m ³]
V_A	Objem suchého vzduchu	[m ³]
V_V	Objem vodní páry	[m ³]
\dot{V}	Objemový průtok	[m ³ /h]
c	Měrná tepelná kapacita vlhkého vzduchu	[J/kg.K]
c_A	Měrná tepelná kapacita suchého vzduchu	[J/kg.K]
c_V	Měrná tepelná kapacita vodní páry	[J/kg.K]
h	Entalpie vlhkého vzduchu	[J/kg]
h_e	Entalpie venkovního vzduchu	[J/kg]
h_{ch}	Entalpie na povrchu chladiče	[J/kg]
h_{pe}	Entalpie přiváděného vzduchu	[J/kg]
l_0	Výparné teplo	[J/kg]
p	Celkový tlak	[Pa]
p_A	Parciální tlak suchého vzduchu	[Pa]

p_V	Parciální tlak vodní páry	[Pa]
p_V''	Parciální tlak syté vodní páry ve vzduchu	[Pa]
r	Měrná plynová konstanta pro vlhký vzduch	[J/kg.K]
r_A	Měrná plynová konstanta suchého vzduchu	[J/kg.K]
r_V	Měrná plynová konstanta vodní páry	[J/kg.K]
t	Teplota	[°C]
t_e	Teplota venkovního vzduchu	[°C]
t_{ch}	Povrchová teplota chladiče	[°C]
t_{pe}	Teplota přiváděného vzduchu	[°C]
x	Měrná vlhkost	[g/kg _{s.v.}]
x_e	Měrná vlhkost venkovního vzduchu	[g/kg _{s.v.}]
x_{ch}	Měrná vlhkost na povrchu chladiče	[g/kg _{s.v.}]
x_{pe}	Měrná vlhkost přiváděného vzduchu	[g/kg _{s.v.}]
Δh_{ch}	Rozdíl entalpie venkovního vzduchu a povrchu chladiče	[J/kg]
Δh_{pe}	Rozdíl entalpie venkovního vzduchu a přiváděného vzduchu	[J/kg]
Δt_{ch}	Rozdíl venkovní teploty a povrchové teploty chladiče	[K]
Δt_{pe}	Rozdíl venkovní teploty a teploty přiváděného vzduchu	[K]
Δx_{ch}	Rozdíl měrné vlhkosti venkovního vzduchu a chladiče	[g/kg _{s.v.}]
Δx_{pe}	Rozdíl měrné vlhkosti venkovního vzduchu a přiváděného vzduchu	[g/kg _{s.v.}]
ε	Emisivita povrchu tělesa	[-]
ϑ	Faktor citelného tepla	[-]
ρ	Hustota vlhkého vzduchu	[g/m ³]
ρ_A	Hustota suchého vzduchu	[g/m ³]
ρ_V	koncentrace vodní páry ve vzduchu	[g/m ³]
σ	Stefan-Boltzmanova konstanta	[W/m ² .K ⁴]
φ	Relativní vlhkost vzduchu	[%]

Úvod

Voda je základ života. Na celém světě jsou miliardy lidí, kteří nemají dostatečný přístup k vodě. Mnoho z těch, co k ní přístup mají, nemají přístup k hygienicky čisté vodě, což způsobuje onemocnění a dokonce i smrt. Problémem není pouze nedostatek pitné vody, ale nedostatek vody celkově. Velká část vody se celosvětově využívá v zemědělství.

Celosvětově se k získávání vody používá mnoho metod, jako odsolování vody nebo sběr podzemní vody. Je zřejmé, že pro tyto metody je potřeba, aby byla k dispozici kapalná voda. Ta ovšem v některých oblastech není k dispozici. Voda je všude kolem nás, obsažena jako vodní pára ve vzduchu. Čím je teplota vzduchu vyšší, tím více vodní páry je vzduch schopen pojmout.

Cílem práce je shrnout existující způsoby získávání vody z atmosférického vzduchu a zjistit potenciál kondenzačního principu v různých oblastech světa.

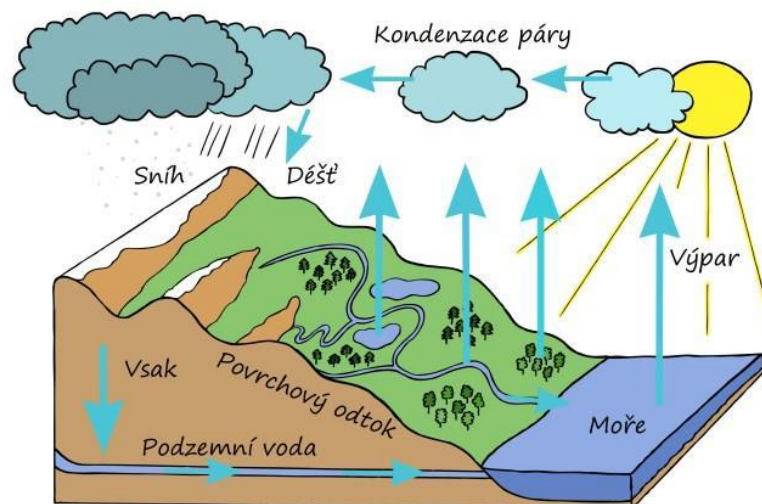
První kapitola se zabývá Vodou v přírodě, jejím koloběhem a rozložením na zemi. Druhá kapitola je zaměřena na vlhký vzduch, základní teorii vlhkého vzduchu a výpočty jednotlivých veličin které ovlivňují vlastnosti vlhkého vzduchu a tím i možnost jeho získávání. Ve třetí kapitole jsou shrnuté základní principy získávání vody ze vzduchu a některé zařízení, které tyto metody využívají. V praktické části je proveden výpočet potenciálu získávání vody ze vzduchu s využitím kondenzačního zařízení a je porovnána v 10 různých oblastech. Pomocí výsledků simulace zjistíme, zda může způsob kondenzace vody pomoci v suchých oblastech kde je velký nedostatek vody.

1. Koloběh vody v přírodě

Hydrologický cyklus je přirozený koloběh vody zajišťující stálý oběh povrchových a podzemních vod na planetě. Hlavní silou, která pohání tento cyklus je sluneční energie, rotace země a vliv gravitační síly. Cirkulaci vody přirozeně doprovází změna jejího skupenství a je závislá na klimatu a počasí dané oblasti. [1]

Hydrologický cyklus můžeme rozdělit do těchto základních fází: Vypařování, kondenzace, srážení, déšť a tok vody. Při vypařování se působením sluneční energie přeměňuje voda na vodní páru. V určité výšce nad zemí, při podkročení rosného bodu vzduchu voda začne kondenzovat a shlukovat se, čímž vytvoří mraky. Následně voda ve formě srážek spadne zpět na povrch země, kde se dostává do povrchových a podzemních vod a uzavírá tento cyklus. [1]

Voda se na zemi z 96,7 % nachází v oceánech a cca 80 % všech srážek spadá právě do nich. Zbylých 3,3 % světové vody je voda sladká. Z toho 75 % jsou ledovce, 24 % podzemní vody, 0,32 % jezera a řeky, 0,005 % je voda půdní a v atmosféře je 0,04 %. [2]



Obrázek 1 Koloběh vody v přírodě [3]

2. Vlhký vzduch

Atmosférický vzduch kolem nás považujeme za vlhký vzduch, který je směsí vzduchu suchého a vodní páry. Množství vodní páry, která se nachází ve vzduchu je závislé na teplotě vzduchu. Když je množství vodní páry obsažené ve vzduchu maximální, jedná se o stav nasycení s relativní vlhkostí vzduchu $\varphi = 1$. Pokud množství vlhkosti přesáhne množství, které odpovídá tomuto stavu, vznikne vzduch přesycený, nebo-li mlhový. [4]

Vlhký vzduch můžeme rozdělit na:

- Nenasycený vlhkostí – s vodní párou
- Nasycený vlhkostí – se sytou vodní párou
- Přesycený vlhký vzduch – se sytou vodní párou a k tomu:
 - Pro $t > 0$ °C obsahuje vodní mlhu ve formě kapiček,
 - Pro $t < 0$ °C obsahuje ledovou mlhu ve formě krystalů,
 - Pro $t = 0$ °C obsahuje vodní i ledovou mlhu. [4]

2.1 Vodní pára obsažená ve vzduchu

U plynů obecně platí, že se přesouvají z oblasti s vyšším tlakem do oblasti, kde je tlak nižší. Toto platí i pro vodní páru, která je obsažena ve vzduchu. Hustota vodní páry bývá obvykle nejvyšší u povrchu země. Absolutní vlhkost vzduchu je také závislá na zeměpisné poloze, nadmořské výšce a ročním období. Dále také na denní době, větru a na slunečním ozáření. [5]

2.2 Základní vztahy pro vlhký vzduch

Tab. 1 Základní konstanty pro výpočty vlhkého vzduchu [5]

Veličina	Název	Hodnota	Jednotka
c_A	měrná tepelná kapacita suchého vzduchu	1010	J/kg.K
c_V	Měrná tepelná kapacita vodní páry	1840	J/kg.K
l_0	Výparné teplo vody při 0 °C	2 500 000	J/kg
r_A	Měrná plynová konstanta suchého vzduchu	287,11	J/kg.K
r_V	Měrná plynová konstanta vodních par	461,5	J/kg.K

Stavová rovnice pro vlhký vzduch

Stavová rovnice je pro vlhký vzduch dána směsí vodní páry a suchého vzduchu.

[5]

$$p_A \cdot V = m_A \cdot r_A \cdot T \quad (2.1)$$

$$p_V \cdot V = m_V \cdot r_V \cdot T \quad (2.2)$$

Měrná plynová konstanta směsi vlhkého vzduchu

$$r = \frac{m_A}{m} \cdot r_A + \frac{m_V}{m} \cdot r_V \quad (2.3)$$

Daltonův zákon

Daltonův zákon říká, že celkový tlak směsi plynů se rovná součtu parciálních tlaků jednotlivých složek. V našem případě je tlak směsi (vlhkého vzduchu) dán součtem parciálních tlaků suchého vzduchu a vodní páry. [4]

$$p = \sum_i p_i = p_A + p_V \quad (2.4)$$

Parciální tlak a hustota vodní páry a suchého vzduchu

Parciální tlak a hustotu složek vlhkého vzduchu můžeme vyjádřit ze stavové rovnice ideálního plynu danou rovnicí 2.1 a 2.2.

$$p_A = \frac{m_A \cdot r_A \cdot T}{V} \quad , \quad p_V = \frac{m_V \cdot r_V \cdot T}{V} \quad (2.5)$$

$$\rho_A = \frac{p_A}{r_A \cdot T} \quad , \quad \rho_V = \frac{p_V}{r_V \cdot T} \quad (2.6)$$

Parciální tlak syté vodní páry ve vzduchu

Pokud dosáhne parciální tlak vodní páry ve vzduchu tlaku páry syté, za dané teploty, vznikne stav, který nazýváme nasycení. V tomto stavu vzduch obsahuje suchý vzduch a sytou vodní páru. [6]

- $p_V < p_V''$ vlhký vzduch je nenasyčený parou,
- $p_V = p_V''$ vlhký vzduch je nasycený,
- $p_V > p_V''$ vlhký vzduch je přesycený a směs je heterogenní.

Parciální tlak syté vodní páry je závislý pouze na teplotě a pro jeho určení lze použít rovnice, které platí pro rozsah teplot od -20 do 0 °C: [4]

$$\ln p_V'' = 28,926 - \frac{6148}{273,15 + t} \quad (2.7)$$

A pro rozsah teplot od 0 do 80 °C:

$$\ln p_V'' = 23,58 - \frac{4044,2}{235,6 + t} \quad (2.8)$$

Pro vlhký vzduch nenasyčený vodní párou platí vztah:

$$p_V = p_V'' \cdot \varphi \quad (2.9)$$

Absolutní vlhkost vzduchu

Množství vodní páry ve vzduchu udává absolutní vlhkost vzduchu, která se dá označit jako koncentrace vodní páry ve vzduchu. Absolutní vlhkost nám udává součet hmotností vodní páry, syté kapaliny a tuhé fáze obsažené v objemové jednotce vzduchu. [5]

$$a_{abs} = \frac{m_V + m_k + m_t}{V} \quad (2.10)$$

Ostwaldův zákon nám říká, že objem suchého vzduchu a vodní páry je roven objemu vlhkého vzduchu

$$V = V_A = V_V \quad (2.11)$$

Pro nenasyčený a nasycený vlhký vzduch dále platí $m_k = m_t = 0$, z toho vyplývá že absolutní vlhkost se rovná koncentraci vodní páry ve vzduchu ρ_V která je obsažena v 1 m^3 vlhkého vzduchu.

$$\rho_V = \frac{m_V}{V} \quad (2.12)$$

Relativní vlhkost vzduchu

Relativní vlhkost vzduchu je definována jako poměr absolutní vlhkosti daného vzduchu, ku absolutní vlhkosti nasyceného vzduchu při stejné teplotě. Po úpravě vzorce se dá definovat jako poměr parciálního tlaku vodní páry a parciálního tlaku nasycené vodní páry při stejné teplotě. [6]

$$\varphi = \frac{\rho_V}{\rho_V''} = \frac{\frac{p_V}{r_V \cdot T}}{\frac{p_V''}{r_V \cdot T}} = \frac{p_V}{p_V''} \quad (2.13)$$

Pro suchý vzduch je relativní vlhkost $\varphi = 0$ a pro vzduch nasycený vodní párou je $\varphi = 1$.

Relativní vlhkost také můžeme určit upravením vzorce pro výpočet měrné vlhkosti, viz rovnice 2.16 [6]

$$\varphi = \frac{p}{p_V'' \cdot \left(1 + \frac{0,622}{x}\right)} \quad (2.14)$$

Měrná vlhkost

Měrná vlhkost lze definovat jako hmotnostní poměr vodní páry a suchého vzduchu. Tato veličina se využívá k přesné kvantifikaci množství vodní páry. [6]

$$x = \frac{m_V}{m_A} = \frac{V \cdot \rho_V}{V \cdot \rho_A} = \frac{\frac{p_V}{r_V \cdot T}}{\frac{p_A}{r_A \cdot T}} = \frac{r_A}{r_V} \cdot \frac{p_V}{p_A} = 0,622 \cdot \frac{p_V}{p - p_V} \quad (2.15)$$

Použijeme rovnici 2.13 a 2.15 a získáme rovnici, ve které je viditelný přepočít mezi relativní a měrnou vlhkostí vzduchu

$$x = 0,622 \cdot \frac{\varphi \cdot p_V''}{p - \varphi \cdot p_V''} \quad (2.16)$$

Hustota vlhkého vzduchu

Hustotu vlhkého vzduchu získáme součtem hustoty suchého vzduchu a koncentrace vodní páry.

$$\rho = \rho_A + \rho_V \quad (2.17)$$

Když použijeme stavovou rovnici, Daltonův zákon a dosadíme za měrné plynové konstanty, získáme vztah pro hustotu vlhkého vzduchu:

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{p_A}{r_A \cdot T} + \frac{p_V}{r_V \cdot T} = \frac{p - \varphi \cdot p_V''}{r_A \cdot T} + \frac{\varphi \cdot p_V''}{r_V \cdot T} = \frac{1}{T} \cdot \left(\frac{p}{r_A} - \frac{\varphi \cdot p_V''}{r_A} + \frac{\varphi \cdot p_V''}{r_V} \right) = \\ & \frac{1}{T} \cdot \left(\frac{p}{r_A} - \varphi \cdot p_V'' \left(\frac{1}{r_V} - \frac{1}{r_A} \right) \right) = \frac{1,316 \cdot 10^{-3}}{T} \cdot (2,65 \cdot p + \varphi \cdot p_V'') \end{aligned} \quad (2.18)$$

Entalpie vlhkého vzduchu

Entalpie vlhkého vzduchu je stavová proměnná, která vyjadřuje tepelnou energii uloženou v jednotkovém množství látky. Výpočet entalpie se provádí pro 1 kg suchého vzduchu s x kg vodní páry.

$$h = h_A + x \cdot h_V \quad (2.19)$$

2.3 Teplota vzduchu

Pro určení stavu vlhkého vzduchu jsou důležité teploty suchého a mokrého teploměru a teplota rosného bodu. Pokud známe alespoň dvě z těchto hodnot, můžeme určit stav vlhkého vzduchu, včetně jeho entalpie a obsahu vodní páry. [8]

Teplota suchého teploměru

Měření metodou suchého teploměru se využívá nejčastěji. Měří se běžným teploměrem, který chráníme před dopadajícím zářením a před vlhkostí. Hodnota na teploměru nám udává teplotu okolního vzduchu. [8]

Teplota mokrého teploměru

Měření metodou mokrého teploměru je podobné jako měření teploty suchého teploměru. Teploměr je zabalen do látky, která je nasáklá destilovanou vodou. Odpařováním vody z látky vzniká nucená konvekce proudu vzduchu. Hodnota na teploměru nám udává teplotu vody, při níž je teplo potřebné k odpařování vody do vzduchu odebíráno přestupem tepla konvekcí z okolního vzduchu (při izobarickém ději). [4]

Teplota rosného bodu

Teplota rosného bodu je teplota, při které je vzduch nasycen. To znamená že $\varphi = 1$. Pokud je vzduch ochlazen pod tuto teplotu, tak vodní pára obsažená ve vzduchu začne kondenzovat. [4]

3. Způsoby získávání vody z atmosférického vzduchu

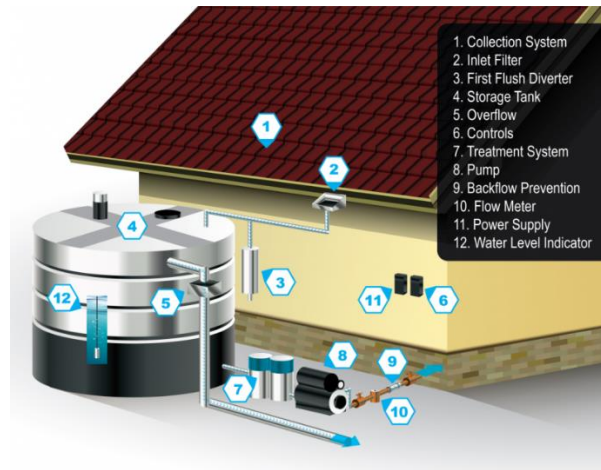
V této kapitole budou popsány existující způsoby získávání vody z atmosférického vzduchu. První způsob, kterým se budeme zabývat, je získávání vody sbíráním deště, který využívá přírodního hydrologického cyklu viz kapitola 2.1. Tato metoda je závislá na přírodě a musí mít k dispozici již zkondenzovanou vodu. Dále budeme způsoby získávání vody ze vzduchu dělit na sběr mlhy a na sklizeň rosné vody.

3.1 Sběr dešťové vody

Sběr dešťové vody můžeme považovat za jeden z nejstarších a nejjednodušších způsobů získávání vody ze vzduchu. Tento způsob využívá hydrologického cyklu v přírodě, kdy voda zkondenzuje již v atmosféře a padá na zem ve formě srážek, viz kapitola 1. Na zemi se použije konstrukce s nepropustným povrchem, po které stéká

voda a je vedena to nádrže, ve které je skladována pro další použití. Nejčastější způsob sběru dešťové vody je sklizení deště ze střechy domu. [9], [10]

Příklad systému pro sběr dešťové vody je vyobrazen na obrázku číslo 2.



Obrázek 2 Komponenty systému pro sběr dešťové vody [11]

3.1.1 Rozšíření technologie pro sběr dešťové vody

V dnešní době se rozšíření této technologie po světě liší v každé oblasti. Její míra závisí na mnoha faktorech, mezi které patří například přírodní podmínky, legislativa a tradice daného státu nebo oblasti. Obecně jsou tyto systémy používány v rozvojových i rozvinutých zemích, ve městech i na venkově a jsou využívány pro potřebu individuálních domácností i celých institucí. [10]

Dlouhou tradici ve využívání systémů pro sbírání dešťové vody má například Indie. V době britské vlády a po osvobození zaznamenala výrazný pokles, ale v poslední době se zájem o tyto systémy velmi rozšířil. Podle odhadu v Indii využívá tuto technologii přes 660 tisíc vesnic. V některých Indických státech se zavedlo povinné sklizení dešťové vody, aby se zabránilo vyčerpání podzemních vod. V těchto státech bylo dosaženo velmi dobrých výsledků a stal se z nich dobrý vzor. [10]

Zájem o technologie pro sběr dešťové vody vzrostl i v dalších částech jižní a jihovýchodní Asie. Například v Bangladéši je velký problém s přístupem ke kvalitní a pitné vodě, především pro obyvatele venkovských oblastí. Používání podzemní vody je v některých oblastech, z důvodu kontaminace arzenem, nevhodné. Dalším problémem je například sucho či vysoká salinita v pobřežních oblastech. [10]

3.1.2 Pozitiva a negativa sbírání dešťové vody

Mezi výhody systémů pro sběr dešťové vody patří nezávislé zásobování vodou během regionálních omezení vody a ve vyspělých zemích se často používá k doplnění hlavního zásobování. Poskytuje vodu, když nastane sucho, může zmírnit záplavy nízko položených oblastí a snižuje nároky na studny, což může umožnit udržení hladiny podzemní vody. Pomáhá také v dostupnosti pitné vody, protože voda je v podstatě bez slanosti. Další výhodou je malá finanční náročnost na údržbu systému a na běžnou údržbu není vyžadována vysoká kvalifikace obsluhy. Systém nepotřebuje zdroj energie, aby byl schopen funkce.

Jednou z největších nevýhod je závislost systému na dešti. Nasbíraná voda nedokáže pokrýt celoroční spotřebu vody v domácnosti. Proto je tento systém vhodný v oblastech s velkým množstvím srážek a pro použití jako podpůrný systém pro získání vody. Další nevýhodou systému je, že se voda během procesu může snadno kontaminovat. Obsluha a údržba systému závisí na uživatelích, není zde tedy zajištěno, že uživatelé budou schopni systém využívat tak, aby voda neohrozila jejich zdraví.

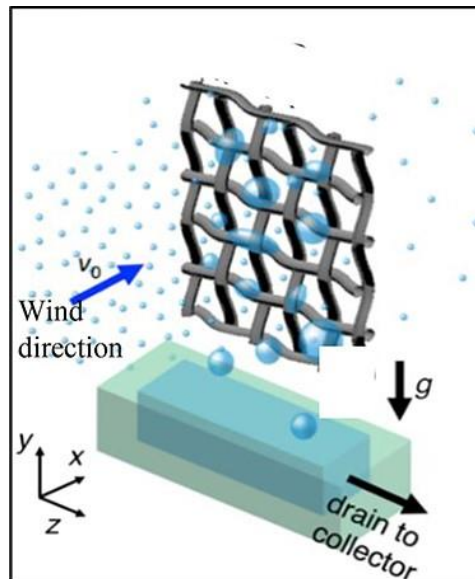
3.2 Sběr atmosférické mlhy

V tomto případě se jedná o získávání vody z mlhy, tj. viditelného mraku, kapiček vody nebo ledových krystalků které jsou zavěšeny ve vzduchu na povrchu země nebo v jeho blízkosti. Obvykle k tomu dochází v důsledku zvýšené vlhkosti vzduchu nebo poklesu teploty pod teplotu rosného bodu viz kapitola 2. [12]

Metodu sbírání atmosférické mlhy můžeme rozdělit na tzv. tradiční a moderní.

3.2.1 Sběr mlhy tradičním způsobem

Tradiční způsob shromažďování mlhy, znázornění na obrázku 3, je velmi jednoduchý. Mlha je hnána větrem skrz konstrukci, která se skládá ze síťoviny a je vystavena atmosféře. Dva sloupky na kotevních drátech slouží k podepření pletiva a kabely k jeho zavěšení. Kapky vody zachycené síťovinou se hromadí a působením gravitace odtékají do kanálků a následně do nádrží, kde je voda uchována. [12]



Obrázek 3 Základní koncept sběrače mlhy [13]

Design kolektorů mlhy

Podle základního rozdělení kolektorů mlhy a jejich designu je můžeme dělit na standartní kolektory mlhy a na velké kolektory mlhy. Standartní kolektory se obvykle používají v malých průzkumných studiích k vyhodnocení množství vody, které lze shromáždit pro konkrétní podmínky. Kolektor má velikost přibližně 1 m^2 a plocha jeho základny je 2 metry nad zemí. Velké kolektory jsou typicky 12 metrů dlouhé a 6 metrů vysoké, z čehož horní 4 metry pokrývá síťovina, což poskytuje zhruba 48 m^2 plochy pro sběr. Pro maximální účinnost by kolektory mlhy měly být umístěny kolmo k převládajícímu větru. [12], [13], [14]

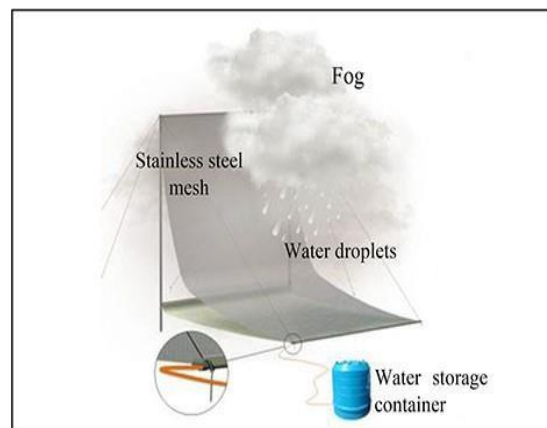
Na velké kolektory působí velké tlaky působením větru, což namáhá konstrukci vzniklými silami. K tomu může na pletivo negativně působit UV záření a další faktory životního prostředí. Je tedy důležité, že bude kolektor navržen tak, aby vydržel extrémní podmínky v dané oblasti. [15]

Byly zkoumány různé návrhy kolektorů. Například v terénní studii v Peru se testovali tři typy velkoplošných kolektorů nazvaných Eiffel, Harfa a Diagonální harfa. Eiffelův kolektor je příklad 3D kolektoru, který se používá na místech kde nepřevažuje jeden směr větru. [16]



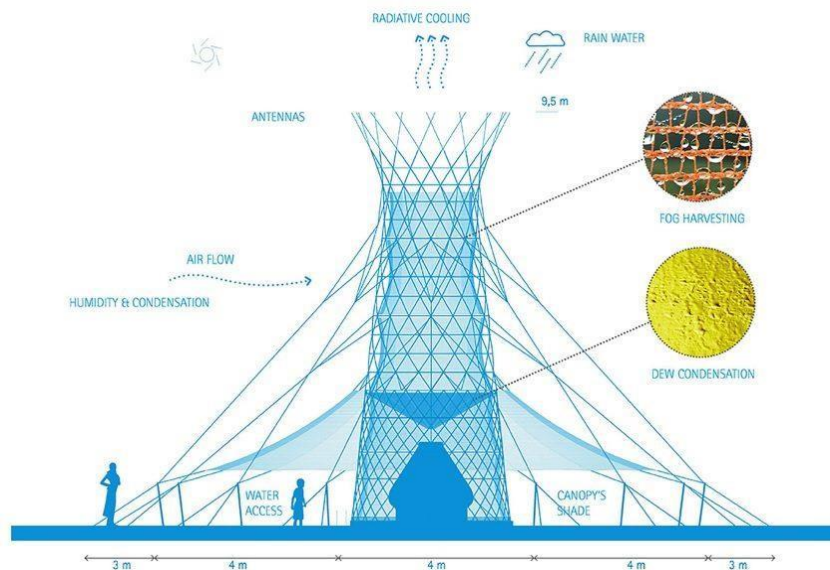
Obrázek 4 Kolektory Eiffel, Harfa a Diagonální harfa [17]

Další příklad designu je kolektor mlhy, který se nazývá Cloud harvester, viz obrázek 5. Na tomto kolektoru je unikátní to, že místo běžně používaných polypropylenových sítí, používá pletivo z nerezové oceli. Očekává se, že bude mít lepší kondenzační účinnost a bude menší než podobné produkty. [18]



Obrázek 5 Koncept Cloud harvesteru [18]

Pro sběr atmosférické vlhkosti bylo uskutečněno mnoho projektů. Jeden z nich se jmenuje Warka Water, jehož cílem je získat vodu z atmosféry a dodávat čerstvou pitnou vodu komunitě v rozvojovém světě. Od roku 2012 bylo vyvinuto přes 12 různých prototypů. Cílem je vyvinout prototyp, který je lehký, snadno a rychle se staví z místních materiálů bez použití lešení a elektrického nářadí. Na konstrukci je použit bambus, zatímco systém pro zachycování vody je vyroben z biologicky rozložitelné síťoviny. Mlha, rosa a také dešťová voda se zachytávají na pletivu a poté stékají trychtýřem do nádrže která je umístěna na základně. [19], [20]



Obrázek 6 Princip fungování prototypu Warka Water [20]

3.2.2 Sběr mlhové vody inspirovaný biomimikry

Zvířata a rostliny se speciálními vlastnostmi pro získávání vody z okolí

V některých částech světa, se kvůli extrémnímu nedostatku vody, způsobeným nízkými srážkami, zvířata vyvinula tak, aby v takových podmínkách přežila. Některá z nich získala takové schopnosti, které jim umožňují sbírat vodu z atmosféry. Například Namibští brouci, viz obrázek 7, mají povrch zad pokryt náhodným polem hladkých hydrofilních hrbolků a mikrodrážek. Tyto hrbolky umožňují kondenzaci vody a její stékání přímo do úst brouka. Účinnost zachycování mlhy a rosy se údajně zvyšuje při kombinaci hydrofilních (vodu přitahujících) a hydrofobních (vodu odpuzujících) oblastí. [17]



Obrázek 7 Chování Namibského pouštního brouka [17]

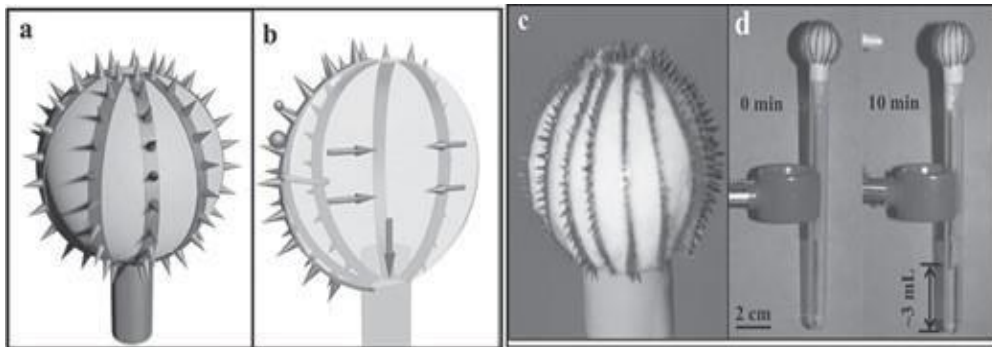
Dalšími živočichy, kteří sbírají vodu, jsou například ještěrky známé jako Moloch ostnitý, které pijí kapičky vody shromážděné přes jeho hydrofilní kůži a které se dostávají do tlamy kapilárním působením. Naproti tomu pavouk Pakřížák Walckenaerův využívá ke sběru vody svou síť. [12]

Také rostliny jsou schopny přežít v suchých podnebních díky sběru vody. Příkladem je endemická pouštní tráva a mnoho rostlin z čeledi kaktusovitých. [12]

Biomimikry při získávání atmosférické vody

V posledních desetiletích se rychle objevily zprávy o bioinspirovaném získávání vody. Inspirován Namibskými brouky, byl proveden výzkum vlivu stupně hydrofilnosti a hydrofobicity hřbetů brouků při určování jejich celkové účinnosti mikrokondenzace. Výkonnost povrchů jako mikrokondenzátorů byla zkoumána měřením množství vody shromážděné z jemné mlhy za 2 hodiny. Hrbolaté uspořádání vzorů hydrofilních a hydrofobních povrchů je při shromažďování suspendovaných kapiček vody považováno za účinnější než čistý hydrofilní nebo hydrofobní povrch. [17]

K napodobení chlupů kaktusu a jeho povrchu byl zkoumán velkoobjemový sběrač mlhy prostřednictvím integrace kaktusových hydrofobních kuželových mikrohrotových polí. Pole hrotů byla uspořádána na sférické hydrofobní bavlněné matrici, viz obrázek 8. Pro sběrač mlhy bylo na každý okraj umělého kaktusu umístěno asi 30–40 mikrošpiček ve vzdálenosti 4 až 5 mm. [21]



Obrázek 8 Ilustrace (a) zařízení inspirovaného kaktusem (b) vodní cesty v zařízení. (c) Fotografie kontinuálního sběrače mlhy inspirovaného kaktusem (d) fotografie procesu sběru zařízení [21]

3.2.3 Výhody a nevýhody technologie sklízení mlhy

Výhody

- Systém k provozu nepotřebuje energii.
- Snižuje tlak na místní sladkovodní nádrže v období nízké dostupnosti vody.
- Atmosférická voda je celkově velmi čistá, neobsahuje škodlivé organismy a je ihned vhodná pro účely zavlažování. V řadě případů se ukázalo, že voda zachycená pomocí technologie zachycování mlhy splňuje standardy Světové zdravotnické organizace.
- Ekologický dopad instalace a údržby technologie je minimální.
- Po zajištění komponentů a technického dozoru je výstavba relativně jednoduchá a lze ji provést na místě.
- Minimalizuje náklady a nutnost dopravovat sladkou vodu do oblasti, která je obtížně dostupná. [22]

Nevýhody

Technologie sběru mlhy závisí na přítomnosti vody, která není vždy spolehlivá, protože výskyt mlhy je nejistý. Dále je obtížné vypočítat i přibližné množství vody, které lze získat na určitém místě. Tato technologie může představovat investiční riziko, pokud nebude nejprve proveden projekt ke kvantifikaci potenciálního výnosu vody, který lze v uvažované oblasti očekávat. [22]

3.3 Sběr kondenzátu

Při sběru mlhové vody dojde ke shromažďování vody, když kapky mlhy dopadnou a zachytí se na sběrných plochách. Hlavním limitujícím faktorem je globální výskyt mlhy, který je vysoce závislý na geografických a metrologických podmínkách. Pouze na omezeném počtu míst se vyskytují podmínky prostředí, kdy by teplota vlhkého vzduchu mohla přirozeně klesnout pod svou saturační teplotu a vytvořit tak mlhu. Není proto překvapením, že se v celosvětovém měřítku uvádí, že mlha je jako alternativní zdroj sladké vody ještě hůře dostupná než mořská voda. Vodní pára je v atmosféře všudypřítomná, takže pokud zkondenzuje ochlazením, sladkou vodu lze získat na mnoha místech. Nicméně kondenzační proces je termodynamicky komplikovanější než sklízení mlhy. [12]

Kapky vody, které se tvoří v důsledku kondenzace vodní páry na povrchu, který má teplotu nižší, než je teplota rosného bodu, se nazývají rosná voda. Procesy získávání rosné vody můžeme rozdělit do tří kategorií. [23], [24]

- 1) Pasivní (radiační) chladicí kondenzátor.
- 2) Solárně regenerované vysoušedlo.
- 3) Získávání vody ze vzduchu kondenzací pomocí technologie aktivního chlazení.

3.3.1 Sběr vody pomocí sálavého chladicího kondenzátoru (pasivní systémy)

Princip sálavého chladicího kondenzátoru je velmi jednoduchý. Vznik rosy je řízen radiačními jevy na povrchu materiálů. Jedná se o fyzikální jev který dán povrchovým ochlazováním bez dodatečné energie a nejdůležitějším prvkem je výkonový gradient mezi vyzařovacím výkonem vycházejícím z kondenzátoru a vyzařovacím výkonem na obloze I , který je prezentován Stefanovým-Boltzmanovým zákonem. Uvedeno v rovnici 3.1. [12]

$$I = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T)^4 \quad (3.1)$$

Pro optimalizaci tvorby rosy by se tedy dalo:

- maximalizovat vlastnosti povrchu vyzařující infračervené vlnové délky, aby se umožnilo chlazení povrchu v noci,
- zvýšit odrazivost kondenzačního povrchu, aby bylo zajištěno, že povrch nebude zachycovat teplo, které ohřeje kondenzátor a způsobí vypařování během dne,
- snížit účinek větru na kondenzátor nakloněním povrchu kondenzátoru,
- zvýšit hydrofilní vlastnosti povrchu čehož lze dosáhnout aplikací hydrofilního povlaku na povrch,
- snížit tepelnou setrvačnost kondenzačního povrchu, aby se podpořila změna teplotního rozdílu. [23]

Studie pasivního chladičového systému zahrnují výzkum materiálů s povrchy s nízkou emisivitou. Pro klimatické podmínky Bahrajnu (Ostrovní stát v jižní části Perského zálivu) byl zkoumán vliv kondenzujících povrchových materiálů na tvorbu rosy. Byly zkoumány tři různé typy kondenzační plochy a to:

- pozinkovaný železný (GI) plech s emisivitou 0,23 a tloušťkou 1,5 mm,
- komerční hliníkový plech s emisivitou 0,09 a tloušťkou 1,5 mm,
- PETB fólie (polyethylen smíchaný s 5 % TiO_2 a 2 % BaSO_4) UV stabilizované s emisivitou 0,83 a tloušťkou 0,3 mm. [23], [24], [25]

Kondenzační plochy byly testovány jako sálavý kondenzátor o velikosti 1×1 m instalovaný ve vesnici Kothara, která je součástí polosuché pobřežní oblasti v severozápadní Indii. Cílem projektu bylo využít systém získání vody jako řešení problému s pitnou vodou v regionu. Ze všech tří testovaných povrchů nejvíce nasbírala jednotka s PETB folií, následována jednotkou s GI plechem a hliníkovým plechem. [26]



Obrázek 9 Různé typy povrchu kondenzátoru [26]

Vesnice Kothara má nyní první indický velkovýrobní závod na pitnou vodu navržený ke sběru atmosférické vody a jejímu zpracování na pitnou vodu. Kondenzátory byly vyrobeny z rovinných panelů s použitím plastové fólie s vysokou emisivitou, která je pod izolací podporující chlazení. Kromě zachycování rosné vody jsou kondenzátory schopny zachycovat i dešťovou vodu. [12]

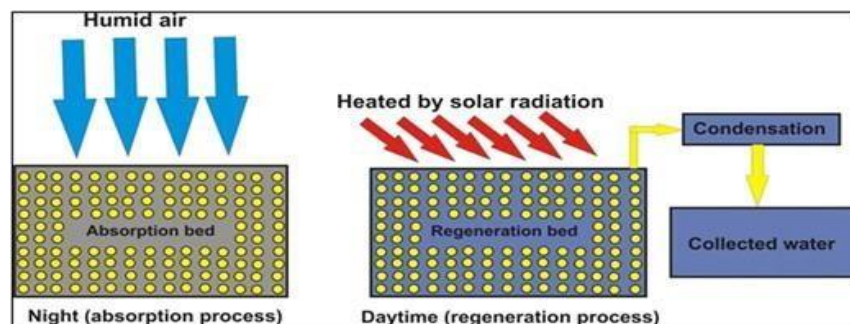
Dalším důležitým povrchovým parametrem, který ovlivňuje výkon pasivního systému, je tvar sálavého kondenzátoru. Jako jeden z prvních výzkumů bylo zkoumání tvaru obrácené pyramidy. Závěrem tohoto výzkumu bylo, že kolektor s tímto tvarem sbírá až o 20 % vody více než kolektor s rovinným tvarem pod úhlem 30° . [27]

V pasivním systému není přirozená konvekce mezi povrchem kondenzátoru a prouděním vzduchu upřednostňována, protože snižuje účinnost kondenzace systému kondenzátoru. Kondenzátor v duté formě, jako je trychtýř, tedy sníží volnou konvekci podél povrchu, protože těžší studený vzduch zůstane na dně trychtýře vlivem gravitace bez ohledu na směr větru. [12]

3.3.2 Solárně regenerované vysoušedlo (pasivní systémy)

Nízká výtěžnost je klíčovým problémem pro pasivní, radiační kondenzátorový systém, protože je závislý na určitých parametrech, zejména emisivitě oblohy, množství vodní páry ve vzduchu (měrná vlhkost), rychlosti větru a topografickém pokrytí. [23]

Sorpční materiály, jako je silikagel a CaCl_2 (chlorid vápenatý), jsou hygroskopické látky a mohou absorbovat vlhkost skrz adsorpci a absorpci, což zvyšuje množství nashromážděné rosy. Výsledkem je, že vysoušecí lůžka se nyní běžně používají v aplikacích pro sběr atmosférické vody. Na obrázku 10 můžeme vidět obecný proces získávání atmosférické vody pomocí vysoušedla. Proces lze vysvětlit následovně: první fází je fáze absorpce vody v noci, kdy vysoušecí lože absorbuje vlhkost z vlhkého vzduchu. Druhým stupněm je desorpce vody během dne zahříváním lůžka slunečním zářením, které regeneruje vysoušedlo vyháněním vodní páry. Ve třetí a poslední fázi bude odpařená voda kondenzovat na vodní kapky a shromažďovat se v nádrži. [12]



Obrázek 10 Proces získávání vody ze vzduchu pomocí vysoušedla [28]

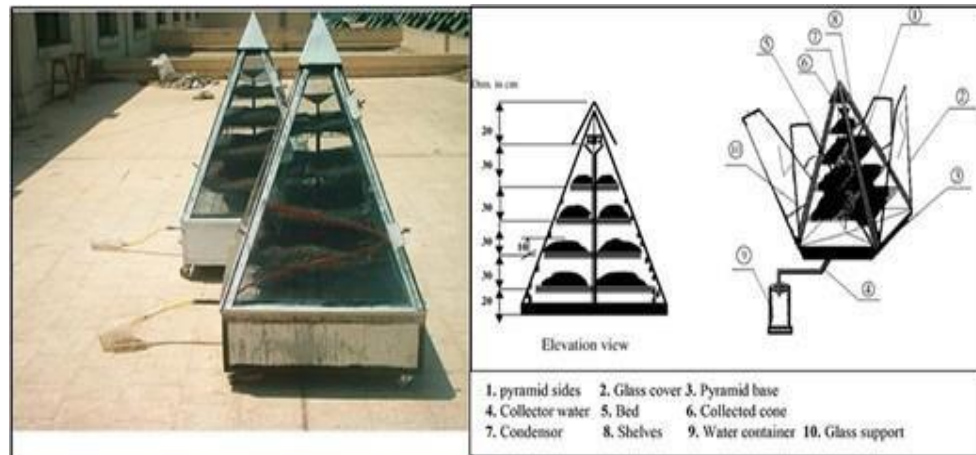
Mezi výhody vysoušecího systému oproti sálavým kondenzátorům patří hygroskopická kapacita vysoušedla, která umožňuje efektivnější sběr vody, dosažení nízkých rosných bodů bez rizika zamrznutí, čímž se snižují provozní náklady. [29]

Skleněné pyramidové kolektory

Skleněné pyramidové kolektory, viz obrázek 11, obsahují:

- vysoušecí lůžka umístěna na policích,
- šikmý kryt stěny,
- sběrný kužel,
- stříšku, která je připevněna na vrcholu pyramidy a zastiňuje ji před solární radiací.

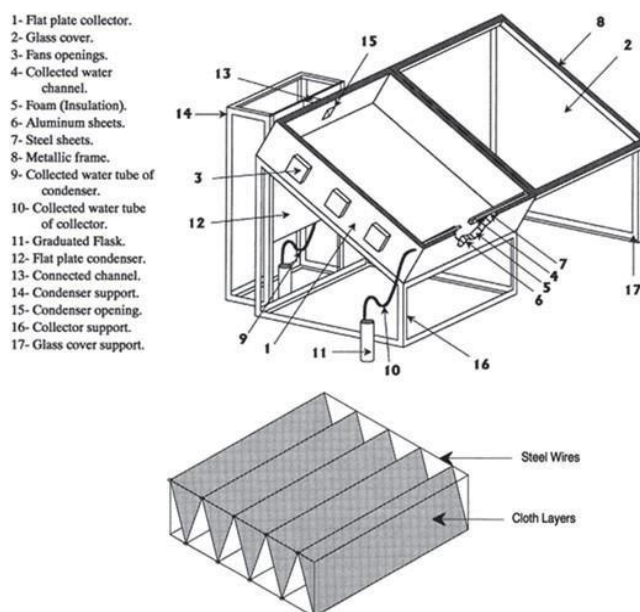
Kryty nad lůžky jsou přes noc otevřené, takže vysoušedlo může absorbovat vodní páru ze vzduchu. Během dne jsou kryty uzavřeny, takže lůžka jsou ohřívána slunečním zářením odhánějícím absorbovanou vodu, která kondenzuje po stranách a zejména na vrcholu pyramidy. [30]



Obrázek 11 Fotografie a schéma pyramidového kolektoru [30]

Vlnitý povrch

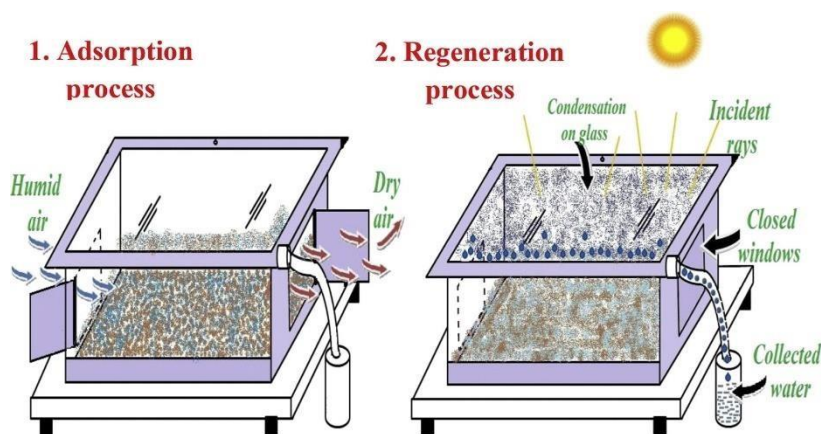
Na principu absorpce vlhkosti vysoušedla v noci a následné desorpce a kondenzace vodní páry během dne, bylo zavedeno použití integrovaného solárního kolektoru pro sběr vody z vlhkého vzduchu. V tomto zařízení byl použit malý ventilátor pro cirkulaci vzduchu, aby okolní vzduch přinutil vstupovat do skleněného solárního kolektoru, viz obrázek 12. V kolektoru byla jako vysoušecí lože použita silná vrstva vlnité látky. Použití zvlněného povrchu mělo zvýšit plochu přenosu tepla a hmoty během mechanismu absorpce/desorpce. Během dne bude na vnitřním povrchu skla obklopujícího sluneční kolektor docházet ke kondenzaci vodní páry. [31]



Obrázek 12 Schéma skleněného kolektoru s vlnitým vysoušecím lože [31]

Solární vysoušecí box

V Indii byl vyvinut a prozkoumán systém sběru atmosférické vody, který byl pojmenován Solar glass desiccant box type systém (SGDBS), což můžeme přeložit jako systém solárního vysoušecího boxu viz obrázek 13. Tento systém měl zachytnou plochu $0,36 \text{ m}^2$. Krabice byla vyrobena z jednoduchého skla a vysoušedlo z kompozitního materiálu tvořeného pilinami, napuštěnými CaCl_2 . Několik boxů bylo testováno v indických klimatických podmínkách a zjistilo se, že výkon závisí především na koncentraci CaCl_2 . [32]



Obrázek 13: Proces získávání vody v solárním vysoušecím boxu [32]

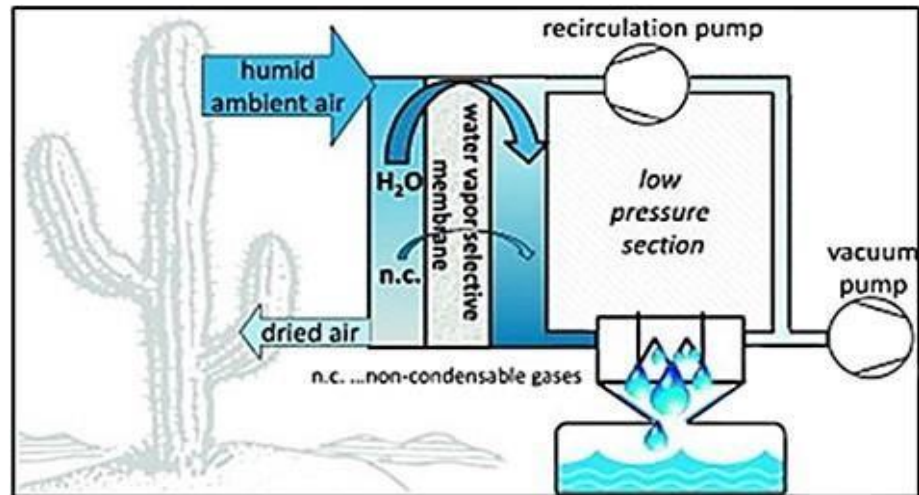
3.3.3 Získávání vody ze vzduchu pomocí aktivního chlazení

Výše popsané systémy získávání vody lze popsat jako pasivní, tj. jsou poháněny jednoduše solárním ohřevem a nevyžadují vstup elektrické energie. Naproti tomu aktivní systémy obvykle vyžadují elektricky poháněné kompresory nebo jiné zařízení a množství sklizené vody přímo souvisí se vstupní energií. [23]

Odvlhčovač používající selektivní membránu

Vodní pára je pouze vedlejší složka vzduchu v atmosféře, i při $30 \text{ }^\circ\text{C}$ a 100% relativní vlhkosti je ve vzduchu pouze $30,4 \text{ g/m}^3$, zatímco při $10 \text{ }^\circ\text{C}$ a 100% relativní vlhkosti je ve vzduchu $9,4 \text{ g/m}^3$. To znamená že maximální množství vody, které jsme schopni získat ochlazením mezi těmito teplotami, je 21 g/m^3 . To však vyžaduje ochlazení 1 m^3 vzduchu o 20 K , což vyžaduje odstranění 24 kJ tepla a dalších $52,5 \text{ kJ}$ latentního tepla ke kondenzaci vody. Pokud nedojde k regeneraci chladu odcházejícího vzduchu po kondenzaci, představuje to významnou neefektivitu. Aby se minimalizovala spotřeba energie v procesu odvlhčování, používají se tzv. selektivní membrány,

viz Obrázek 14, které oddělují složky vodní páry před ochlazením a kondenzací, čímž se zabrání ochlazování ostatních atmosférických plynů. Kromě zlepšené energetické účinnosti membrána generuje čerstvou vodu, která je čistší než voda kondenzovaná přímo ze vzduchu. [33]



Obrázek 14 Znáornění selektivní membrány v systému pro sběr atmosférické vody [34]

Sběr atmosférické vody pomocí klimatizačního systému

Aktivní kondenzační systémy, využívající konvenční reverzní Rankinův cyklus, fungují stejně jako odvlhčovač, kde průchod vlhkého vzduchu procházejícího hadem chlazeným chladivem způsobuje kondenzaci vodní páry. Produkce vody závisí především na relativní vlhkosti vzduchu a teplotě vzduchu. Tato technologie má mnoho verzí. Například systém, který poskytuje jak klimatizaci, tak sběr atmosférické vody nebo mobilní odvlhčovací jednotku, která současně produkuje pitnou vodu. [12]

3.3.4 Koncepce a vývoj prototypů chladicí kondenzační technologie

Billboard v Peru

Na technické univerzitě v Peru byl navržen billboard pro sběr vody, viz obrázek 15. Tento výzkum kombinuje technologii kondenzace chlazením s využitím zdroje větrné energie. Billboard obsahuje pět generátorů, které extrahují vlhkost ze vzduchu pomocí filtračního systému. Voda protéká malým potrubím do centrální záchytné nádrže na základně billboardu. [35]



Obrázek 15 Billboard na sběr vody [35]

EOLE WATER

Společnost EOLE WATER představila větrnou turbínu, viz Obrázek 16, která využívá větrnou energii k pohonu kompresoru odvlhčovače, který vytváří proudění vzduchu přes studenou spirálu. [36]

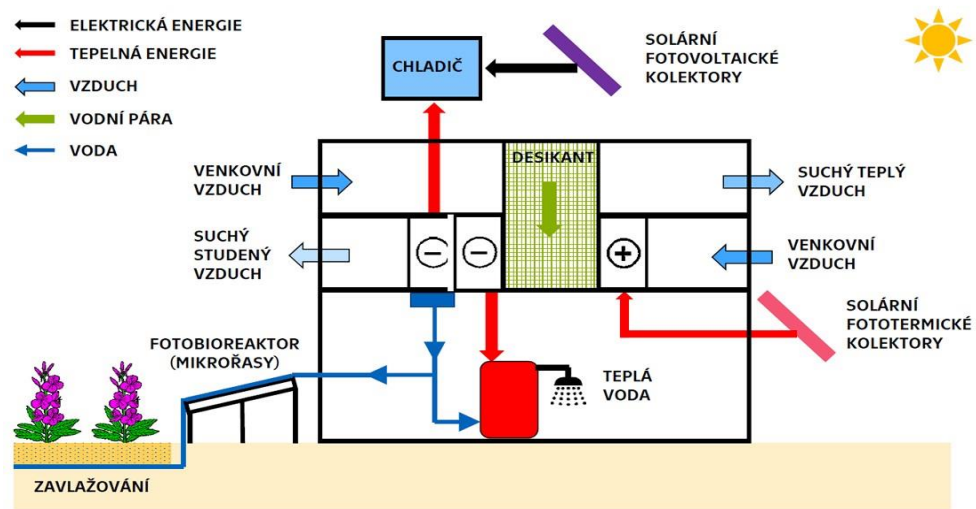


Obrázek 16 Větrná turbína WMS1000 od EOLE WATER [36]

S.A.W.E.R.

Jedním z největších problémů doposud zmiňovaných zařízení je, že pro produkci vody potřebují dostatečné množství vlhkosti ve vzduchu. Toto zařízení je navrženo tak, aby bylo schopno získávat vodu ze vzduchu i v extrémně horkém a suchém klimatu. S.A.W.E.R. se skládá ze dvou systémů. V první fázi je použit desikant, což je materiál, který pomocí absorpce váže vodní páru na svůj povrch. Tento materiál odebere venkovnímu vzduchu vodu a zadrží ji na svém povrchu. Suchý vzduch je následně

odveden zpět do venkovního prostředí. Ve druhé fázi je do systému opět přiveden venkovní vzduch se svým přirozeným vodním obsahem, který je nejdříve ohřátý na dostatečně vysokou teplotu, aby se z povrchu desikantu mohla uvolnit vodní pára a tím nasycit ohřátý vzduch. Díky tomu přichází na chladič výrazně vlhčí vzduch než ten, který se nachází na poušti. Tento dvojstupňový systém tedy umožňuje, aby se dalo chladičem získat mnohem více vody pomocí kondenzace ze vzduchu. Jednoduchý princip tohoto zařízení je zobrazen na obrázku 17. [37]



Obrázek 17 Jednoduché schéma fungování zařízení S.A.W.E.R. [38]

4. Praktická část

Praktická část bakalářské práce se zabývá potenciálem získávání vody ze vzduchu pomocí technologie aktivního chlazení (kondenzačního odvlhčování).

4.1 Klimatické podmínky

Pro analýzu bylo vybráno 10 oblastí pro které byla k dispozici roční klimatická data [39]. Z těchto dat byly zjištěny důležité hodnoty pro každou hodinu v roce, což jsou:

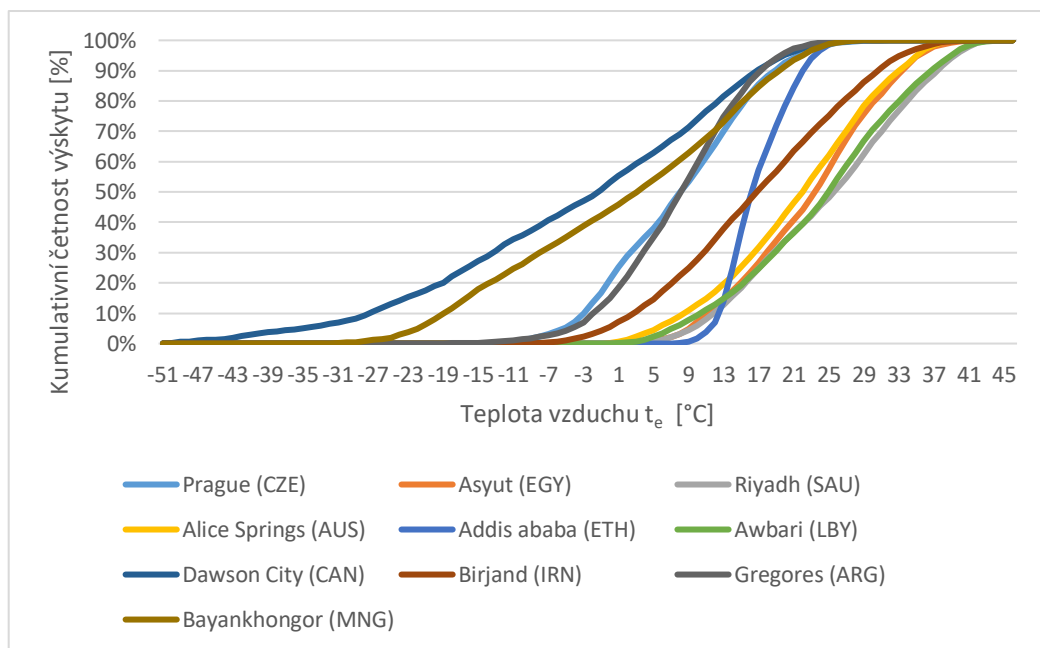
- Teplota venkovního vzduchu t_e .
- Relativní vlhkost φ .
- Celkový tlak p .

Pro simulaci byla vybrána města z převážně suchých pouštních oblastí, kde je nedostatečný přístup k pitné vodě. Dále některé studené oblasti, kde je nízká teplota a

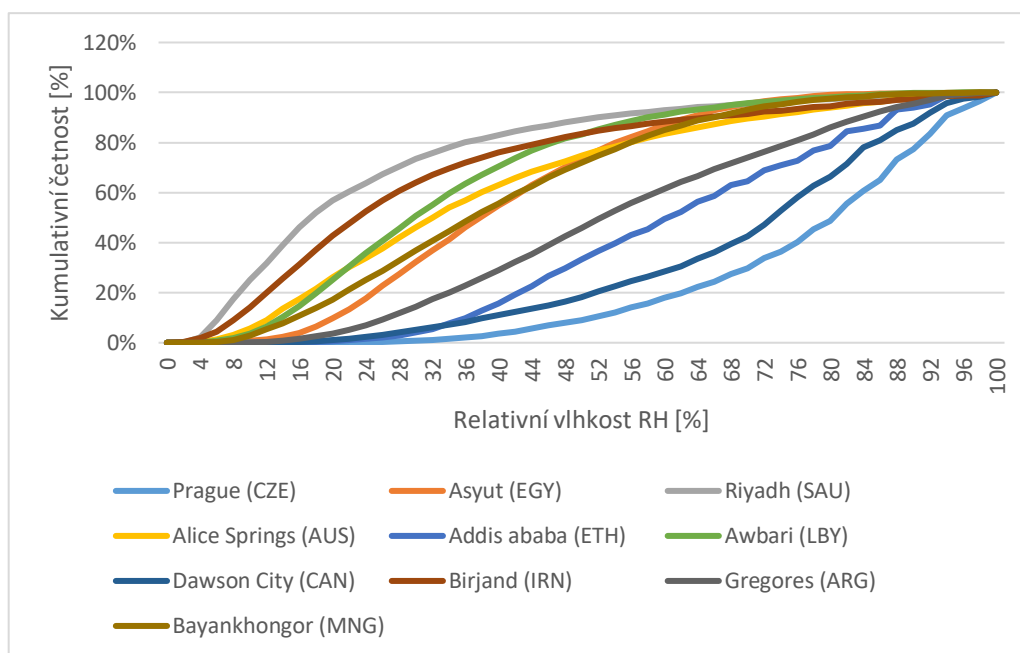
tím i nízká měrná vlhkost a Praha pro srovnání s klimatem ve střední Evropě. Města použitá pro simulaci jsou:

- Praha (Česká republika)
- Asijút (Egypt)
- Rijád (Saúdská Arábie)
- Alice Springs (Austrálie)
- Addis Abeba (Etiopie)
- Awbari (Libye)
- Dawson City (Kanada)
- Bírďžand (Írán)
- Gregores (Argentina)
- Bajanchongor (Mongolsko)

Klimatická data ve vybraných oblastech jsou porovnána v následujících grafech kumulativní četnosti teploty venkovního vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu (viz obr.18 a obr. 19).



Obrázek 18 Kumulativní křivky četnosti teploty venkovního vzduchu



Obrázek 19 Kumulativní křivky četnosti relativní vlhkosti venkovního vzduchu

Z kumulativních křivek četnosti teploty venkovního vzduchu je vidět velký rozdíl mezi zvolenými oblastmi. Například v Dawson City dosahují minimální teploty až $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, naproti tomu v Rijádu neklesne nejnižší teplota pod $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a v Etiopii pod $9\text{ }^{\circ}\text{C}$.

V grafu pro relativní vlhkost je vidět, že v pouštních oblastech jako je Rijád je mnohem menší relativní vlhkost vzduchu než v mírném podnebí, které je v Praze nebo ve studených oblastech jako je Kanada. Relativní vlhkost ovšem udává pouze z kolika procent je vzduch o určité teplotě a tlaku nasycený. Aby bylo zjištěno množství vodní páry ve vzduchu, je nutné vypočítat měrnou vlhkost vzduchu.

Parciální tlak par

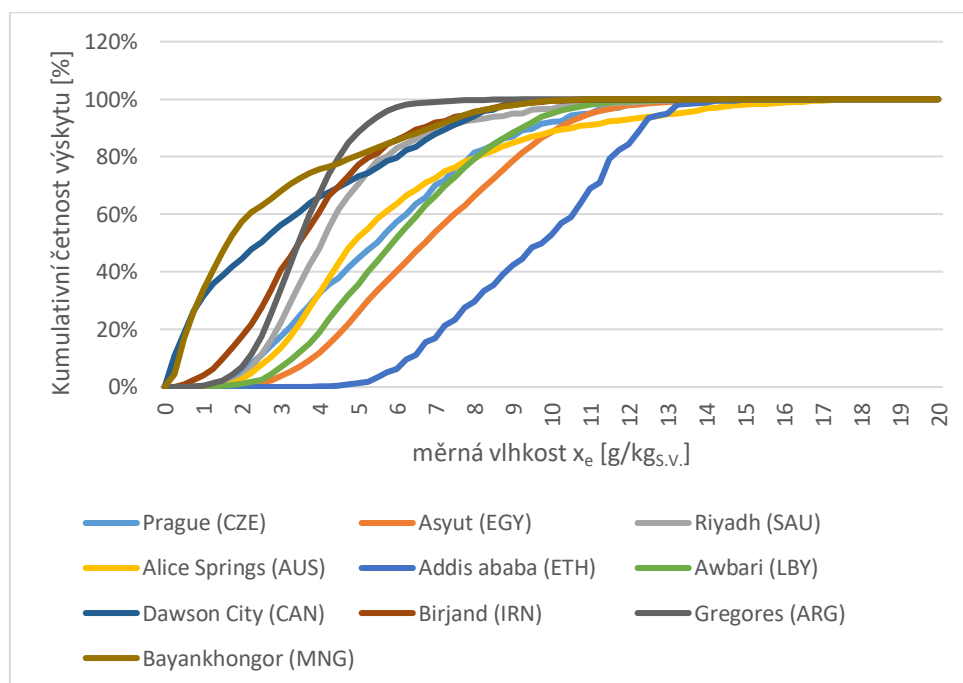
Pro zjištění hodnoty parciálního tlaku par, musí být nejdříve známý parciální tlak sytých vodních par p_v'' , který lze vypočítat pomocí známé teploty vzduchu. Pokud je teplota vzduchu nižší než $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, může být použita rovnice 2.7 a pokud teplota přesáhne $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ bude použita rovnice 2.8.

Parciální tlak par se získá následným vynásobením parciálního tlaku sytých vodních par relativní vlhkostí (rovnice 2.9).

Měrná vlhkost

Pro přesnou kvantifikaci vodní páry ve vzduchu je potřeba vypočítat měrnou vlhkost. její výpočet je proveden pomocí rovnice 2.15 v upraveném tvaru.

Množství měrné vlhkosti v jednotlivých oblastech je graficky znázorněno pomocí kumulativní četnosti výskytu měrné vlhkosti. V grafu je oproti grafu relativní vlhkosti velmi dobře vidět, kolik vody je obsaženo ve vzduchu v jednotlivých oblastech. V oblastech, kde je vysoká relativní vlhkost ale nízká teplota, například v Kanadě, se nachází ve vzduchu méně vody než například v Egyptě, kde je vysoká teplota a nižší relativní vlhkost.



Obrázek 20 Kumulativní křivky četnosti měrné vlhkosti

Entalpie vzduchu

Aby bylo možné později vypočítat energii pro chlazení, je potřeba vypočítat entalpii vzduchu. Entalpii vzduchu je možné vypočítat dosazením entalpie suchého vzduchu a vodní páry do rovnice 2.19.

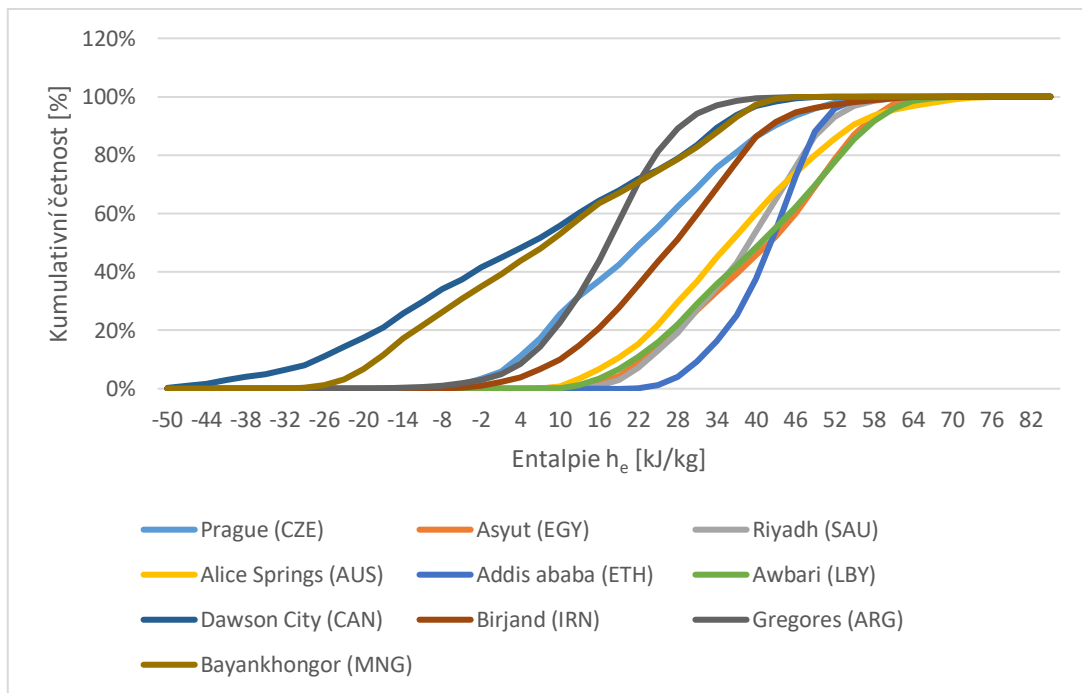
$$h_A = c_A \cdot t \quad (4.1)$$

$$h_V = l + c_V \cdot t \quad (4.2)$$

Po dosazení vznikne rovnice

$$h = c_A \cdot t + (l + c_V \cdot t) \cdot x \quad (4.3)$$

Výsledky v jednotlivých oblastech jsou opět porovnány v grafu kumulativní četnosti entalpie



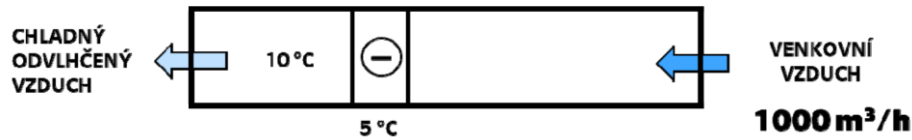
Obrázek 21 Kumulativní křivky četnosti entalpie

Hustota vzduchu

Pro další výpočty je potřeba vypočítat hustotu vzduchu, která je získána pomocí vzorce 2.18.

4.2 Kondenzační zařízení

Pro simulaci je použito jednoduché kondenzační zařízení, které používá chladič, jehož povrchová teplota je 5 °C (viz obr. 22). Ve výpočtech je uvažován objemový průtok venkovního vzduchu chladičem 1000 m³/h.

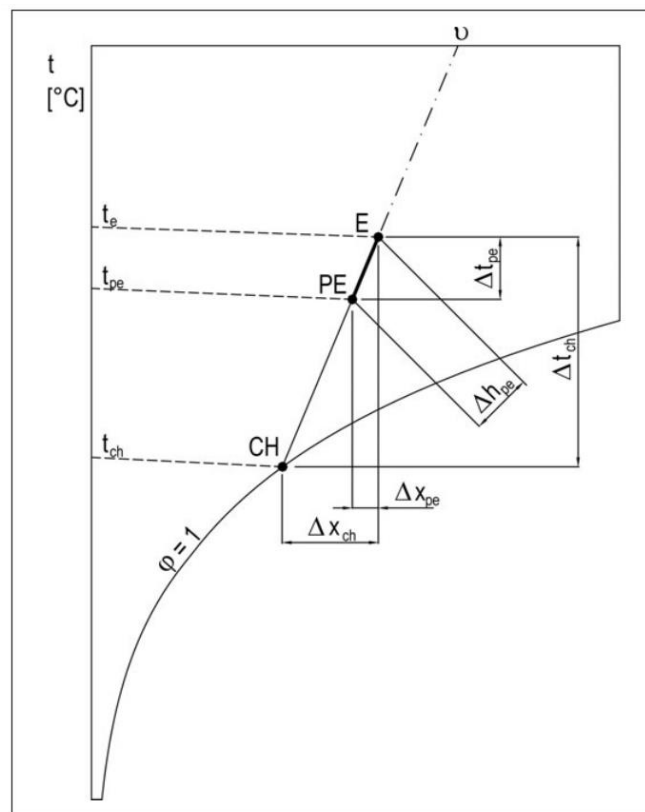


Obrázek 22: Kondenzační zařízení pro získávání vody ze vzduchu [40]

Aby bylo možné pokračovat ve výpočtech, je nutné teoreticky dopočítat měrnou vlhkost a entalpii na povrchu chladiče.

4.3 Chlazení venkovního vzduchu

Proces chlazení venkovního vzduchu je zobrazen v h-x diagramu na obrázku 23.



Obrázek 23: Znáornění chlazení venkovního vzduchu v h-x diagramu [41]

V diagramu bod CH označuje vlastnosti chladiče, bod E vlastnosti venkovního vzduchu a bod PE vlastnosti chladného odvlhčeného vzduchu. Z předchozích výpočtů byly zjištěny hodnoty: t_e , x_e , h_e které definují bod E. Při chlazení vzduchu je směr změny určen povrchovou teplotou chladiče. Vlastnosti chladiče zůstávají po celou dobu

výpočtu konstantní. Pokud je uvažován lineární průběh změny vzduchu při chlazení, je možné rozdíl entalpií Δh_{pe} určit pomocí faktoru citelného tepla [41]

$$\vartheta = \frac{c \cdot \Delta t_{ch}}{\Delta h_{ch}} = \frac{c \cdot \Delta t_{pe}}{\Delta h_{pe}} \quad (4.4)$$

Po upravení rovnice bude získán vztah pro rozdíl entalpie venkovního a přiváděného vzduchu Δh_{pe} .

$$\Delta h_{pe} = (h_e - h_{pe}) = \frac{\Delta t_{pe} \cdot \Delta h_{ch}}{\Delta t_{ch}} = \frac{(t_e - t_{pe}) \cdot (h_e - h_{ch})}{(t_e - t_{ch})} \quad (4.5)$$

Obdobným vztahem bude určen rozdíl měrné vlhkosti venkovního vzduchu a přiváděného vzduchu Δx_{pe} .

$$\Delta x_{pe} = (x_e - x_{pe}) = \frac{\Delta t_{pe} \cdot \Delta x_{ch}}{\Delta t_{ch}} = \frac{(t_e - t_{pe}) \cdot (x_e - x_{ch})}{(t_e - t_{ch})} \quad (4.6)$$

4.4 Hmotnostní tok zkondenzované vodní páry

Hmotnostním tokem zkondenzované vodní páry \dot{M}_V je určeno, kolik gramů vody zkondenzuje za 1 hodinu. Jeho hodnota je získána pomocí výpočtu

$$\dot{M}_V = \dot{V} \cdot \rho \cdot \Delta x_{pe} \quad (4.7)$$

U výpočtu je důležité uvažovat, že pokud je teplota venkovního vzduchu t_e menší než teplota přiváděného vzduchu t_{pe} , nemůže být voda kondenzována a chladič není v provozu. Stejný případ nastane, když je měrná vlhkost venkovního vzduchu x_e menší než měrná vlhkost povrchu chladiče x_{ch} . Proto je pro výpočet nutné přidat podmínku, že když

$$t_e < t_{pe} \text{ nebo } x_e < x_{ch}, \quad \dot{M}_V = 0 \quad (4.8)$$

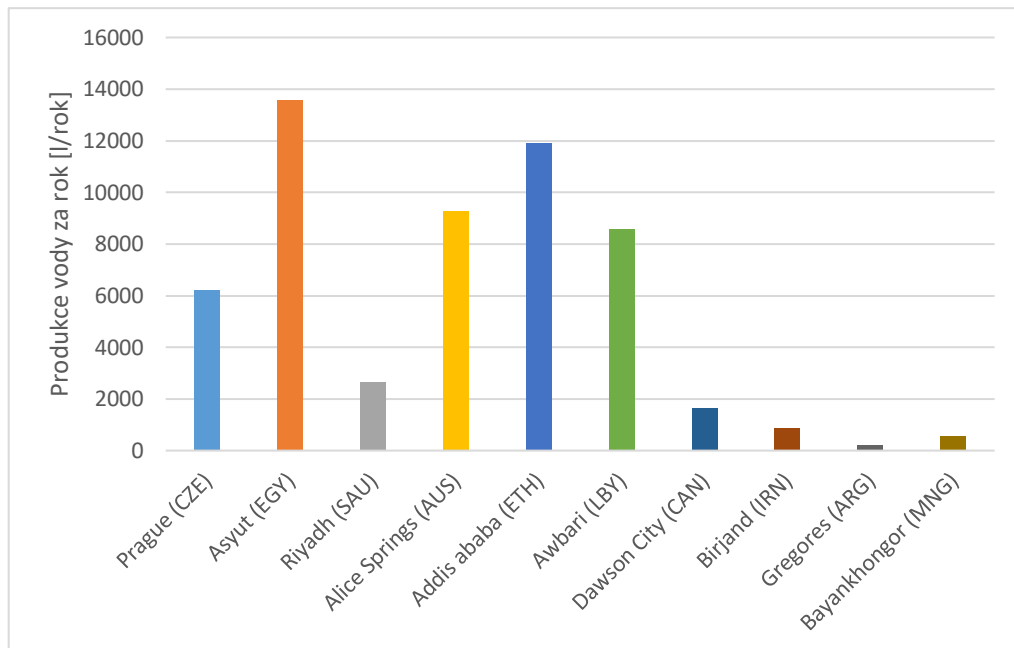
4.5 Produkce vody

Součtem hmotnostních toků v jednotlivých hodinách je zjištěno množství vody, které je potenciálně jednoduché kondenzační zařízení schopno získat z atmosférického vzduchu.

V následující tabulce je uvedena měsíční produkce vody a v grafu je porovnána roční produkce vody v jednotlivých oblastech (viz tab.2 a obr. 24).

Tab. 2 Měsíční produkce vody [l/měsíc]

Měsíc	Prague (CZE)	Asyut (EGY)	Riyadh (SAU)	Alice Springs (AUS)	Addis ababa (ETH)	Awbari (LBY)	Dawson City (CAN)	Birjand (IRN)	Gregores (ARG)	Bayankhongor (MNG)
leden	0	107	32	2338	424	88	0	0	11	0
únor	0	64	194	2040	327	22	0	1	105	0
březen	1	218	328	1293	525	353	0	52	38	0
duben	148	181	422	248	1319	69	0	114	8	0
květen	480	864	181	90	1322	968	28	41	0	0
červen	1094	1644	258	3	1370	507	210	10	0	83
červenec	1779	1788	57	259	1712	1216	783	649	0	196
srpen	1985	2643	39	12	1863	2366	570	16	0	292
září	569	2328	283	195	1640	1416	37	0	0	7
říjen	157	2491	305	887	678	1421	0	0	0	0
listopad	3	1098	57	597	383	101	0	5	12	0
prosinec	5	131	516	1306	347	43	0	1	30	0
suma	6222	13556	2670	9267	11910	8572	1629	887	203	578



Obrázek 24 Roční produkce vody v jednotlivých oblastech

Z grafu je vidět že nejméně vody je zařízení schopné získat ve studených oblastech, jako je Mongolsko, Kanada a Argentina. Z teplých oblastí lze nejméně vody získat v Íránu a Mongolsku. Naopak nejvyšší roční produkce je dosaženo v Egyptě, který se nachází poměrně blízko moře.

4.6 Potřeba chladu

Výkon chladiče \dot{Q}_{ch} lze získat ze vzorce

$$\dot{Q}_{ch} = \dot{V} \cdot \rho \cdot \Delta h_{pe} \quad (4.9)$$

Tato hodnota nám říká, jaký výkon chladiče v kW je potřeba pro ochlazení venkovního vzduchu na teplotu přiváděného vzduchu. Ve výpočtech je použit hodinový krok, proto je výkon chladiče v kW roven energii na chlazení v kWh. Opět platí, že pokud

$$t_e < t_{pe}, x_e < x_{ch} \text{ nebo } h_e < h_{pe} \quad \dot{Q}_{ch} = 0 \quad (4.10)$$

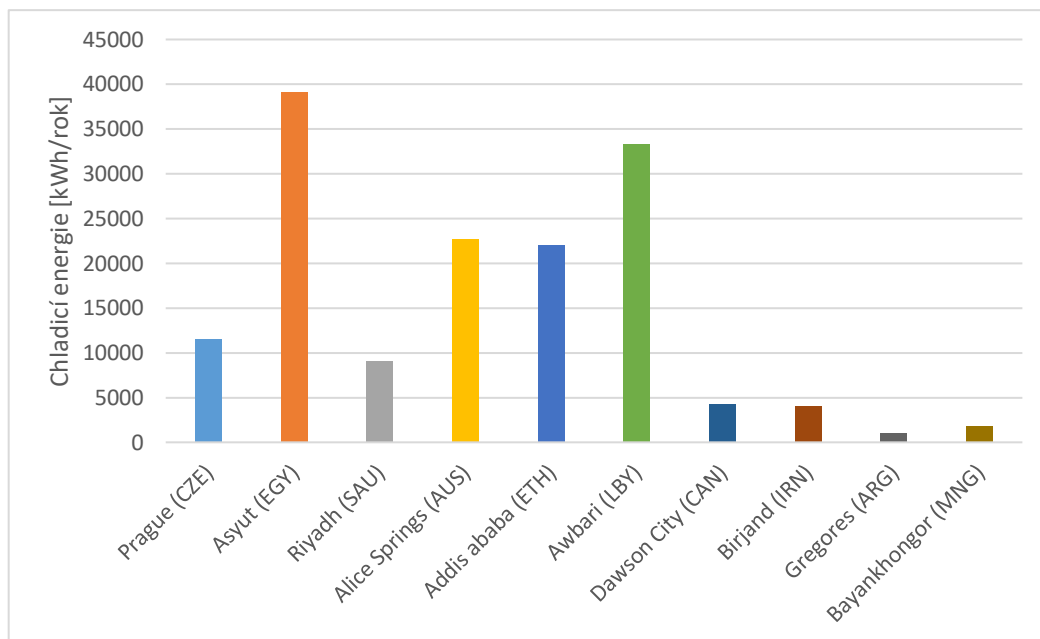
Potřeba energie na chlazení za měsíc se stanoví jako součet chladicích výkonů v každé hodině.

$$Q_{ch} = \sum \dot{Q}_{ch} \quad (4.11)$$

Potřeba chladicí energie v kWh za měsíc v jednotlivých oblastech je vypsána v tabulce 3. Porovnání roční potřeby je zobrazeno v grafu, viz obrázek 25.

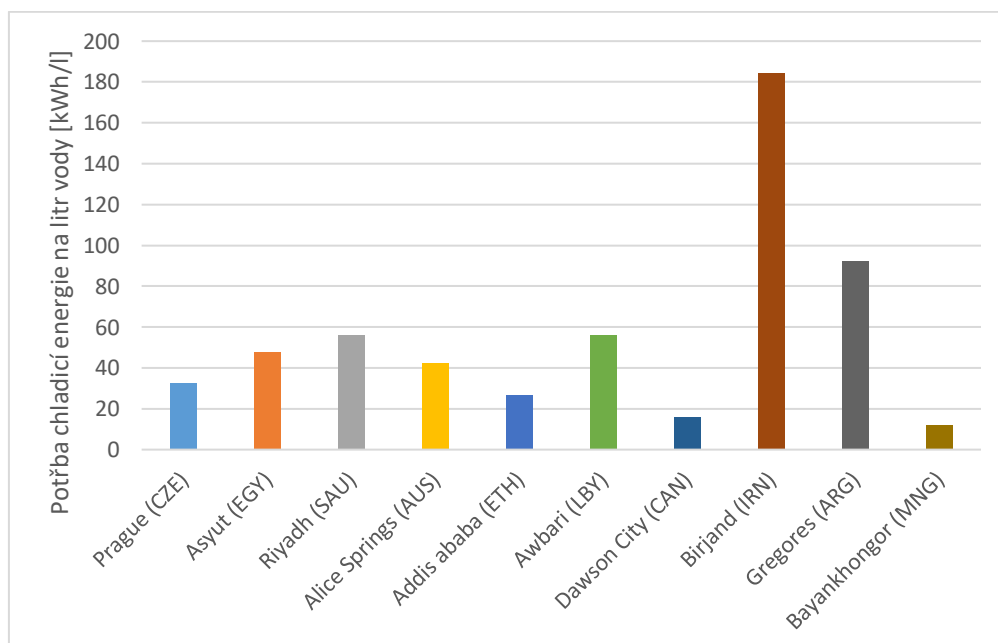
Tab. 3 Potřeba chladicí energie [kWh/měsíc]

Měsíc	Prague (CZE)	Asyut (EGY)	Riyadh (SAU)	Alice Springs (AUS)	Addis ababa (ETH)	Awbari (LBY)	Dawson City (CAN)	Birjand (IRN)	Gregores (ARG)	Bayankhongor (MING)
leden	3	438	109	5118	1244	446	0	0	95	0
únor	0	492	474	4395	1245	109	0	3	457	0
březen	8	932	802	3730	1155	980	0	146	168	0
duben	395	1102	1134	944	2594	525	0	265	48	0
květen	1194	3590	984	432	2468	4016	106	210	8	0
červen	2118	5627	1150	30	2341	3677	727	102	0	198
červenec	2987	5826	503	600	2368	5854	1991	3137	0	703
srpen	3291	6660	422	51	2463	6913	1314	106	0	940
září	1185	5865	1351	437	2400	5529	140	5	0	19
říjen	321	5279	842	2022	1644	4553	0	0	0	0
listopad	9	2707	322	1804	1056	494	0	20	58	0
prosinec	8	647	1015	3108	1012	204	0	4	163	0
suma	11520	39164	9109	22673	21991	33300	4279	3998	998	1860



Obrázek 25 Roční potřeba chladicí energie

V grafu (viz obrázek 25) je vidět že nejvíce energie na chlazení je potřeba v oblasti, kde je největší výtěžnost vody. Tento graf je velmi podobný grafu pro produkci vody. Pro porovnání potřeby energie na chlazení jsou tyto hodnoty vyděleny hodnotami měsíční produkce vody, čímž vznikla potřeba chladicí energie v kWh na jeden litr vody, viz obrázek 26.



Obrázek 26 Potřeba chladicí energie na litr vody

Na obrázku 26 je vidět, že se potřeba energie na chlazení mění podle klimatických podmínek. Potřeba chladicí energie za rok je v Íránu nízká, ale to i produkce vody. Pro získání jednoho litru vody je ovšem potřeba energie na chlazení mnohem větší než v ostatních oblastech.

4.7 Spotřeba Elektrické energie na chlazení

Pro zjištění množství elektrické energie, které je nutné chladiči dodat, je potřeba znát hodnotu koeficientu energetické účinnosti EER. Koeficient EER popisuje účinnost chlazení klimatizačního systému. Udává poměr chladicího výkonu ku množství elektrické energie na vstupu. Hodnota koeficientu EER je závislá na teplotě venkovního vzduchu, $EER = f(t_e)$. Pro vybrané konkrétní chladicí zařízení s chladivem R410a při teplotě vody 5 °C, je daná závislost

$$EER = 0,001 \cdot t_e^2 - 0,1638 \cdot t_e + 7,4552 \quad (4.12)$$

Tato závislost platí pro teploty od 20 do 40 °C. Pokud je teplota nižší než 20 °C, koeficient EER neroste a zůstává konstantní.

Potřebný příkon chladiče se získá dosazením do rovnice.

$$\dot{P} = \frac{\dot{Q}_{ch}}{EER} \quad (4.13)$$

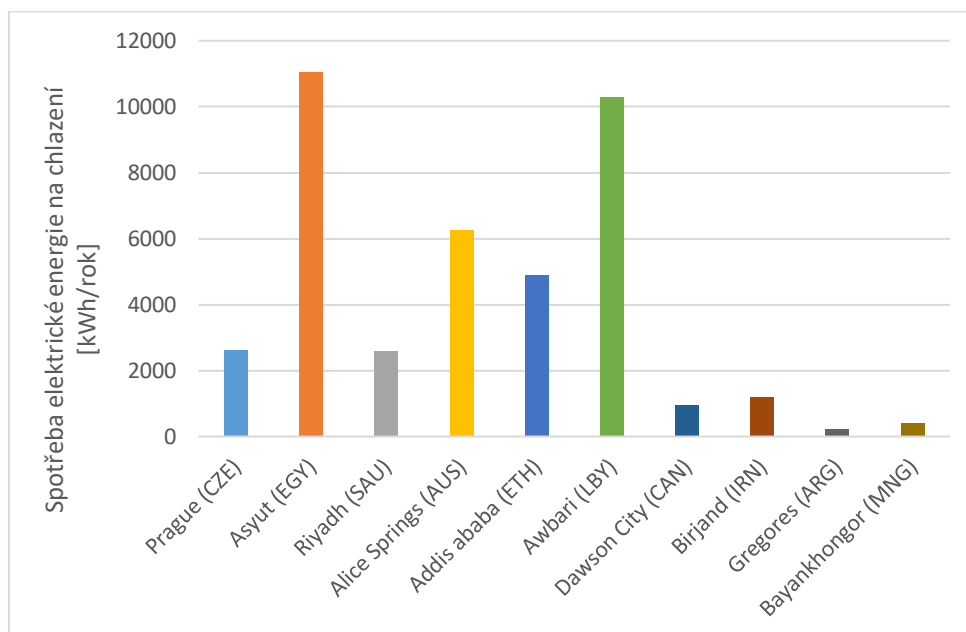
Stejně jako u výpočtu potřebné energie na chlazení je použit hodinový krok, proto platí že příkon chladiče v kW se rovná elektrické energii v kWh. Spotřeba elektrické energie se tedy vypočítá jako součet příkonů chladiče v každé hodině

$$Q_{el} = \sum \dot{P} \quad (4.14)$$

Výsledky potřeby elektrické energie za měsíc jsou zaznamenány v následující tabulce (viz tab. 4) a porovnání roční spotřeby elektrické energie je vyneseno do grafu (viz obr. 27).

Tab. 4 Měsíční potřeba elektrické energie [kWh/měsíc]

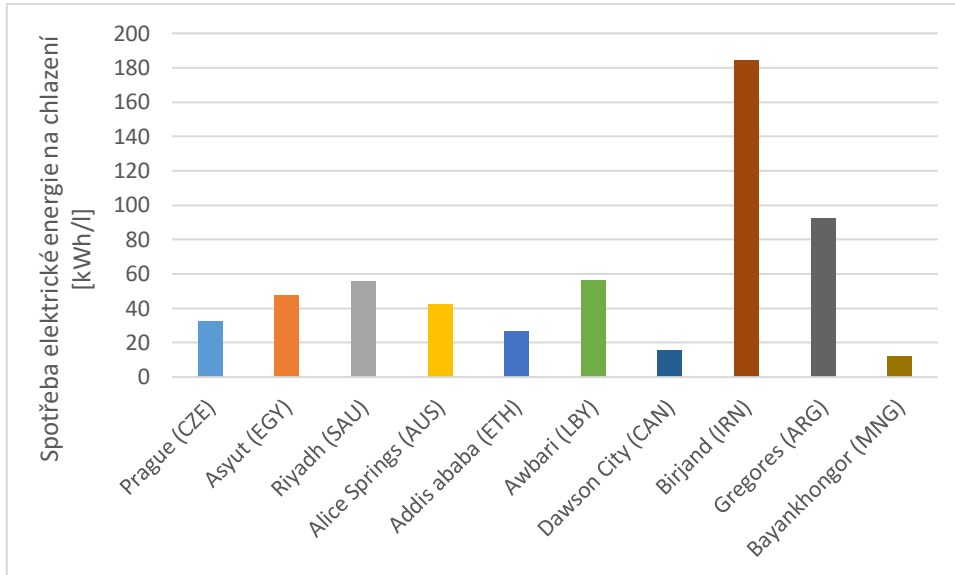
Měsíc	Prague (CZE)	Asyut (EGY)	Riyadh (SAU)	Alice Springs (AUS)	Addis ababa (ETH)	Awbari (LBY)	Dawson City (CAN)	Birjand (IRN)	Gregores (ARG)	Bayankhongor (MNG)
leden	1	99	24	1485	281	101	0	0	22	0
únor	0	116	109	1283	278	27	0	1	108	0
březen	2	226	190	991	264	233	0	32	37	0
duben	87	289	281	225	589	136	0	58	10	0
květen	273	1040	309	100	556	1251	23	49	2	0
červen	483	1694	405	7	525	1181	162	26	0	43
červenec	681	1779	183	138	518	1942	457	986	0	156
srpen	759	1994	151	12	540	2264	293	28	0	209
září	261	1660	421	102	528	1728	31	1	0	4
říjen	70	1368	218	526	369	1266	0	0	0	0
listopad	2	635	78	505	233	115	0	4	13	0
prosinec	2	144	229	885	225	45	0	1	36	0
suma	2619	11044	2599	6258	4906	10288	966	1186	228	412



Obrázek 27 Potřeba elektrické energie na chlazení za rok

Rozdíl spotřeby elektrické energie na chlazení mezi oblastmi je velmi podobný rozdílu potřeby energie na chlazení, největší je opět v Egyptě, kde je největší produkce vody a nejmenší v Argentině, kde většinu času zařízení nechladí.

Hodnoty spotřeby elektrické energie na jeden litr vody se získá vydělením hodnoty v tabulce 4 hodnotami v tabulce 2. Tyto hodnoty jsou vyneseny do grafu viz obrázek 28.



Obrázek 28 Spotřeba elektrické energie na chlazení na litr vody

Nejvíce elektrické energie na chlazení pro získání jednoho litru vody se spotřebuje v Íránu, kde se spotřebuje 184 kWh/l. Naproti tomu v Mongolsku zařízení spotřebuje na chlazení pouze 12 kWh/l elektrické energie.

Závěr

V posledních letech se projevil velký zájem o alternativní způsoby získávání vody. V bakalářské práci jsou shrnuty existující způsoby a principy získávání vody z atmosférického vzduchu. Všechny systémy mají své výhody a nevýhody a některé se hodí do určitých podmínek více než jiné.

Systémy pro sběr mlhy jsou jednoduché a spoléhají na relativně levné materiály, které se dají získat z přírodních zdrojů. Velkým problémem je výskyt mlhy. V místech, kde je málo srážek a nepomůže ani sběr dešťové vody, je výskyt mlhy velmi ojedinělý. Proto tato metoda může přispět pouze k malému zmírnění nedostatku vody.

Vodní pára je v atmosféře všudypřítomná i ve velmi suchých oblastech. Pasivní systémy spoléhají na tepelné ztráty sáláním a stejně jako kolektory mlhy jsou jednoduché a nevyžadují externí zdroj energie. Množství vody, které lze touto metodou získat je omezené a možná by mohlo postačit jako zdroj pitné vody pro malé komunity, spíše než pro aplikaci ve velkém měřítku, jako je zemědělské zavlažování.

Systémy založené na bázi vysoušedel jsou o něco složitější než systémy založené na záření a mohou shromáždit více vody pro stejně velkou jednotku. Absorbenty mohou být levně vyrobené z pilin a chloridu vápenatého, ale mohou být i z dražších kovových konstrukcí. Použití bude záviset na ekonomice země a technické účinnosti zařízení. Vysoušecí systémy popsané v této práci spoléhají na tepelnou solární energii k řízení desorpčního procesu, což není problém, protože většina suchých oblastí má dostatek slunečního svitu. U těchto systémů může být výhodné použít ventilátory, které by za bezvětřných nocí poháněly vlhký vzduch.

Systémy, které využívají aktivní chlazení jsou ze zmíněných principů neúčinnější, ale pro provoz potřebují přísun elektrické energie. Z pohledu využití systémů v suchých oblastech s nedostatkem vody, je velmi příhodné využít pro napájení jednotky sluneční nebo větrnou energii. Použitím těchto systémů se v některých oblastech dá získat velké množství vody, a proto se dá aplikovat i pro zavlažování a v zemědělství.

Dále se práce zabývá tím, jestli může jednoduché kondenzační zařízení pomoci v suchých oblastech s nedostatkem vody. Z výsledků vyplývá že z porovnávaných oblastí může kondenzační jednotka získat nejvíce vody v Asijútu v Egyptě, a to 13 556 litrů za rok. V tomto městě je možno získat více vody než v ostatních pravděpodobně kvůli tomu, že městem protéká řeka a nachází se poměrně blízko moře, což způsobuje

že je ve vzduchu obsaženo mnohem více vodní páry než v oblastech, které jsou hlouběji v poušti. Z teplých oblastí, které jsou zde porovnané, lze nejméně vody získat v Íránu, kde zařízení nezískalo za rok ani 1 000 litrů. V simulaci je dobře vidět, že nejméně vody lze získat ve studených oblastech, jako je Argentina, Kanada a Mongolsko. Když je vzduch studený, pojme velmi málo vodní páry a pokud je většinu roku příliš nízká teplota, zařízení není schopné vzduch chladit a není v provozu. Z toho vyplývá že získávání vody ze vzduchu na chladných místech není vhodné řešení. Z výpočtů je patrné, že roční potřeba chladu a elektrické energie na chlazení, závisí na době provozu a produkci vody. V Egyptě je možné získat nejvíce vody, a proto je potřeba energie na chlazení vzduchu nejvyšší. Po přepočtu potřeby chladu a elektrické energie vztažené na litr vody je viditelné, že výrazně největší potřeba je v Íránu.

Celkově bylo z této simulace zjištěno, že potenciál použití jednoduchého kondenzačního zařízení je výrazně závislý na oblasti, ve které bude zařízení použito. V oblastech, které mají dostatečnou vlhkost a teplotu, je schopno získat poměrně dost vody, ale v tento okamžik přichází otázka, zda se vyplatí investovat do získávání vody ze vzduchu, když je možné vodu získat například odsolováním. V suchých oblastech se tímto způsobem dá získat málo vody a dalo by se říct, že instalace zařízení nemá smysl a zařízení není schopné pomoci chudým zemím s nedostatkem vody. Technologie se ovšem stále posouvají dál a již dnes existují prototypy, které jsou schopny v suchých oblastech získat mnohem více vody, než kolik jsme schopni získat jednoduchou kondenzací. Věřím, že technologie získávání vody ze vzduchu má budoucnost a možná bude klíčem k řešení problémů s nedostatkem vody.

Seznam literatury

- [1] Koloběh vody v přírodě. *EkolId.cz* [online]. 2016 [cit. 2022-5-16]. Dostupné z: <https://www.ekolid.cz/kolobeh-vody-v-prirode/>
- [2] Voda v přírodě. *Vhs-sro.cz* [online]. 2021 [cit. 2022-5-16]. Dostupné z: <https://www.vhs-sro.cz/cs/co-vedet-o-vode/nejen-pro-skoily/voda-v-prirode.html>
- [3] KABELKOVÁ, Ivana, a kol, Vliv člověka na koloběh vody. [online]. 2019 [cit. 2022-5-16]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/184407606-Vliv-cloveka-na-kolobeh-vody.html>
- [4] SCHWARZER, Jan. Teorie vlhkého vzduchu (I): Úvod a vyjádření vlhkosti vzduchu [online]. *tzbinfo*, 2006 [cit. 2022-5-16]. Dostupné z: <https://vetrani.tzbinfo.cz/teorie-a-vypocty-vetrani-klimatizace/3323-teorie-vlhkeho-vzduchu-i>
- [5] HAMERSKÝ, Tomáš. Energetická náročnost získávání vody kondenzací vzdušné vlhkosti. [online] Brno, 2019. 145 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně [cit. 2022-5-17]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/175504/final-thesis.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- [6] Vlhký vzduch, Izobarické změny stavů vlhkého vzduchu: Aplikovaná termomechanika- přednáška 2 [online] ČVUT, 2009 [cit. 2022-5-17]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125yatm/prednasky/125yatm-02.pdf>
- [7] SCHWARZER, Jan. Teorie vlhkého vzduchu (II): Hustota vlhkého vzduchu a entalpie [online]. *tzbinfo*, 2006 [cit. 2022-5-17]. Dostupné z: <https://vetrani.tzbinfo.cz/teorie-a-vypocty-vetrani-klimatizace/3353-teorie-vlhkeho-vzduchu-ii>
- [8] Dry Bulb, Wet Bulb and Dew Point Temperatures. *The Engineering ToolBox* [online]. [cit. 2022-5-17]. Dostupné z: https://www.engineeringtoolbox.com/dry-wet-bulb-dew-point-air-d_682.html
- [9] Rainwater harvesting 101. *watercache.com* [online]. [cit. 2022-5-17]. Dostupné z: <https://www.watercache.com/education/rainwater-harvesting-101>
- [10] CAHLÍKOVÁ M. Faktory ovlivňující využívání systémů pro hospodaření s dešťovou vodou pro domácí potřebu pitné vody ve venkovských oblastech rozvojových zemí [online]. 2016 [cit. 2022-5-17]. Dostupné z:

- https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/81049/DPTX_2013_1_11_310_0_420751_0_147598.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [11] Water-Efficient Technology opportunity: Rainwater harvesting systems. *Energy.gov* [online]. [cit. 2022-5-17]. Dostupné z: <https://www.energy.gov/eere/femp/water-efficienttechnology-opportunity-rainwater-harvesting-systems>
- [12] JARIMI, H. POWELL, R. RIFFAT, S. Review of sustainable methods for atmospheric water harvesting [online]. 2020 [cit. 2022-5-17]. Dostupné z: <https://academic.oup.com/ijlct/article/15/2/253/5718410>
- [13] KLEMM, O. SCHEMENAUER, R. LUMMERICH, A. a kol. Fog as fresh-water resource: overview and perspectives [online]. 2012 [cit. 2022-5-17]. Dostupné z: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/la402409f>
- [14] SCHEMENAUER, R. CERECEDA P. A proposed standard fog collector for use in high-elevation regions [online]. 1994 [cit. 2022-5-17]. Dostupné z: https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/33/11/15200450_1994_033_13_13_apsfcf_2_0_co_2.xml?tab_body=pdf
- [15] RIVER, J. LOPEZ-GARCIA, D. Mechanical characteristics of Raschel mesh and their application to the design of large fog collectors [online]. 2015 [cit. 2022-5-17]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809514002567>
- [16] LUMMERICH, A. TIEDEMANN, K. Fog water harvesting on the verge of economic competitiveness [online]. 2011 [cit. 2022-5-17]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Kai-Tiedemann/publication/253851023_Fog_harvesting_on_the_verge_of_economic_competitiveness/links/5bdaa275299bf1124fb1986f/Fog-harvesting-on-the-verge-ofeconomic-competitiveness.pdf
- [17] DOMEN, J. STRINGFELLOW, W. Fog water as an alternative and sustainable water resource [online]. 2013 [cit. 2022-5-17]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/257479318_Fog_water_as_an_alternative_and_sustainable_water_resource
- [18] CHOINIÈRE-SHIELDS, E. The cloud harvester catches and stores fresh water from fog [online]. 2013 [cit. 2022-5-17]. Dostupné z: <https://inhabitat.com/httpinhabitat-comwp-adminpostphppost519497actioneditmessage1/>

- [19] HOBSON, B. Arturo Vittoris Warka Water towers harvest clean drinking water from air [online]. 2016 [cit. 2022-5-17]. Dostupné z: <https://www.dezeen.com/2016/11/10/video-interview-arturo-vittori-warka-water-tower-ethiopia-sustainable-clean-drinking-water-movie/>
- [20] Warka water every drops counts. *Warkawater.org* [online]. 2017 [cit. 2022-5-17]. Dostupné z: <https://www.warkawater.org/projects/>
- [21] CAO, M. JU, J. LI, K. a kol.): Facile and large-scale fabrication of a cactus-inspired continuous fog collector [online]. 2014 [cit. 2022-5-17]. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/adfm.201303661>
- [22] Fog harvesting. *UN climate technology centre* [online]. 2017 [cit. 2022-5-17]. Dostupné z: <https://www.ctc-n.org/technologies/fog-harvesting>
- [23] KHALI, B. ADAMOWSKO, J. SHABBIR, A. a kol. A review: dew water collection from radiative passive collectors to recent developments of active collectors [online]. 2016 [cit. 2022-5-17]. Dostupné z: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s40899-015-0038-z.pdf>
- [24] BEYSENS, D. CLUS, O. MILETA, M. a kol. Collecting dew as a water source on small islands: the dew equipment for water projects in Bis'evo (Croatia) [online]. 2007 [cit. 2022-5-17]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544206002684>
- [25] ALNASER, WE. BARAKAT, A. Use of condensed water vapor from the atmosphere for irrigation in Bahrain [online]. 2007 [cit. 2022-5-17]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261999000549>
- [26] SHARAN, G. Harvesting dew with radiation cooled condensers to supplement drinking water [online]. 2011 [cit. 2022-5-17]. Dostupné z: <https://ojs.library.queensu.ca/index.php/ijlsle/article/view/3188>
- [27] JACOBS, A. HEUSINKVELD, B. BERKOWICZ, S. Passive collection in a grasshold area, The Netherlands [online]. 2008 [cit. 2022-5-17]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809507001950>
- [28] MOHAMED, M. WILLIAM, G. FATOUTH, M. Solar energy utilization in water production from humid air [online]. 2017 [cit. 2022-5-17]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X17302384>

- [29] GIDO, B. FRIEDLER, E. BRODAY, D. Liquid-desiccant vapor separation reduces the energy requirements of atmospheric moisture harvesting [online]. 2016 [cit. 2022-5-17]. Dostupné z: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.6b01280>
- [30] KABEEL, A. Water production from air using multi-shelves solar glass pyramid system [online]. 2007 [cit. 2022-5-17]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148106000462>
- [31] GAD, H. HAMES, A. Application of solar desiccant/collector systém for water recovery from atmospheric air [online]. 2001 [cit. 2022-5-17]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148100001129>
- [32] KUMAR, M. YADAV, A. Experimental investigation of solar powered water production from atmospheric air by using composite desiccant material CaCl_2 [online]. 2015 [cit. 2022-5-17]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916415002544>
- [33] BERGMAIR, D. Design of a System for humidity Harvesting Using Water Vapor Selective membranes [online]. 2015 [cit. 2022-5-17]. Dostupné z: <https://pure.tue.nl/ws/files/3860479/789938.pdf>
- [34] BERGMAIR, D. METZ, SJ. a kol. System analysis of membrane facilitated water generation from air humidity [online]. 2014 [cit. 2022-5-17]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916414000708>
- [35] SMITH-STRICKLAND, K. A Billboard that condenses water from humidity [online]. 2013 [cit. 2022-5-17]. Dostupné z: <https://www.popularmechanics.com/science/greentech/a8875/a-billboard-that-condenses-water-from-humidity-15393050/>
- [36] CAMERON, C. Eole waters wind turbine generates fresh, clean drinking water from condensation [online]. 2012 [cit. 2022-5-17]. Dostupné z: <https://inhabitat.com/eole-waterswind-turbine-generates-fresh-clean-drinking-water-from-condensation/>
- [37] Systém S.A.W.E.R. UCEEB, ČVUT v Praze [online]. 2014 [cit. 2022-5-17]. Dostupné z: <https://www.uceeb.cz/projekty/system-sawer>

- [38] Solar Air Water Resource. *CZE EXPO* [online]. 2021 [cit. 2022-5-17].
Dostupné z: <https://www.czexpo.com/s-a-w-e-r/>
- [39] Repository of free climate data for building performance simulation.
ClimateOneBuilding.org [online]. [cit. 2022-5-17]. Dostupné z:
<https://climate.onebuilding.org/default.html>
- [40] MATUŠKA, T. ZMRHAL, V. Získávání vody ze vzduchu s využitím sluneční energie v prostředí pouště [online]. ČVUT v Praze, 2018 [cit. 2022-5-17].
Dostupné z:
http://users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/Publikace/2018/matuska_zmrhal_02.pdf
- [41] ZMRHAL, V. Porovnání spotřeby energie vodních klimatizačních systémů [online]. 2010 [cit. 2022-5-17]. Dostupné z:
http://users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/Publikace/VVI-2010-02_p080.pdf

Seznam příloh

V elektronické podobě:

- Bakalářská práce ve formátu PDF
- Excelový soubor s výpočty, grafy a tabulkami ve formátu xls